



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

VEÍCULO DE OPERAÇÃO REMOTA PARA INSPEÇÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO

Glauter Moreira Barbosa da Silva

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia Naval e Oceânica,
Escola Politécnica, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do
título de Engenheiro Naval e Oceânico.

Orientadora: Marta Cecilia Tápia Reyes

Rio de Janeiro
Janeiro de 2016

VEÍCULO DE OPERAÇÃO REMOTA PARA INSPEÇÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO
DE ÓLEO

Glauter Moreira Barbosa da Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO NAVAL E OCEÂNICO.

Examinado por:

Orientadora: Prof.^aD.Sc.MartaCeciliaTapiaReyes

Prof. José Márcio Vasconcelos

Prof. Severino Fonseca da Silva

RIO DE JANEIRO, RJ- BRASIL

JANEIRO DE 2016

Moreira, Glauter Barbosa da Silva

Veículo de operação remota para inspeção em tanques de armazenamento de óleo/ Glauter Moreira Barbosa da Silva - Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2016

VIII, 45 p.: il.: 29,7 cm.

Orientador: Marta Cecilia Tápia Reyes

Projeto de Graduação - UFRJ/ POLI/ Engenharia Naval e Oceânica, 2016

Referências Bibliográficas: p.45.

1. Robôs utilizados em atmosferas não explosivas 2. Robôs utilizados em atmosfera explosiva 3. Diferença entre Robôs de atmosfera explosiva e não explosiva 4. Robo para inspeção de tanque de armazenamento de óleo 5. Robô para inspeção em tanques de FPSO 6. Projeto básico do robô para inspeção de tanque de armazenamento de óleo. Tápia Reyes, Marta Cecilia.

AGRADECIMENTOS

A minha tia Tereza pela força e fé, a minha mãe Darlete pelo amor e incentivo, a minha irmã Gláucia pela impetuosidade da conquista, ao meu irmão Glauber pela calma e paciência e ao meu pai Barbosa pela jornada de sua vida.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval e Oceânico.

VEÍCULO DE OPERAÇÃO REMOTA PARA INSPEÇÃO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO

Glauter Moreira Barbosa da Silva

Janeiro/2016

Orientadora: Marta Cecília Tápia Reyes

Curso: Engenharia Naval e Oceânica

Para testar a integridade em tanque de armazenamento de óleo, seja esse um tanque de armazenamento de petróleo ou um tanque de um FPSO é preciso esvaziar, limpar e ventilar. Esse processo é caro e demanda tempo. Com objetivo de diminuir custo e tempo pesquisadores desenvolveram ROV's específicos para operar em ambiente insalubres e explosivos. Esse trabalho tem como foco mostrar o estado da arte deste tipo de ferramentas de inspeção mostrando suas funcionalidades e características. Esse trabalho apresenta uma pesquisa de tecnologias envolvidas neste tipo de equipamentos, tendo como foco as atividades de inspeção tanques de armazenamento de óleo. Procurando "mapear" parte dos processos que envolvem as operações com os Veículos de Operação Remota em ambientes insalubres e explosivos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Naval Engineer.

REMOTE OPERATION VEHICLE FOR INSPECTION IN OIL STORAGE TANKS

Glauter Moreira Barbosa da Silva

Janeiro/2016

Advisor: Marta Cecília Tapia Reyes

Graduation: Naval Engineering

To test the integrity oil storage tank or a tank of an FPSO is necessary emptying, cleaning and airing. This process is expensive and takes time. In order to reduce cost and time researchers have developed specific ROVs to operate in hazardous and explosive environment. This work is focused on showing the state of the art of this type of inspection tools showing yours features and characteristics. This work presents a survey of technologies involved in this type of equipment, focusing inspection activities tanks oil storage. Looking to chart the processes involving operations with ROV in unhealthy and explosive environments.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Naval Engineer.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	ROBÔS UTILIZADOS EM INSPEÇÃO.....	2
2.1.	TÉCNICA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO:	2
2.2	ROBÔS UTILIZADOS EM ATMOSFERAS NÃO EXPLOSIVAS:.....	3
2.2.1	ROBÔ PARA INSTALAÇÃO DE CABO DE FIBRA ÓTICO.....	3
2.2.2	ROBÔ DE INSPEÇÃO DE SOLDA E ESPESSURA	5
2.2.3	ROBÔ PARA LIMPEZA DE CASCO DE NAVIO COM JATO D' ÁGUA EM ALTA PRESSÃO 7	
2.3	ROBÔS UTILIZADOS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS:	11
2.3.0	ATMOSFERA EXPLOSIVA.....	11
2.3.1	INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO COM BORRA:	12
2.3.2	PREPARO PARA OPERAÇÃO E INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO LEVE:	14
2.3.3	INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO LEVE E TANQUES DE FPSO:	17
2.4.0	DIFERENÇA ENTRE OS ROBÔS DE ATMOSFERA EXPLOSIVA E NÃO EXPLOSIVA:	24
3	ROBÔ PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO	26
3.1	COMO INSPECIONAR:.....	27
3.2	PROJETO PARA ROBÔ DE INSPEÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO:.....	29
4	ROBÔ PARA INSPEÇÃO EM TANQUE DE FPSO ATMOSFERA EXPLOSIVA:	37
4.1	CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM FPSO A SER INSPECIONADO .	37
4.2	ESTRATÉGIA PARA IDENTIFICAR ELEMENTOS PARA INSPEÇÃO DOS TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO EM FPSO	39
4.3	OBJETIVO DE UM ROBÔ NA INSPEÇÃO DE UM TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE UM FPSO 42	
4.3.1	O AMBIENTE DE INSPEÇÃO:	44
5	PROJETO BÁSICO DO ROBÔ PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO..	46
6	GLOSSÁRIO	49
7	CONCLUSÕES	51

8	BIBLIOGRAFIA	52
---	--------------------	----

1. INTRODUÇÃO

Na indústria do petróleo, petroquímica, e processamento de alimentos é utilizado o armazenamento por grandes tanques. Esses tanques são utilizados para transporte, por caminhões ou navios ou para armazenamento. Esses tanques são em sua grande maioria construídos em estrutura de aço soldado e estão sujeitos a corrosão e a rachaduras. Então desenvolver uma ferramenta que possa realizar inspeções nesse tipo de tanque diminuindo os custos e acelerando o processo se torna atraente do ponto de vista operacional e financeiro.

Nesse trabalho será abordado a utilização de veículos remotamente controlados (*RCV-Remote Control Vehicle*). Abordando robôs que são utilizados em atmosferas não explosivas, que são utilizados em redes de esgoto, inspeção de soldas e espessura em tubulações e limpeza de casco de navios com jato d'água em alta pressão.

Serão apresentados os robôs que trabalham em ambiente explosivo e que são utilizados na inspeção de tanques de armazenamento de derivados de petróleo e tanques de armazenamento de petróleo de FPSO.

As técnicas de inspeção utilizadas nas regiões onde possuem maior incidência de desgaste e perda de espessura por corrosão.

Esse trabalho tem o objetivo de apresentar o ambiente que esse tipo de robô opera e suas dificuldades e restrições. Realizado essa etapa apresentarei uma proposta de projeto básico para a montagem de um novo robô.

2. ROBÔS UTILIZADOS EM INSPEÇÃO

2.1. TÉCNICA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO:

Trabalhar dentro de tanques é sempre uma atividade perigosa por isso investir em um método que minimize isso é sempre benéfico. O desenvolvimento de uma ferramenta remota só irá melhorar a integridade da estrutura já que poderá ser realizada de forma rápida e periódica reduzindo vazamento e entregando um alto nível de inspeção do que é normalmente alcançado.

A largura da solda é variável isso depende do tipo do projeto. A pintura é depositada por camadas de 300-500 microns de espessura. O sensor de carga útil (*payload*) NDT é ideal na utilização, pois obtém uma melhor análise NDT em um ambiente de atmosfera explosiva pois resulta em melhor análise quando comparado a uma inspeção manual. A respeito disso uma série de sensores tem sido desenvolvidos para os seguintes inspeções NDT seguintes: *Eddy Current*, ultrassom *creep waves* e *ACFM* (*Alternative Field Measurement*).

A técnica *Eddy Current Array* é usada para inspecionar o fundo do tanque para capturar a corrosão por *pitting* mesmo com a presença de borra e parafina. O robô carrega uma série de sensores ao movimentar-se seus sensores de base examinam a superfície. Um estudo com *Eddy Current* mostra que essa técnica pode ser utilizada para mostrar a falha por corrosão se todos os parâmetros forem ajustados. A *ACFM* (*Alternative Current Measurement*) é uma técnica de inspeção eletromagnética que permite com apenas um passo a inspeção. Possui uma alta tolerância empregada e não requer nenhum contato elétrico e pode ser usado para detectar a espessura da tinta. Os sensores detectam na área as trincas na solda ou na região de solda inspecionada. O sensor possui dimensões de 87 mm de largura por 117 mm de comprimento e 117 mm de altura e pesa aproximadamente no ar 1.2 kg. O material escolhido para a estrutura do robô foi de aço inoxidável e também para partes que não estarão sujeitas a grandes cargas mantendo o robô leve. Lembrando que essa estrutura deve ser preenchida de gás inerte e sensor de controle de pressão, afim de garantir a segurança intrínseca já que estamos trabalhando em uma atmosfera explosiva.

2.2 ROBÔS UTILIZADOS EM ATMOSFERAS NÃO EXPLOSIVAS:

Nesse capítulo vou descrever alguns tipos de robôs que operam em ambientes que não possuem uma atmosfera explosiva, são robôs que operam em esgoto, ar livre e em situações de inspeções externas e internas de uma rotina comum de inspeção.

Esses veículos remotamente controlados (*RCV Remote Control Vehicle*) são robôs utilizados em terra e normalmente controlados por rádio o que permite maior mobilidade entre o veículo e o operador ou controlado por cabo o que limita parte da sua operação, mas garante o controle e energia do mesmo, o que dependerá do tipo de serviço que esse robô irá desenvolver, sempre com o objetivo de facilitar as operações humanas de maneira fácil, segura e eficaz.

2.2.1 ROBÔ PARA INSTALAÇÃO DE CABO DE FIBRA ÓTICO

Robô para instalação de cabo de fibra ótica da *Ca-Botics Fiber Technology STAR-Sewage Telecommunication* foi desenvolvido para possibilitar a instalação de quilômetros de cabos de telecomunicação evitando grandes transtornos com obras e escavações. Esse ambiente não possui uma atmosfera explosiva, entretanto por ser uma tubulação em esgoto, esta pode apresentar bolsões de gás por algum vazamento em tubulação, para evitar acidentes esse tipo de robô possui um detector de gás.

O robô da *Ca-Botics Fiber Technology STAR-* Apresenta a seguinte configuração dividindo-se em três partes:

1. O sensor de gás

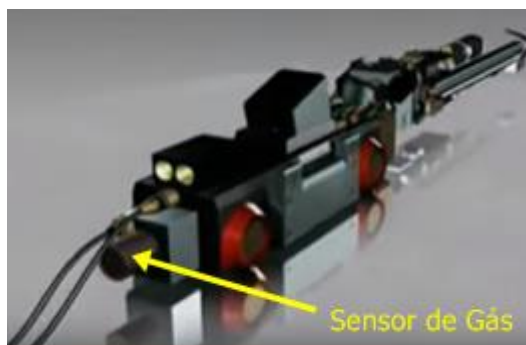


Figura 2-1-Sensor de Gás

2. Vagão de viagem que pode ser usado em tubulações com diâmetro de até 1200 mm.

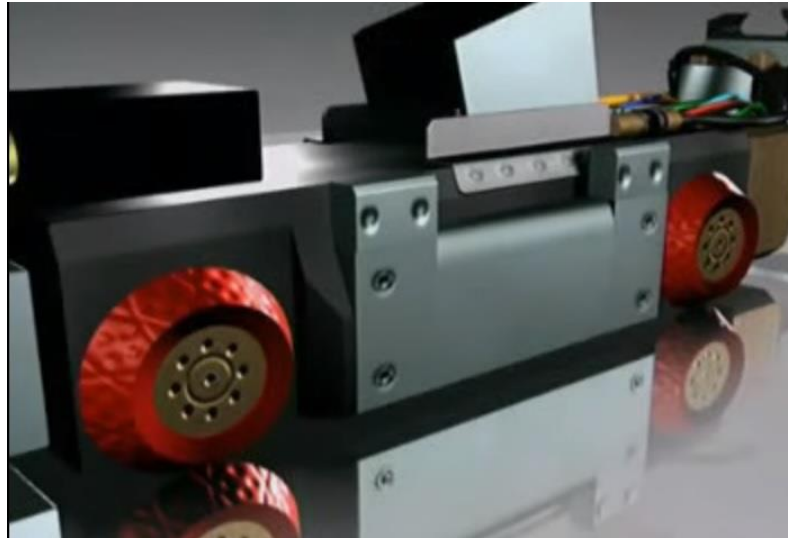


Figura 2-2- Vagão de Viagem

3. A cabeça de trabalho possui uma guia para o fio com suporte, um furadeira de alta capacidade cortante e um fixador aparafusador de apoio de fio com uma alta revolução por minuto que agiliza o trabalho e cinco câmeras ao longo do robô.

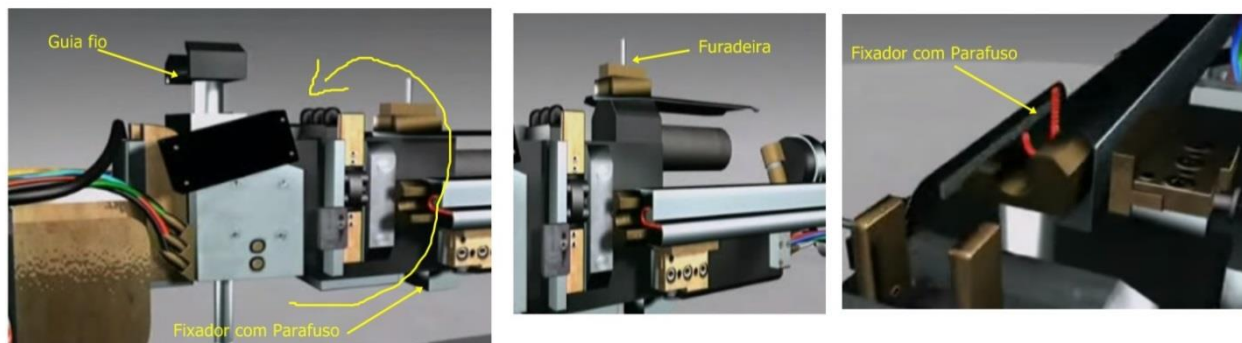


Figura 2-3- Cabeça de Trabalho

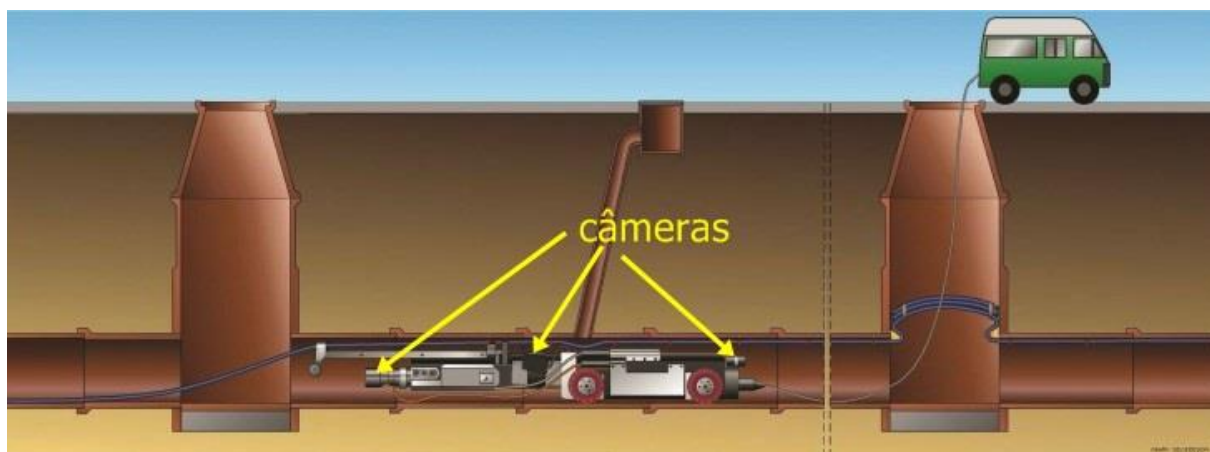


Figura 2-4- Esquema ilustrativo do STAR instalando cabo de fibra ótica



Figura 2-5 – Robô STAR

2.2.2 ROBÔ DE INSPEÇÃO DE SOLDA E ESPESSURA

O *FAST robotic platform* foi desenvolvido para de inspeção em petróleo gás e geração de energia, para atender necessidades específicas de manutenção ou prevenção em estruturas metálicas e tubulações. Esse tipo de robô proporciona o operador fazer sua inspeção de maneira remota, realizando de maneira eficaz, rápida e segura, evitando montagem de andaimes e exposição do técnico em ambientes de pouca ventilação e de difícil acesso.



Figura 2-6-Descrição do robô FAST -robotic platform

Seu fornecimento de energia é feita através de cabo de energia elétrica, nesse mesmo cabo passa as informações de controle. Para facilitar a impressão em dutos esse tipo de robô possui um modulo circular acoplado ao robô onde é conectado o sensor NDT que desliza sobre o modulo realizando a análise como visto na figura 2-7.

Para escalar a tubulação o robô conta com uma esteira magnética que permite a sua fixação e locomoção na escalada da tubulação e um módulo de direção antiderrapante que mantém o robô em percurso constante durante a inspeção. E um motor de alto desempenho, integrada ao controle.



Figura 2-7-Caminho do sensor NDT Modulo Circular

Esse tipo de robô também é possível conectar quatro diferentes kits que auxiliam a Inspeção o kit limpeza para melhorar a qualidade de inspeção e o kit para fazer a análise em UT- Ultrassom, o kit com câmera para ser utilizado à impressão visual em áreas de difícil acesso e o kit ECT – Eddy Current Test, que é o teste por indução magnética para detectar e caracterizar as falhas no material estudado, utilizado

somente em material metálico.

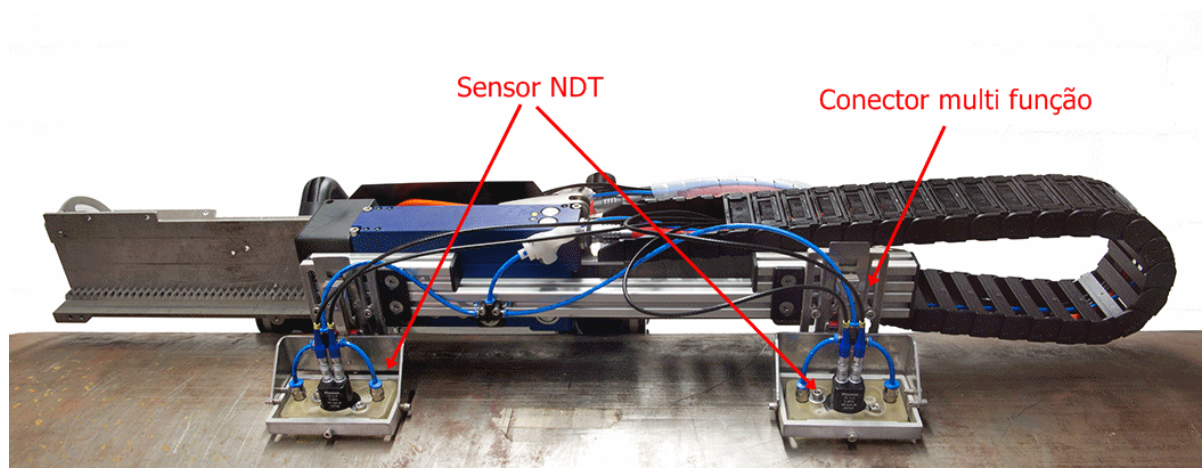


Figura 2-8- Conector multinação

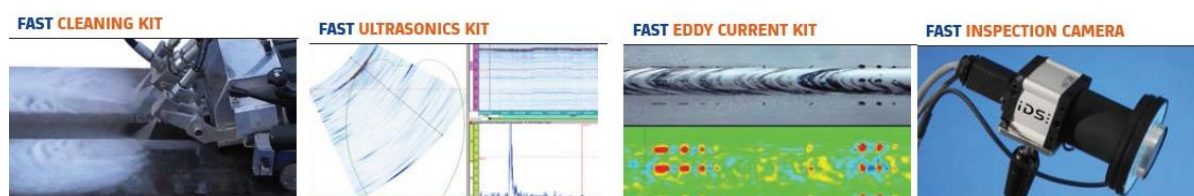


Figura 2-9 - kit para robô inspeção

2.2.3 ROBÔ PARA LIMPEZA DE CASCO DE NAVIO COM JATO D' ÁGUA EM ALTA PRESSÃO

O robô para limpeza de casco de navio com jato d'água em alta pressão foi desenvolvido devido a demanda realizar a operação de remoção de tinta do casco do navio devido a deterioração da mesma, evitando expor o ser humano a um ambiente de limpeza que prejudica a saúde dos trabalhadores envolvidos. Essa limpeza, que envolve remoção de tinta, é feita para realizar reparo ou para realizar uma nova pintura devido a perda da espessura da pintura anterior. A tinta possui uma espessura estabelecida por regra com o objetivo de proteger a estrutura de corrosão e outros malefícios.

Estas estruturas de metal como navios, tanques de armazenamento de petróleo, pontes e estruturas de concreto requer em dado período um trabalho de repintura e para isso é necessário realizar um trabalho de limpeza da superfície ou remoção total da mesma. Esse tipo de limpeza, quando feita, da maneira tradicional expõe os

trabalhados a riscos à saúde e desgaste operacional, o que é uma grande fonte de acidente de trabalho. Normalmente esse trabalho é realizado quando a camada de tinta está muito deteriorada sendo necessária remoção dessa camada utilizando um jateamento de granalha, para garantir uma pintura de qualidade. O operário posiciona-se em lugares altos, utiliza máscara e roupa protetora que são pesadas, quente e exposta a uma atmosfera insalubre.



Figura 2-10-Limpeza convencional do casco do navio

Para resolver esse problema foi desenvolvido o robô da *V-Robot System* da série VB que é controlado de maneira remota, auto aderente por sucção e auto propelido, possui um jato d'água de alta pressão que sai da parte interna do robô com uma pressão de 2500 kg/cm² de maneira a remover a tinta e sujeira. Na figura 2-11 abaixo, podemos observar o esquema do disco de sucção e de locomoção.

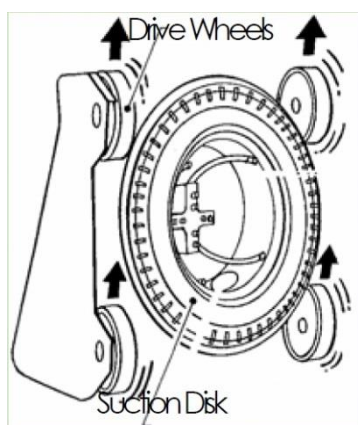


Figura 2-11-Esquema de sucção e locomoção

Depois de retirar as impurezas da superfície, essa mesma água é reaproveitada pelo próprio sistema do robô. Esse tipo de robô evita a poluição do meio ambiente, supre a demanda escassa de mão de obra nesse tipo de trabalho e diminui o tempo de operação, reduzindo custos e diminuindo o risco tanto para o trabalhador quanto para o meio ambiente.



Figura 2-12-Robô de limpeza de casco de navio por alta pressão

Na figura abaixo temos o esquema de limpeza de casco de navio, mostrando como o robô opera e seus devidos utensílios. Esta operação é composta por duas polias que são presas em uma parte superior à altura de limpeza por onde passam cabos de aço que seguram o robô em caso de alguma falha no dispositivo que o mantém preso à superfície de limpeza. Estes cabos de aço são ligados a um tensionador que suportam com uma pequena margem de folga, evitando que o robô venha sofrer um grande solavanco caso sua sucção venha falhar e venha se desprender da parede. Ao lado do tensionador temos a unidade de vacuum que cria a pressão negativa, o que permite o

aparelho se manter preso sobre a superfície do casco e retirar a água que foi utilizada para limpar a superfície do casco. Também faz parte do sistema um gerador que fornece a energia de todos os equipamentos envolvidos e um compressor que faz com que a água chegue em alta pressão ao robô. Três cabos são conectados ao robô, o primeiro cabo chamado de cabo de controle leva energia e comandos para subir ou descer o robô e ativa ou parar o jato de d'água em alta pressão. O segundo cabo leva a água em alta pressão e o terceiro traz a água com impurezas da limpeza do casco que chega à unidade de vacuum onde é filtrada e reutilizada como se pode observar na figura 2-13 abaixo.

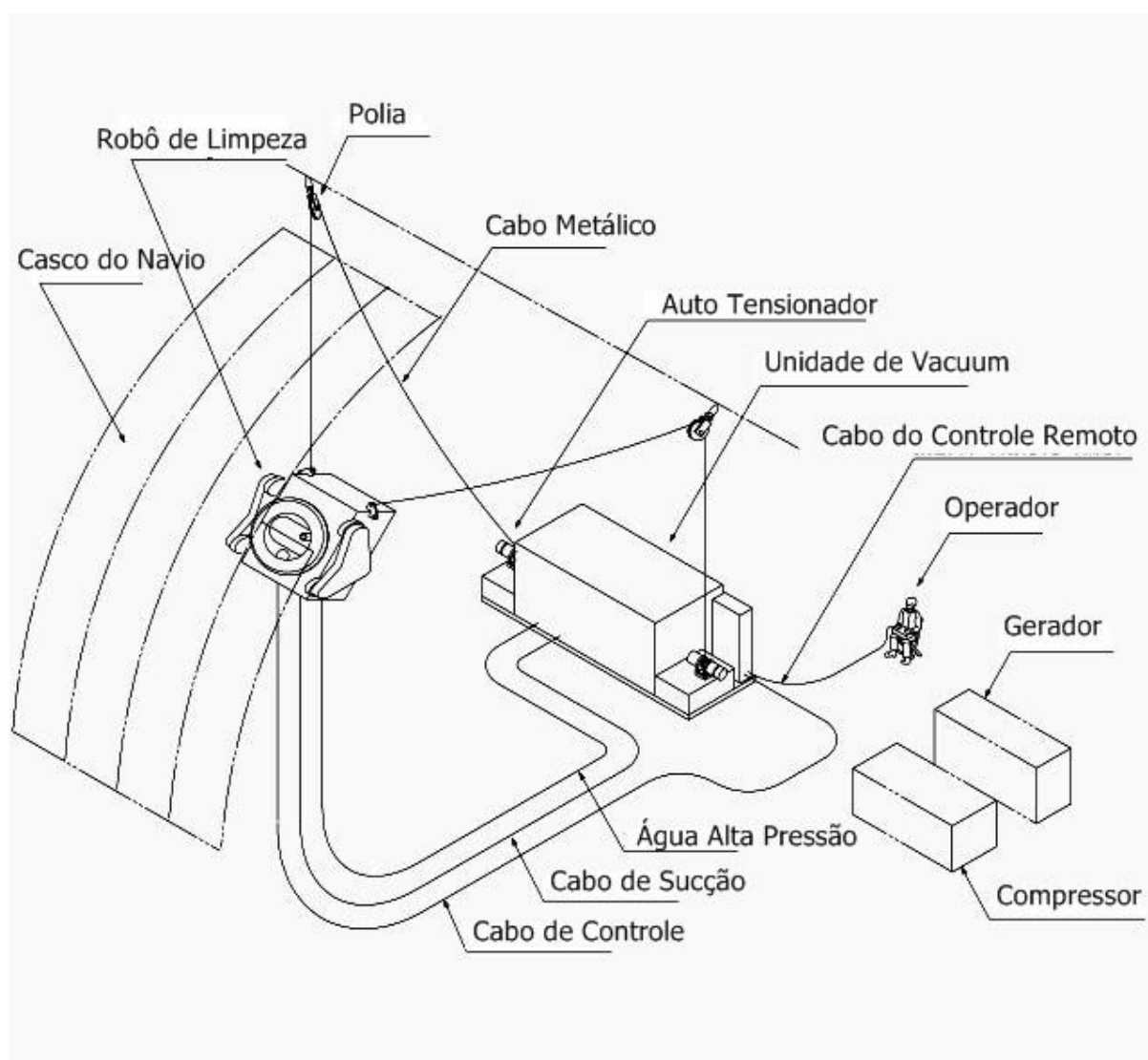


Figura 2-13-Esquema do robô de limpeza de casco de navio

2.3 ROBÔS UTILIZADOS EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS:

Nesse capítulo vamos descrever quatro tipos de robôs que foram desenvolvidos para serem operados em *atmosferas explosivas* [16]. Apresentando a utilização, operação e concepção do mesmo com objetivo de observar o foi desenvolvido para esse tipo de atmosfera e quais são os trabalhos realizados por esse tipo de máquina. Veremos a inspeção em tanques de óleo leve e como é realizada a operação para tal inspeção. E o robô para ser utilizado em um ambiente com mais obstáculo e a utilização de braço mecânico nesse tipo de inspeção e os movimentos necessários para tal performance.

2.3.0 ATMOSFERA EXPLOSIVA

O objetivo de projetar um equipamento elétrico com um tipo específico de proteção para atmosfera explosiva é o de eliminar ou isolar uma fonte de ignição. Evitando a ocorrência simultânea dos três componentes necessários para que ocorra a explosão que são: combustível, oxigênio e fonte de ignição.



Figure 2-3-1 -Componentes para explosão

A regra da ABNT NBR IEC 60079-11 EXic classifica áreas de atmosfera explosiva de gás em Zona 0, onde a ocorrência de mistura inflamável/explosiva é contínua. Zona 1

onde a ocorrência de mistura inflamável explosiva é provável de acontecer condições normais de operação do equipamento de processo. Zona 2 onde a ocorrência de mistura inflamável/explosiva é pouco provável de acontecer e se acontecer, é por curtos períodos, e está associada a operação anormal dos equipamentos de processo. Podemos observar essas zonas na figura abaixo em um exemplo de um tanque de armazenamento de petróleo.

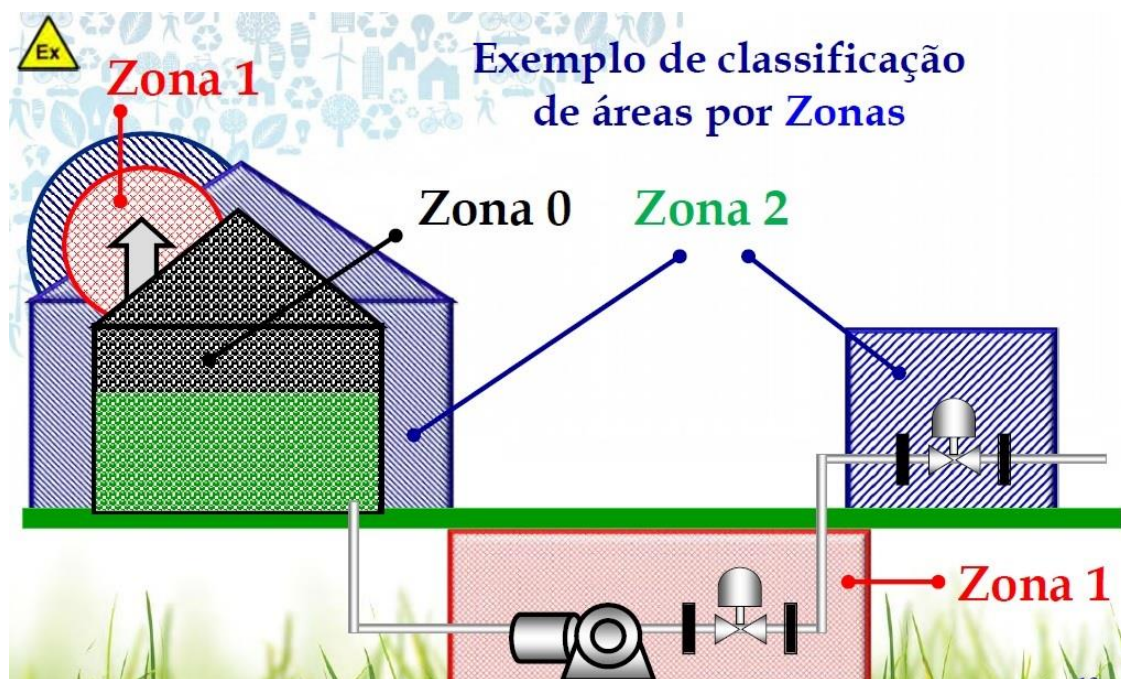


Figure 2-3-2 - Exemplo de Classificação de Zonas

Equipamentos elétricos e de instrumentação para serem instalados em áreas classificadas contendo atmosferas explosivas necessitam possuir características especiais de proteção, montagem, inspeção, manutenção e reparos. Estas características de proteção são denominadas Tipos de Proteção, e são especificados em diversas Partes da Série de Normas NBR IEC 60079. Existe uma Norma específica para cada tipo de proteção "Ex". Em cada Norma são especificados os requisitos de projeto, dimensionamento, fabricação do equipamento "Ex", bem como os ensaios a serem realizados e os critérios de aceitação.

2.3.1 INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO COM BORRA:

O robô da TechCorr In-Service AST Inspection & Cleaning Robotics limpa e inspeciona o tanque de armazenamento de óleo ao mesmo tempo. Trazendo mais segurança e

diminuindo o risco ao meio ambiente esse tipo de tecnologia diminui o tempo de operação nas inspeções economizando recursos.

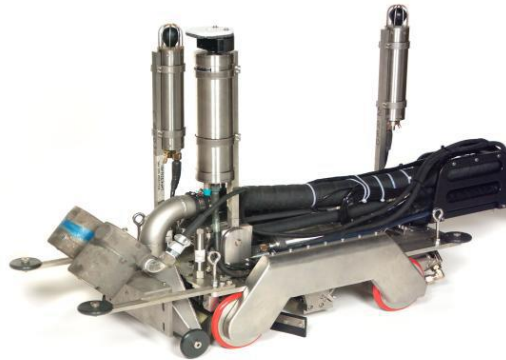


Figura 2-14- Robô de inspeção interna

O processo de inspeção de um robô em um tanque de armazenamento de óleo envolve um robô conectado em um umbilical conectado a um sistema avançado sistema de monitoramento e controle. O robô é mergulhado até o fundo do tanque em serviço, com um sistema capaz de mapear o fundo do tanque coletando os dados da localização de maior densidade por ultrassom. A precisão de localização do robô é de 25 a 50 milímetros. Uma bomba montada atrás do robô remove água e sedimentos do fundo do tanque e uma série de transdutores localizados abaixo do robô computa a espessura lida por ultrassom. Com a espessura das chapas do tanque, topo e base, é possível detectar o nível de corrosão.

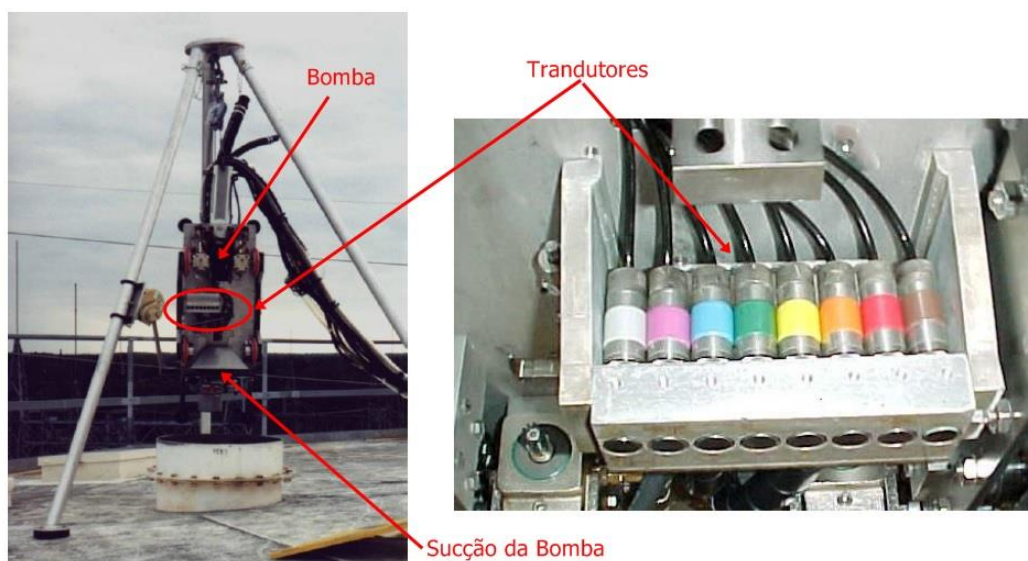


Figura 2-15-Robô de inspeção no Tanque de Armazenamento de óleo

2.3.2 PREPARO PARA OPERAÇÃO E INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO LEVE:

O robô *Maverick da Solex Robotics* possui um sistema robusto de inspeção de tanques de armazenamento de óleos leves em atmosfera explosiva. Ele é capaz de fazer a inspeção do fundo e parede do tanque mergulhado no tanque em funcionamento. O robô é purgado de oxigênio e pressurizado, se locomove por esteiras rolantes (lagarta mecânica tracionada por rodas), possui um sistema de sonar e ultrassom que mapeia e correlata a posição da espessura do chapeamento a cada momento da inspeção, possui um sistema câmeras de vídeo e luzes infravermelho que grava a inspeção. Com um umbilical de 150 metros, conectado a um trailer posicionado ao lado de fora do tanque por onde é comandado o robô, envia as informações coletadas na inspeção, criando um mapa e 3D das falhas no fundo do tanque.



Figura 2-16-Robô Maverick

Nesse tipo de robô será apresentado algumas das etapas que são executadas na operação desse tipo de robô sendo muito comuns nas operações em robô que são manipulados em atmosfera explosiva.

O primeiro ponto é posicionar o equipamento de apoio de maneira a não obstruir as vias de acesso, caso ocorra um acidente, possibilitando a retirada e chegada de equipamentos.

Posicionar o umbilical de maneira a evitar tensionamento, atrito e movimentos bruscos utilizando equipamentos para içar de maneira segura e adequada.

Posicionar o gerador fora da bacia de contenção evitando risco de acidente quando se dá a partida do gerador.

Purgar e pressurizar com nitrogênio o umbilical, caixa de conectores eletrônicos, e interior do robô, esse sistema confirma que o robô está seguro e pronto para ser utilizado de maneira segura.

Utilizar barreiras de contenção firmando os equipamentos utilizados no teto do tanque e nos caminhos utilizados pelos operadores.

Atenção no momento da abertura da porta de inspeção do teto do tanque devido a vapores inflamáveis e exposição humana a gases tóxicos.

Ao descer o robô dentro do produto utilizar cabos apropriados de material não inflamável e que evite acúmulos de eletricidade estática.

Após a passagem do robô utilização do selo de retenção que permite passar apenas o umbilical, possibilitando a operação ocorrer de maneira segura.

Refazer todas as etapas de maneira inversa depois de realizada toda a inspeção.

Assim é realizada a operação do robô quando realizada a inspeção.

2.3.2.1 INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO LEVE:

O robô da *RobTank* pode entrar em tanques de armazenamento de óleo e produtos químicos suas dimensões são de 200x200x500mm podendo entrar em furos de passagem de até 300mm. O robô espera operar em temperaturas líquidas de 0°C até 70°C e uma pressão de até 3 bar pH alcalino de 5 a 12, seu peso será por volta de 20kg com NDT sensores e projetado para operar em superfícies irregulares e em superfície com borra de 50mm de espessura e caminhar pelas paredes.

Sua velocidade máxima é de 150mm/s. O detector de falha é capaz de captar a corrosão interna e externa com precisão de 1 mm sendo capaz de trabalhar com espessuras de 6 até 25mm.

O veículo projetado incorpora uma caixa central selada, purgada de oxigênio e pressurizada armazenado os servos motores, placas de controle, instrumentos NDT e sensores de navegação. Dois servos motores independentes remotamente controlados que prove o deslocamento de suas rodas. Esses motores são armazenados em uma caixa selada, purgada e com os seus eixos emergindo da caixa central. Os eixos são selados por nitrilo de alta pressão *IP69- IP Code International Protection Marking*. Dois propulsores são montados no topo do veículo providenciando força suficiente para aderir o costado do tanque. A força também é útil para quando é utilizado o scanner dando mais tração e força de contato.

O sistema servo-comando de bordo é processado na parte externa do robô, esse comando chega por meio de um link de comunicação serial. Assim o controle da trajetória do veículo é realizado por teleoperação através de uma interface de software baseado em Windows. Para obter um design muito compacto e leve, motores de corrente contínua, servo motor e placas de controle são conectadas em cadeia para fornecer controle dos equipamentos reduzindo o tamanho do umbilical.

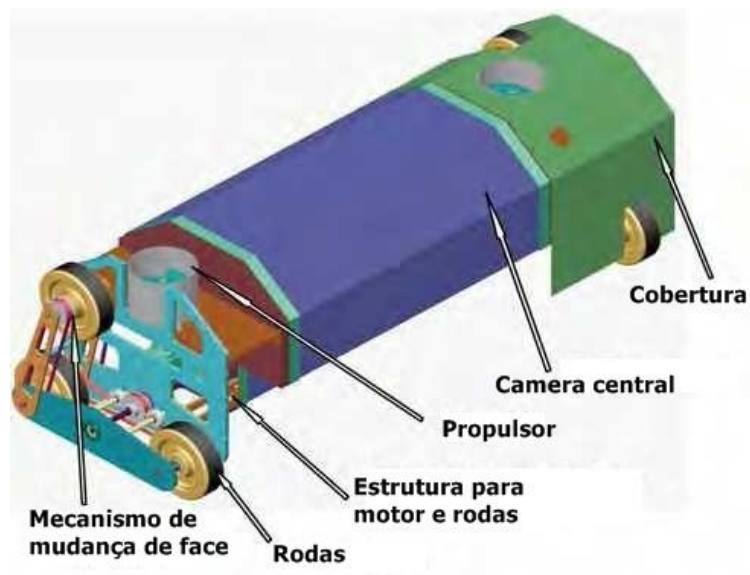


Figura 2-17-RobTank com mecanismo de mudança de face e dois propulsores

2.3.3 INSPEÇÃO EM TANQUES DE ÓLEO LEVE E TANQUES DE FPSO:

Esse projeto foi desenvolvido por *RobTank* e tem sido utilizado para inspeção de tanques de armazenamento cheios de óleo ou produtos químicos. O desenvolvimento desse projeto adicionou um taque que permite a variação de flutuabilidade de maneira rápida com um preciso controle de flutuabilidade em torno de sua flutuabilidade neutra.

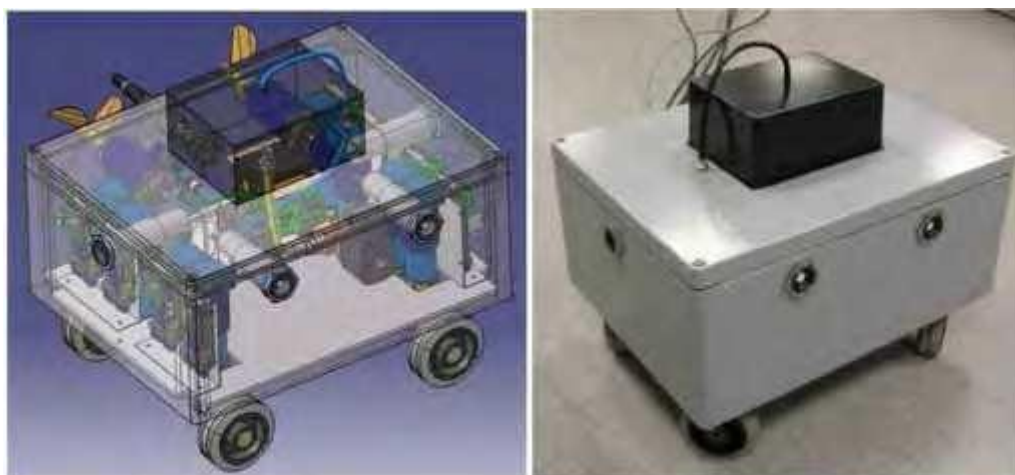


Figura 2-18-Robô da Robtank

Esse robô foi projetado para operar no ar ou submerso, e depois de adequado de segurança intrínseca estará preparado para operar em óleo cru (API 20 a 40). Ele possui um tanque em seu topo que ajusta sua flutuação em torno do centro de flutuação neutro permitindo assim um controle de massa. Um sensor de profundidade dá um retorno para o controle da profundidade o que é necessário para manter a sua posição. Todos os sistemas de controle são incorporado dentro do robô em gás inerte pressurizado em uma câmara central selada que previne o ingresso de água ou qualquer vazamento em eixos de rotação ou pelos cabos do sensor NDT. A razão de colocar todos os sistemas de hardware dentro do robô é para reduzir o tamanho do cabo do umbilical, e com isso torna-lo de fácil manuseio.



Figura 2-19-Arranjo do Robô para inspeção

Outra dimensão para esse robô é 140 mm de comprimento, 300 mm de

largura e 300 mm de altura. Pesando 12 kg no ar e podendo carregar um sensor de até 8 kg. Um servo controlador é embutido na parte interna, que permite um controle programado da velocidade de posição. Possui um alto controle do operador, pois utiliza console de comunicação em par traçado via RS 485, que permite a transmissão por rede em alta velocidade. Os movimentos verticais e horizontais são controlados simultaneamente permitindo chegar à parede ou áreas acima do tanque que será realizado testes.

Quando inserido na entrada do tanque o robô utiliza controle de flutuabilidade para se locomover verticalmente ou manter uma posição neutra de flutuabilidade. Dois propulsores independentes, com velocidade controlada vante e reverso, move o robô no plano horizontal.

Um sistema dotado com 4 sensores de ultrassom operando em 10 Hz e um sensor rotacional de ultrassom operando a 5 Mhz. Esses sensores são usados para alinhar o robô e guia-lo de forma autônoma ao longo das soldas entre o fundo e as placas reforçadas. O scanner mostrado no plano cartesiano, mostrado na figura 2-20, possui um sensor de teste *ACFM* que varre a solda após o robô ter sido posicionado de maneira adequada para o início do teste. A trajetória do robô é mantida de maneira restrita de maneira a varrer de maneira mais precisa o caminho da solda, o braço do escâner pode rotacionar 90 graus permitindo que ele saia do fundo do tanque para a parede. Um mecanismo especial também foi projetado de maneira a rotacional as quatro rodas permitindo um ângulo de 180° e com uma independência de controle das rodas permitindo o controle da velocidade.

Braço Scanner

O robô utiliza um braço scanner para faz análises NDT nos cordões de solda.

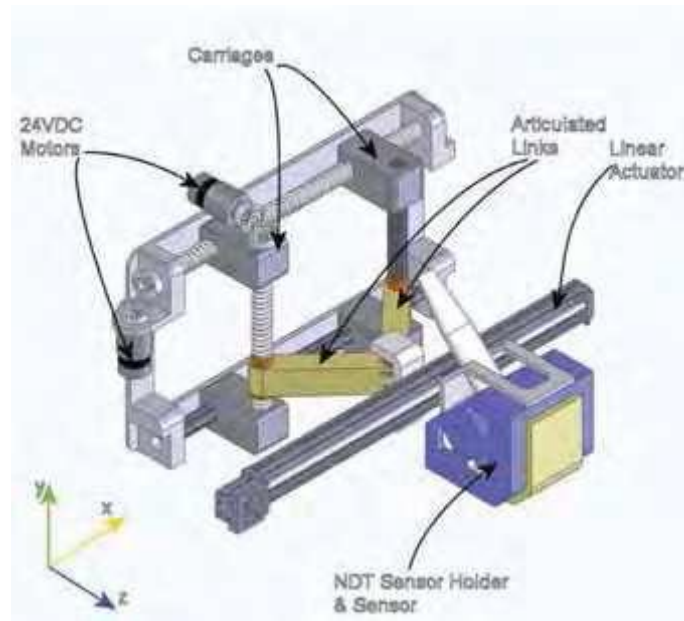


Figura 2-20-Braço scanner e suas coordenadas cartesianas

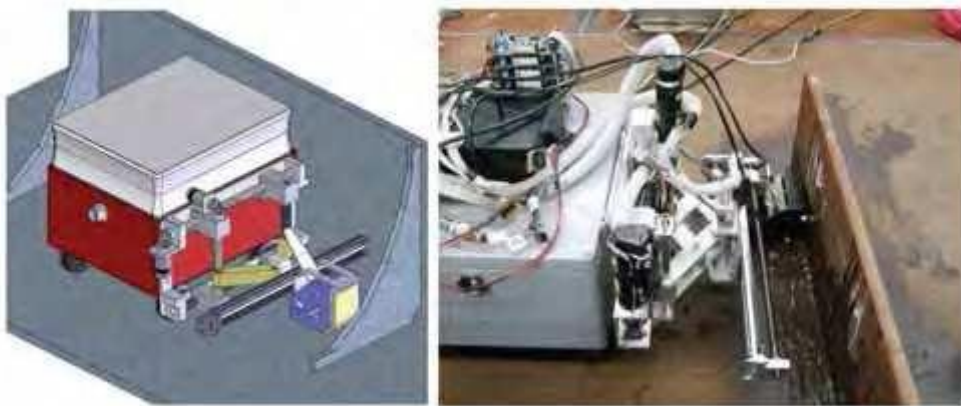


Figura 2-21-Posicionamento do braço scanner

A figura 2-21 mostra o robô com o braço scanner posicionado em uma das superfícies. O robô está posicionado entre dois reforçadores e o sensor mostrado é um ACFM.

Um trilho deslizante montado na parte superior o qual conecta o scanner a plataforma do robô. Recebe duas barras que deslizam quando o motor é acionado com que o scanner movimente-se para frente como mostra a figura 2-22, ou seja, o scanner move-se no eixo Z.

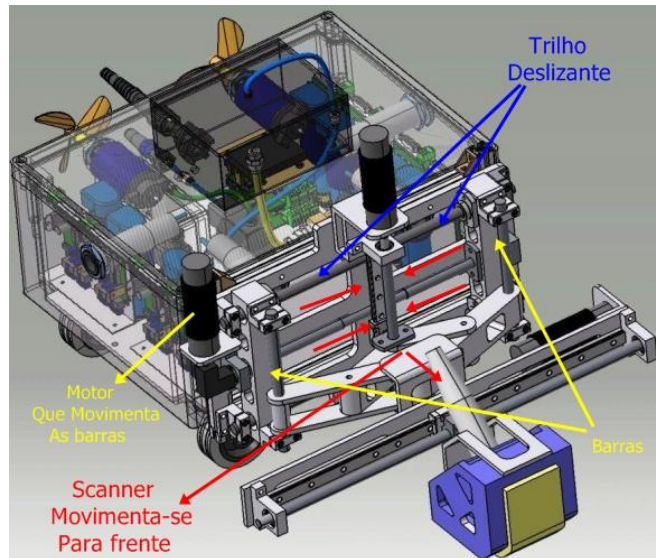


Figura 2-22- Movimento do scanner em Z

A figura mostra como o robô movimenta o scanner no eixo Y subindo ou descendo o sensor.

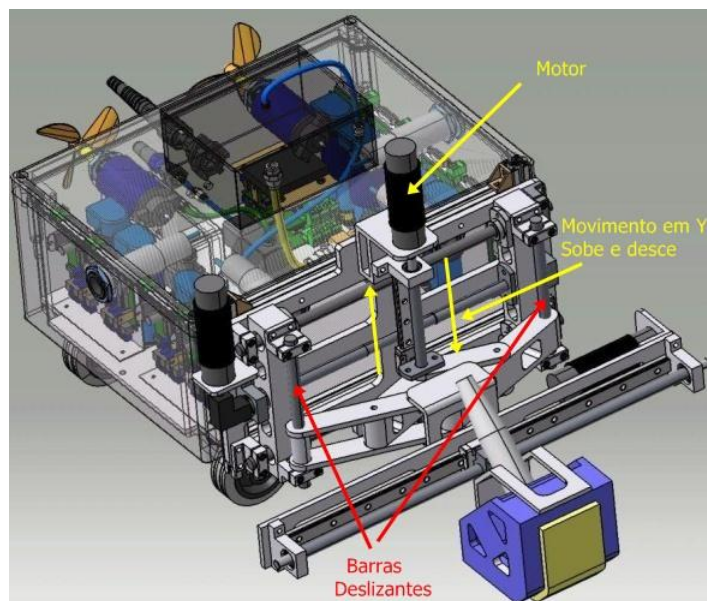


Figura 2-23-Movimento do Scanner em Y

A figura 2-24 mostra como o robô movimenta o scanner no eixo X deslizando horizontalmente o sensor.

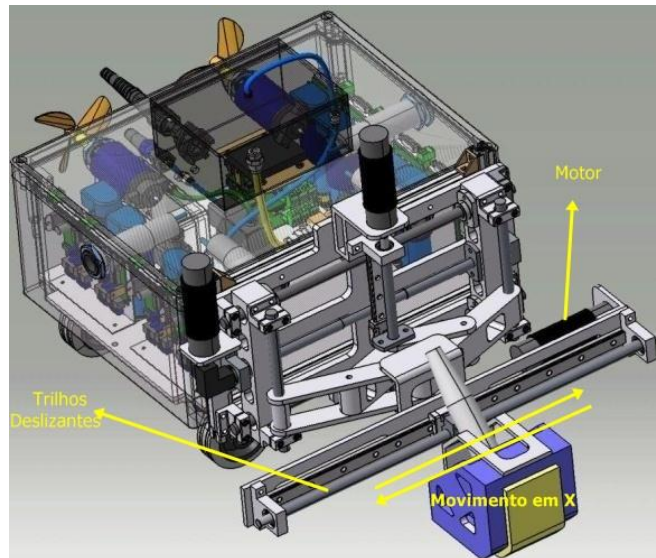


Figura 2-24- Movimento do scanner em X

Por ser retrátil em Z e mesmo assim garantir a movimentação em todos os eixos possibilita a construção de um sistema compacto podendo assim ser inserido facilmente em ambientes de inspeção e ainda mantendo sua manobrabilidade e ainda mantendo o centro de gravidade perto do robô. Quando expandimos a ponta do sensor em Z permitimos chegar em até 350 mm a frente da plataforma do robô e conseguimos em X um alcance de 400 mm de comprimento operacional o que nos permite inspecionar cantos de difícil acesso da estrutura do tanque. A carga do rolamento que o braço pode segurar, pode atingir até 4 kg, dependendo do método NDT usado no braço, na posição expandida, poderá suportar um torque de até 8Nm, sendo de motores 24VDC estes serão capazes de sustentar com segurança.

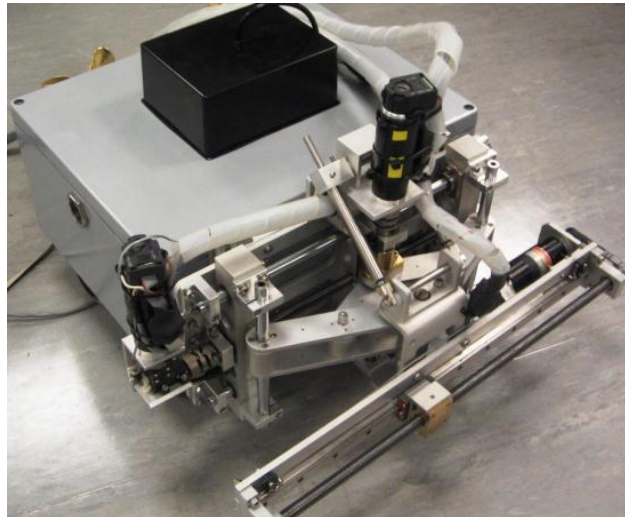


Figura 2-25-Protótipo do robô

Movimento e trajetória do robô de inspeção:

O robô é projetado para seguir o cordão de solda do reforçador da chapa e mantendo o processo de varrer por scanner paralelamente ao seu movimento, e rotacionar ele mesmo 90° depois de terminar a varredura do cordão de solda e terminar o reforçador. Como mostrado na figura28 abaixo.

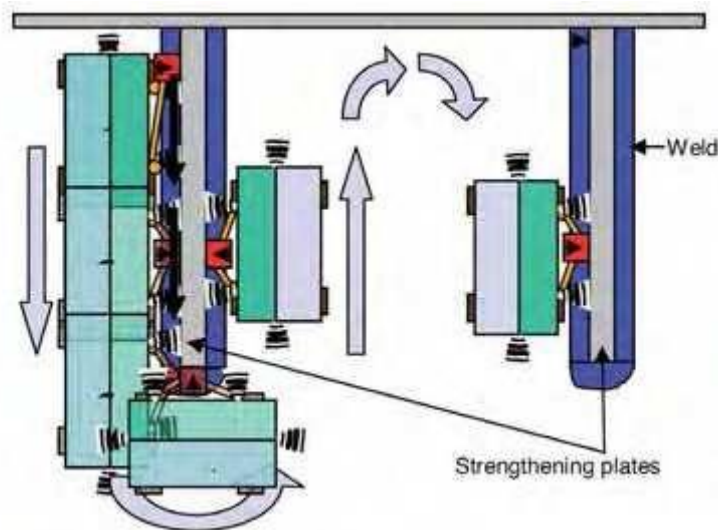


Figura 2-26-Trajectoria do robô entre dois reforçadores

Essa trajetória é possível, pois o robô possui 4 rodas que permite ele rotacionar de zero a noventa graus (0°-90°). Um mecanismo acionado por dois motores que permite essa rotação. Quatro mecanismos são necessários para as quatro rodas. Dois sensores de profundidade são montados sobre cada das três faces

do robô. O braço scanner é montado na face restante do robô. Podemos observar na figura 2-27 o movimento guiado pelo reforçador.

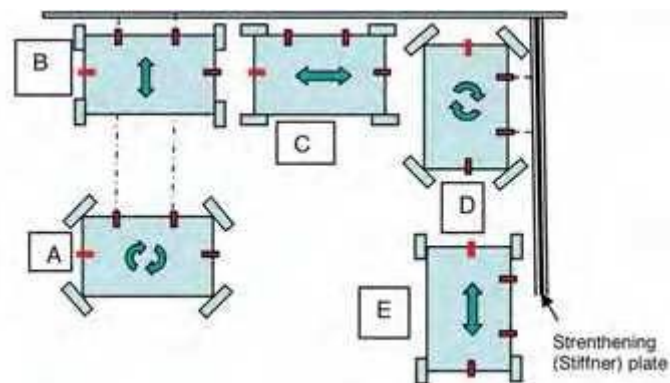


Figura 2-27-Sensor de movimento sobre 3 faces do robô e movimento rotacional

2.4.0 DIFERENÇA ENTRE OS ROBÔS DE ATMOSFERA EXPLOSIVA E NÃO EXPLOSIVA:

Para utilização do robô em ambiente de atmosfera explosiva é fundamental seguir regras que evite acidentes nessa atmosfera inflamável.

Os robôs de atmosfera explosiva devem seguir regras [16] para evitar esse tipo de acidente que o robô que trabalha em um ambiente de atmosfera não explosiva não precisa se preocupar.

Os robôs de atmosfera explosiva que possuem componentes eletrônicos, motores de acionamento, transdutores para ultrassom são encapsulados de forma a ficar selados e preenchidos de gás inerte para que o oxigênio possa ser eliminado. Esses robôs possuem um sistema de detecção de pressão interna, pois quando ocorre uma variação da pressão, o sistema de energia é cortado, impedindo contato com atmosfera explosiva.

Os sensores de ultrassom desses robôs são construídos com um atraso na leitura de informação. Esse atraso ocorre devido à utilização de uma sapata que evita o

desgaste protegendo os transdutores de ultrassom. Por exemplo, um transdutor comercial utilizado em um robô de atmosfera não explosiva é fabricado para passar uma alta-tensão e este é protegido por uma camada muito fina de 0.127mm de epóxi que pode ser danificada facilmente. Essa camada epóxi sendo danificada, expõem os fios por onde passam as altas a voltagem que é levada pelo cristal piezoelétrico, esses fios expostos danificados podem facilmente desencadear uma faísca e inflamar a atmosfera. O que não pode ocorrer quando se projeta um robô para atmosfera explosiva.

3 ROBÔ PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO

Mesmo ocorrendo de maneira pontual a inspeção de um tanque de armazenamento de óleo monta-se uma estratégia de trabalho que envolve uma mobilização da área em torno do tanque além de montagem de andaimes ou utilização de rapel, sendo necessário montar uma estrutura de andaimes que é cara e demanda tempo. O tipo de inspeção feito por um técnico, e por motivo de segurança, é necessário realizar uma série de medidas preventivas nesse tipo de operação, pois o trabalho será realizado em atmosfera insalubre, demandando mais tempo comparado a uma inspeção ao ar livre.

Esse tipo de inspeção pode ter seu custo e tempo reduzido utilizando um robô que escalasse a parte externa do tanque utilizando uma ferramenta de escaneamento por ultrassom. Mas infelizmente existem áreas como a base onde é revestida por uma proteção de concreto, como mostra na figura 3-1, para impedir acumulo de água onde o robô não consegue ter acesso pelo lado externo do tanque.



Figura 3-1-Base de concreto de um tanque de armazenamento de óleo

Além disso, a principal fonte de problemas em tanques é o chapeamento do fundo. Nessa área podem ocorrer de forma rápida uma oxidação em certas partes devido à grande parte devida à água que tem no óleo chamada água de formação em alguns casos essa corrosão é relacionada a composição química do solo. Isso apresenta dano

as áreas soldadas somadas ao movimento do solo por acomodação. O fundo do tanque pode ser inspecionado logo depois de esvaziado e devidamente limpo e ventilado. Essa operação é cara e requer o transporte do produto para outro tanque, perdendo de receita, pois a empresa ganha dinheiro com o armazenamento. Além do custo do custo de toda essa operação de limpeza e ventilação.

É possível fazer uma boa economia utilizando uma inspeção da parte interna do tanque utilizando um robô que pode ser inserido dentro do tanque pela boca de visita do teto como visto na figura abaixo (E descrito pela norma ABNT NBR 7821/1983 pg 4 como Boca de visita no Teto) sendo capaz de operar dentro do produto armazenado (ex. Petróleo, produtos refinados de petróleo, produtos químicos etc.)

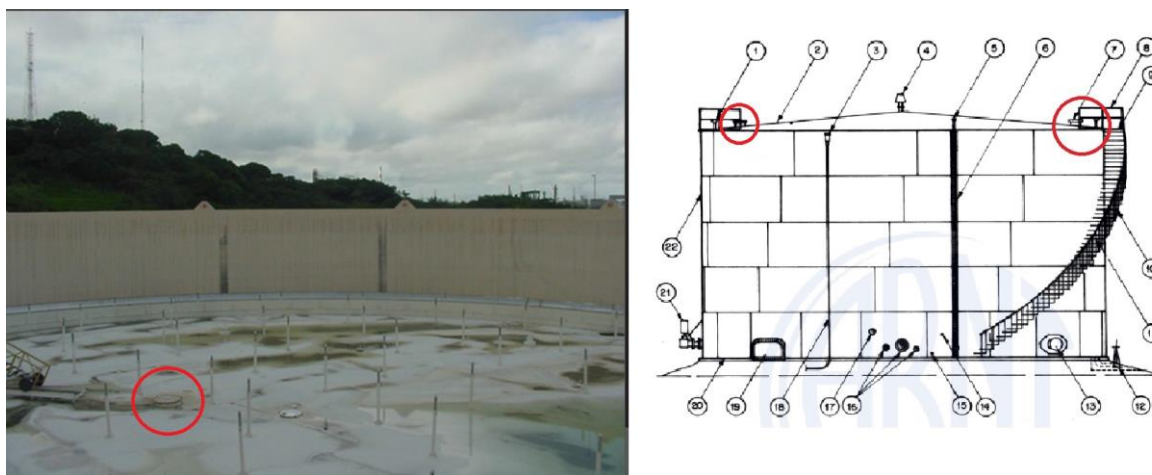


Figura 3-2- Norma ABNT NBR 7821/1983 pg 4 como Boca de visita no Teto

Para redução de custos da inspeção o robô deve ser versátil e capaz de realizar vários tipos de inspeção de uma só vez, depois de inserido dentro do tanque. Um robô versátil deve ser capaz de trabalhar em diferentes tamanhos de tanques e ser compacto para que possa entrar em diferentes escotilhas em diferentes tipos de tanque.

3.1 COMO INSPECIONAR:

A inspeção do tanque de armazenamento de óleo tem como objetivo verificar as condições físicas da estrutura e dos equipamentos e seus componentes externos e internos.

É preciso determinar a taxa de corrosão e avaliação da integridade dos mesmos, buscando identificar as causas da deterioração e ou avaria e fazer uma estimativa da

vida remanescente do tanque. A norma da Petrobrás *N-2318/C – Inspeção de tanque de Armazenamento* fixa as condições exigíveis e práticas recomendadas para inspeção de tanques de aço carbono de teto fixo ou flutuante.

A inspeção externa deve ser realizada com o tanque armazenando o produto, se o tanque for de teto flutuante o tanque deve estar em nível alto.

Todos os componentes são verificados, como teto, costado, base, bacia de contenção aterramento elétrico, bocais, plataformas, dispositivos de segurança contra pressão e vácuo. A N-2318 possui a descrição de todas as fases da inspeção externa. A inspeção geral, que inclui a interna é realizada com o tanque fora de operação e após limpo e ventilado liberado para acesso interno.

A primeira parte realizada é a inspeção visual, essa é variável em cada um, e muito mais variável quando se comparam em observações visuais em grupos de pessoas. A formação da imagem de um objeto no olho envolve sempre o ângulo visual que cresce quando aproximamos o olho do objeto e diminui quando afastamos do mesmo.

Os fatores que influenciam no exame visual são: Limpeza da superfície, acabamento da superfície, nível de iluminação da superfície, maneira de iluminar a superfície e contrastes entre descontinuidade e o resto do objeto observado.

Sendo observado na inspeção visual:

Teto: chapas; acessórios; conexões.

Costado: Chapas; cordões de solda; conexões; acessórios.

Fundo: chapas; cordões de solda; bacia; dreno.

Base: Anel de concreto; impermeabilização; chapa.

Dique: Vegetação; assoreamento; tubulação; bacias.

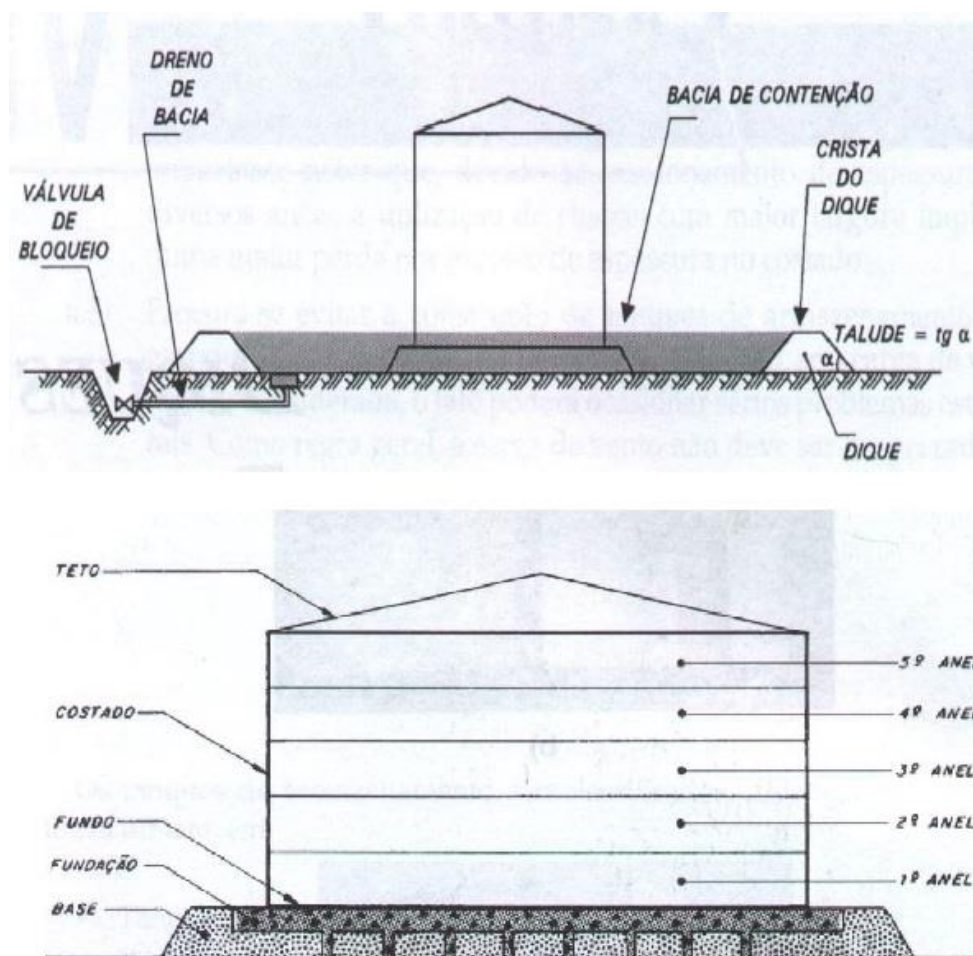


Figura 3-3-Partes do tanque de armazenamento de óleo

Após essa etapa os ensaios não destrutivos são realizados, utilizando técnicas consagradas e aplicando sobre a área de possível falha selecionada pela inspeção visual. Pela experiência do técnico envolvido na inspeção ele decidirá o tipo de ensaio não destrutivo ele irá utilizar. Sendo um líquido penetrante, teste por partículas magnéticas ou ultrassom. Com objetivo de mapear e mensurar as falhas nas áreas que foram realizadas a inspeção visual.

3.2 PROJETO PARA ROBÔ DE INSPEÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO:

Descrição das principais características e aplicações dos Veículos de Operação Remota Para Análise de Tanque de Armazenamento de Óleo que deve ser capaz de trabalhar em diferentes tamanhos de tanques e ser compacto para que possa entrar em diferentes bocas de visita e em diferentes tipos de tanque. Sendo esse robô deve ser

capaz de mergulhar em diferentes tipos de produtos para possibilitar a inspeção do alvo desejado, possibilitando escalar a parede do tanque para ser inspeção e chegar ao fundo do tanque movimentando-se com uma trajetória controlada. Também sendo capaz de realizar o mesmo tipo de inspeção se o tanque estiver vazio com apenas alguns centímetros do no interior do tanque. Esse último cenário é muito importante, pois muitas das vezes retirar o produto do tanque é relativamente fácil, entretanto, em alguns casos a remoção total do produto possa ser extremamente difícil. Por consequência a capacidade de operar no fundo do tanque com alguns centímetros do líquido ajuda a submergir os sensores do ultrassom e funciona com um meio de acoplamento entre o sensor e a chapa analisada, economizando com a limpeza do tanque eliminando necessidade de um ligante para o a leitura da sonda ultrassom.

Esse robô também deve ser intrinsicamente seguro quando operado em ambiente inflamável e explosivo.

Vazamentos causados pela chapa do fundo do tanque levam a poluição e contaminação do solo, causando um dano ao meio ambiente fato que deve se ser evitado.

Portanto é fundamental uma inspeção em um período de tempo classificado como mínimo para as chapas do fundo e costado para que possa ser decidido o momento ideal de para parar a operação do tanque e começar o reparo. Para ter uma boa rotina de inspeção nesses tipos de tanque é preciso esvaziar o tanque e limpá-lo. Para realizar toda essa manobra de esvaziar, limpar e inspecionar o tanque pode consumir de 1 a 9 meses de operação([3]- pg 129), levando em consideração um tanque de armazenamento de petróleo grande. Além disso, não se pode deixar de analisar que esses operadores da limpeza e inspeção estão expostos a uma atmosfera insalubre e perigosa por um longo período de tempo. Não se pode deixar de contabilizar o custo de retirar um tanque de operação do conjunto da planta de armazenamento.

Com todo esse procedimento e tempo pode-se observar que é possível fazer uma grande economia de tempo e dinheiro utilizando um robô de inspeção NDT para a inspeção do fundo do tanque e sua parede. Como mostra a Tabela-1 abaixo a tabela de custo comparado a inspeção tradicional e a realizada por um robô da *Manta Robotics*.

Tabela 3-1-Tabela comparativa de custo entre inspeção tradicional e realizada pelo robô

Table 1 Cost comparison of out of service verses Robotic in-service inspection method		
	Out of Service	Robotic
Direct Cost, US\$		
Tank Cleaning (estimated)	\$ 18,750.00	\$ -
Tank Inspection (estimated)	\$ 9,375.00	\$ 75,487.50
Waste Processing		
25¢ gal x 45,000 gallons	\$ 11,250.00	\$ -
Transportation	\$ 12,656.25	\$ -
Total direct cost US\$	\$ 52,031.25	\$ 75,487.50
Indirect cost, US\$		
Planning and administration	\$ 9,375.00	\$ 937.50
Saleable gasoline sent to reclamation Company		
US\$ 1.71/gal x 35,000 gallons	\$ 59,850.00	\$ -
Product Differncial		
Storage and handling (600,000 x est 0.5¢ /gal)	\$ 30,000.00	\$ -
Small lot (600,000 x est 0.5¢ /gal)	\$ 30,000.00	\$ -
Truck loading and admin		
120 loads at est. US\$ 114/load	\$ 13,680.00	\$ -
Premature repairs	\$ 46,875.00	\$ -
Total Indirect cost, US\$	\$ 189,780.00	\$ 937.50
Total costs	\$ 241,811.25	\$ 76,425.00

Com base nas necessidades de fazer uma análise NDT nos diversos tipos de tanque de armazenamento, esse robô deve atingir umas determinadas expectativas como:

Possuir características físicas e dimensionais para entrar nas bocas de visitas do teto não podendo ser maior de 300 mm de diâmetro.

Navegar no tanque em operação com sedimentos e sendo capaz de fazer as inspeções necessárias com seus sensores NDT. Ser capaz de mudar de superfície, indo da chapa do fundo para a parede sendo capaz de fazer uma inspeção NDT nas partes que não são possíveis ter acesso do lado de fora. Ser capaz de operar em atmosfera explosiva e tóxica e em líquidos como petróleo e seus derivados, amônia e etc.

De uma forma geral, deve possuir uma navegação podendo levar um objeto a partir de uma configuração (posição e direção) detectando e evitando obstáculos.

Para o projeto do robô que irá fazer a inspeção em um tanque de o armazenamento de petróleo será considerado um cenário crítico:

Para a idealização do projeto, configuramos um tanque de armazenamento que não foi limpo por volta de cinco anos, possui uma grande quantidade de borra com mais de 5 metros de altura.

O teto é flutuante com flutuador, que é Construído com um lençol central (deck / convés) e um flutuador na periferia. Ou um teto flutuante duplo, que possui dois lençóis de chapas ligados, internamente por uma estrutura metálica, formando compartimentos estanques.

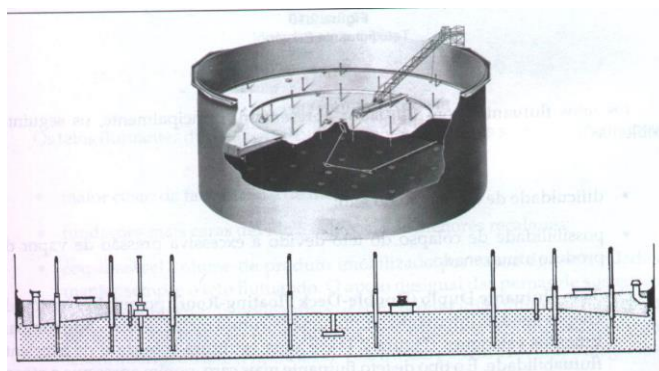


Figura 3-4-Teto flutuante duplo-Pontoon Type

O diâmetro desses tanques está entre 20 a 100 metros e são construídos de aço carbono. Eles possuem anéis formados com chapas de aço carbono com no mínimo 12,5 mm de espessura. A parte central do tanque pode variar de 6 a 12 mm.

O período para preparar o tanque, removendo o petróleo, gás e a borra sedimentada, é de 6 a 9 meses. Em adicional a isso de 3 a 6 meses, são precisos para limpar o tanque retirando todo o resquício de óleo. E depois, deixar ventilar para possibilitar a entrada do técnico em um ambiente adequado para iniciar o procedimento de inspeção.

Com o tanque limpo é feita uma primeira análise visual e depois em seguida usa-se a técnica de *Magnetic Flux Leakage (MFL)* ou *Low Frequency Eddy-Current* para achar as áreas de problemáticas e depois o ultrassom para validar o quanto essas áreas perderam de espessura.

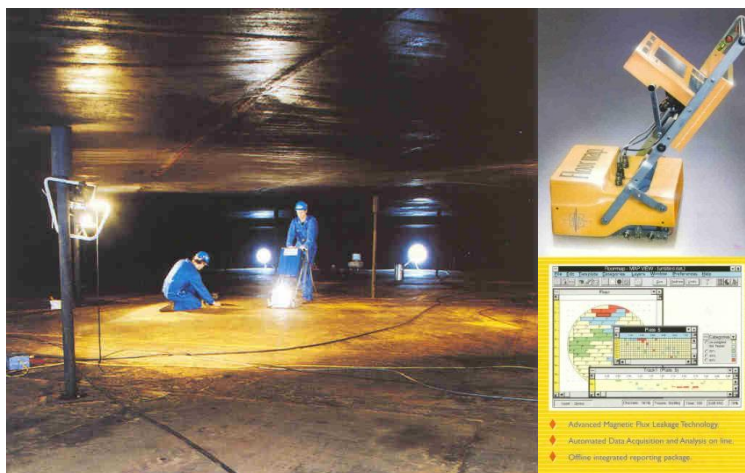


Figura 3-5- Inspeção Visual e Medição de falhas pela tecnica Magnetic Flux Leakage (MFL)

Dependendo da técnica utilizada de inspeção, as chapas anulares com espessura acima de 35 mm pode ser obtido separando a parte superior da parte chapa de fundo corroída. Examinar as solda das chapas do fundo é uma tarefa difícil devido a resíduos e a pouca luminosidade e consome bastante tempo.

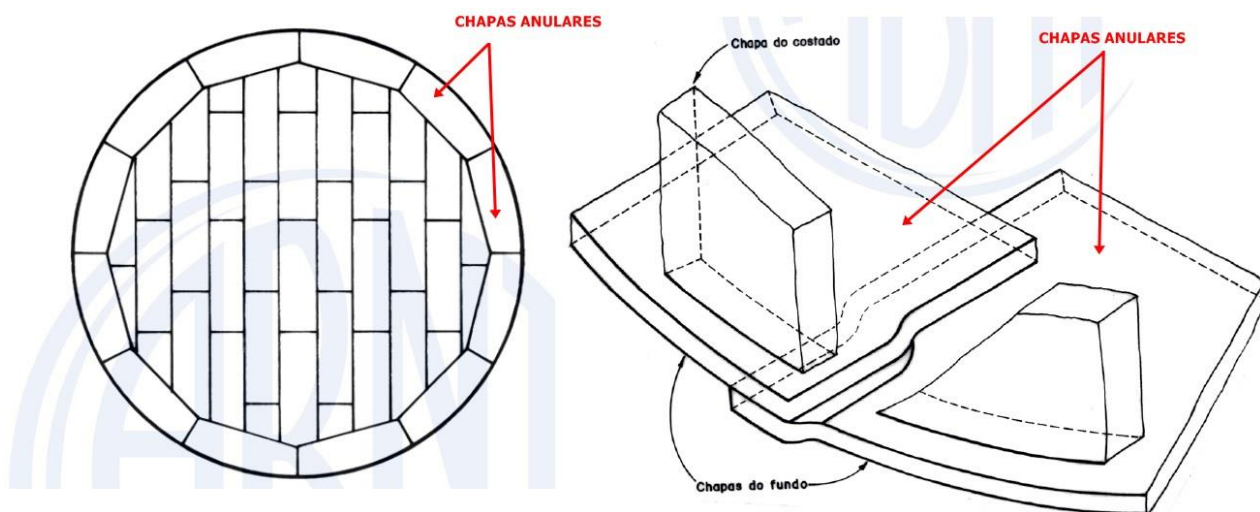


Figura 3-6- Chapas anulares

Alguns tanques de armazenamento de óleo combustível podem ser equipados serpentinas de aquecimento (geralmente 50 milímetros tubos de vapor de diâmetro), que dificultam a inspeção do fundo. Muitos destes tanques possuem grande diâmetro com vigas de aço soldado em torno do perímetro do tanque entre metade e dois terços da sua altura para reforçar o tanque. Nesses pontos, se não for feita uma drenagem de maneira adequada, pode ocorrer um armazenamento de água podendo

ocorrer consequentemente pontos de corrosão.

Para um robô operar em uma atmosfera inflamável e explosiva o projeto deve conter restrições para torna-lo mais seguro, de acordo com BASEEFA que segue as regras da "European comission ATEX GUIDELINES ("Atmosphères Explosibles") [4] que certifica para ambiente inflamáveis e explosivos e no Brasil a Normas Técnicas ABNT NBR IEC 60079 [16], recomenda que para os robôs que possuam eletrônicos, motores de acionamento e eixos e dispositivos eletrônicos de controle dentro da sua estrutura devam ser encapsulado de forma a ficar selado e pressurizados e preenchido por gás inerte para que o oxigênio possa ser eliminado.

Um sistema de detecção de pressão interna deve ser instalado no robô, para que se ocorrer uma variação o sistema de energia seja cortado, impedindo contato com a atmosfera explosiva.

Entretanto ao colocar o robô dentro de um tanque de armazenamento existe um perigo de explosão devido aos gases suspensos no interior do tanque, chamados de "vapor". Para diminuir esse risco ao inserir o robô dentro do tanque recomenda-se utilizar um funil purgado de oxigênio no qual o robô possa passa para dentro do líquido sem risco.

Outra recomendação é que o robô deva ser construído de material que impeça o acúmulo de eletricidade estática e deve evitar cantos vivos de onde a descarga possa ocorrer.

O centro de flutuação do robô depende da densidade do líquido. Um robô versátil pode operar e diferentes líquidos e possuir a capacidade de passar de um fluido de diferente densidade podendo controlar a sua capacidade de flutuação de forma ativa.

A indústria do petróleo usa a grau API como uma medida para a densidade de petróleo. API é uma medida inversa, quanto maior for o número do API menor a densidade é dada pela equação abaixo:

$$\text{Grau API} = \frac{141.5}{\text{gravidade específica}} - 131.5$$

Onde a gravidade específica é a razão entre a densidade do óleo e a da água. O petróleo leve tem um grau de API superior a 40. Quando temos o Grau de API=40 a densidade d'água é de 998 Kg (m^{-3}), a densidade do petróleo leve é de 823,42 Kg (m^{-3}). O petróleo pesado tem um grau de API de 20 ou menos com uma densidade de 932,13 Kg (m^{-3}) fazendo uma comparação à densidade do azeite de oliva é de 920 Kg (m^{-3}).

Um robô projetado para possuir uma flutuação neutra em água, sendo esse controle feito por controle de massa ou de volume, vai apresentar um empuxo negativo em óleo.

Por exemplo, se o peso do robô no ar é 998 Kg e o seu volume é de 1 m^3 possuirá uma flutuação neutra, mas se em um petróleo bruto de grau API de sofrera um empuxo negativo de 66Kg.E esse mesmo robô em um petróleo leve de API 40 sofrera um empuxo negativo de 175kg.

É útil que o robô tenha ao escalar o costado do tanque, possuir uma flutuabilidade neutra para que as forças gravitacionais não afetem na sua subida. Ao navegar, a flutuabilidade do robô pode ser alterada em torno do seu centro de volume imerso do robô para subir e descer o robô ou variar rapidamente, regulando a sua profundidade em um determinado ponto definido. Ele precisa ter uma flutuação negativa negativamente ao inspecionar o chão para que assim ele possa aplicar pressão suficiente para a boa tração e contato de sensores ultrassom NDT.

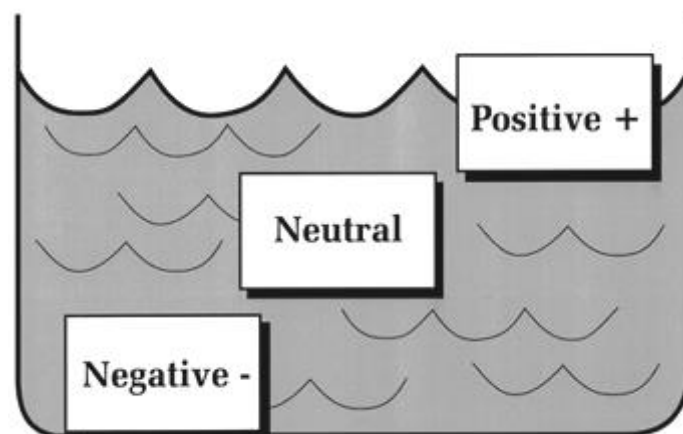


Figura 3-7- Tipos de Flutuabilidades

Em conclusão, a variação de massa ou volume controlada por uma unidade projetada

de flutuabilidade deve possibilitar a variação da flutuabilidade do robô permitindo que o mesmo robô possa operar em todos os tipos de líquidos com flutuabilidade neutra ao escalar costado do tanque e com flutuabilidade negativa quando estiver no chão.

4 ROBÔ PARA INSPEÇÃO EM TANQUE DE FPSO ATMOSFERA EXPLOSIVA:

Nesse capítulo vamos falar sobre as características do elemento a ser inspecionado que é o tanque de um FPSO e suas características físicas e principais problemas apresentados, os procedimentos para inspeção realizadas por um robô.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UM FPSO A SER INSPECIONADO

Quando armazenamos substâncias perigosas ao meio ambiente, evitar e reduzir o risco de vazamento é fundamental. A corrosão do tanque de um FPSO pode causar um grande desastre ambiental e colocar em risco de morte muitas vidas.

Com o objetivo de indicar as diversas etapas para adotar um procedimento de inspeção de tanques de armazenamento de óleo de FPSO será dado enfoque nos componentes estruturais considerados de maior ou menor risco. Assim poderemos elaborar uma estratégia no caminho da inspeção e analisar as características principais do robô que será utilizado para essa demanda.

A pintura e a fadiga são razões determinísticas que nos leva a priorizar áreas onde deve receber a inspeção. Pintura e fadiga são fatores que podem influenciar negativamente a integridade estrutural de um navio em toda a sua vida útil já que a embarcação fica exposta à atmosfera marinha e, em diversas áreas, submetida a diferentes meios corrosivos. E por experiência adquirida em navios semelhantes, as sociedades classificadoras constataram que os longitudinais de costado são mais suscetíveis à fadiga ([14] OCIMF, 1995).



Figura 4-1-Corrosão por Pitting

Corrosão por *pitting* no chapeamento do fundo de tanques de carga podem ocasionar o vazamento do carregamento para o fundo duplo, ocorrendo assim um maior risco de explosão e de poluição durante operações de lastro. Enquanto que a corrosão sob o convés dentro do tanque de carga pode levar a uma redução na resistência que dá origem à possibilidade que mais uma falha estrutural grave ocorra.

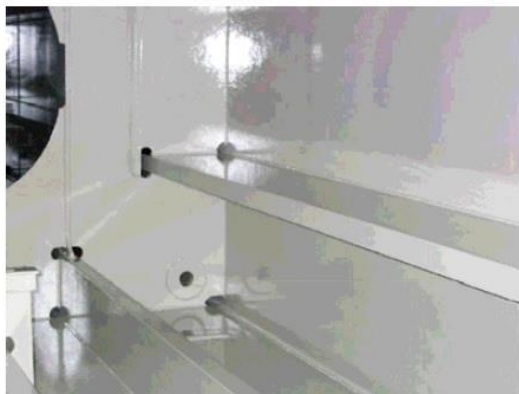


Figura 4-2-Pintura em Tanque

Trincas por fadiga, que podem ocorrer em todos os tipos de navios, estão associadas com tensão cíclica e podem estar ligadas a otimização das estruturas do navio: pouca atenção do detalhamento de projeto, corrosão, concentração de tensões e uso incorreto de aço de alta resistência, por exemplo. Trincas por fadiga são geralmente encontradas em navios antigos, embora tenham sido encontradas em navios com cinco anos de entrega como observado na figura 4-3.



Figura 4-3-Trinca por fadiga no chapeamento da caverna transversal de um tanque de asa de lastro



Figura 4-4-Trinca em reforçador de costado

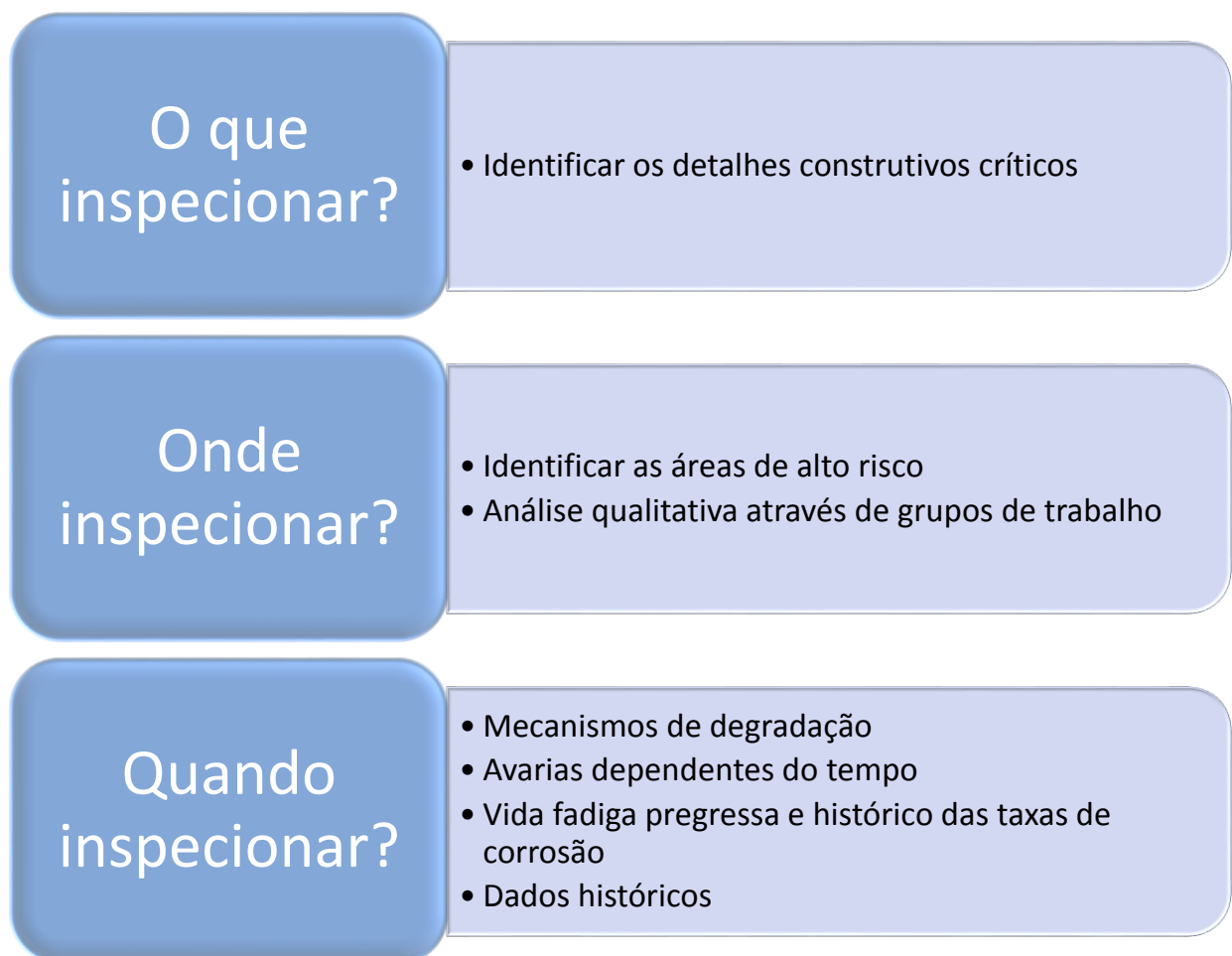
4.2 ESTRATÉGIA PARA IDENTIFICAR ELEMENTOS PARA INSPEÇÃO DOS TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO EM FPSO

A ideia de realizar uma inspeção em um tanque de um FPSO e atingir de maneira eficaz os pontos de maior necessidade, ou seja, os pontos onde deve-se ter uma maior demanda estrutural será suprida utilizando a metodologia IBR – Inspeção

Baseada no Risco, também conhecida como RBI do inglês "*Risk Based Inspection*" utilizaremos uma sistemática ferramenta que fornece informações essenciais para a tomada de decisões relativas a ações e inspeção com o objetivo de racionalizar os recursos em função do risco existentes.

Essa abordagem baseada no risco permite focar uma maior atenção nos seguimentos de estrutura que possuem maior risco de falha, permitindo desenvolver ações de inspeções e intervenções que permitam reduzir o risco de falha de maneira eficaz. A IBR deve ser usada como uma ferramenta de melhoramento contínuo, permitindo melhorar as ações de inspeção, reduzindo riscos e utilizando melhor o tempo disponível.

Nesse processo elabora-se a estratégia de inspeção, que descreve o que e quando e como inspecionar, da maneira mais adequada para os mecanismos de degradação da estrutura previsto ou observado. As questões básicas da metodologia da IBR podem ser resumidas pelas perguntas:



Onde inspecionar?

- Probabilidade - possibilidade de que uma falha ocorra
- Ex: trinca na antepara transversal de um tanque de carga
- Consequência - resultado se a falha realmente ocorrer
- vazamento de óleo para um tanque de lastro – possível explosão

Essa metodologia consiste em estimativa da frequência de falha e na determinação da consequência da mesma, calculando assim o risco através do produto da “frequência de falha” pela a “consequência da mesma falha”. A frequência, quando não conhecida com exatidão, é estimada através de frequências de falhas genéricas e aplicação de fatores modificadores; já a consequência considera a segurança, perdas econômicas e o impacto ambiental.

Através dessa metodologia chegamos ao resultado que testar as soldas das anteparas longitudinais, fundo duplo, e antepara transversal do tanque são nossas bases de análises. Também são foco de nossas preocupações a solda entre costado do tanque com o fundo, furos de passagem onde passa o longitudinal conectado ao transversal, pé da borboleta e conexões de rede.

4.3 OBJETIVO DE UM ROBÔ NA INSPEÇÃO DE UM TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE UM FPSO

Esse robô tem o objetivo de inspecionar soldas localizadas no interior de um tanque de um FPSO (*floating productions storage offloading tank*).

Atualmente esse tipo de solda é inspecionado manualmente depois de um demorado preparo do tanque que é composto pelo seu esvaziamento seguido de limpeza. Esse trabalho é demorado e caro, demandando que o operador trabalhe em uma atmosfera explosiva.

Uma redução de custo significativa pode ser feita se essa inspeção for realizada por um robô que possa entrar no tanque enquanto esse tanque estiver quase vazio ou com poucos centímetros de óleo restante no fundo do tanque ou preferivelmente cheio. No primeiro caso o robô operaria com parte do óleo o que não seria um grande problema pois parte desse óleo ajudaria com conectar os sensores a chapa inspecionada, e não haveria a necessidade de flutuar e se posicionar dentro do tanque envolvido por um fluido pelas anteparas e chapas reforçadas e uma série de elementos estruturais. No segundo caso o robô navegaria dentro do óleo, pelos elementos estruturais eliminando a necessidade de esvaziar o tanque.

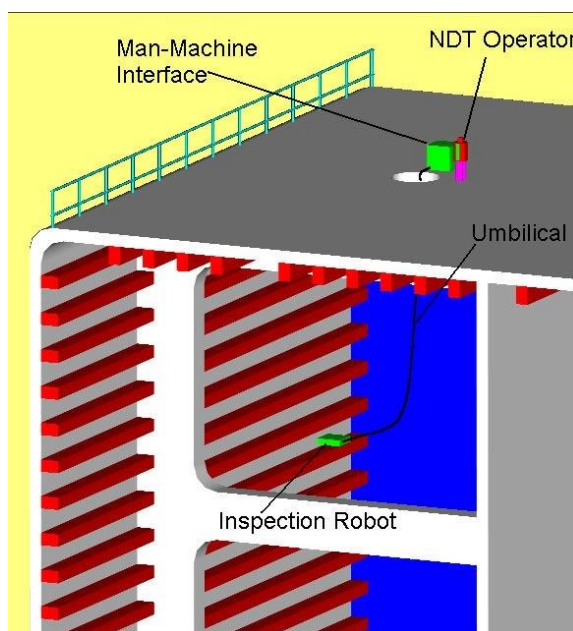


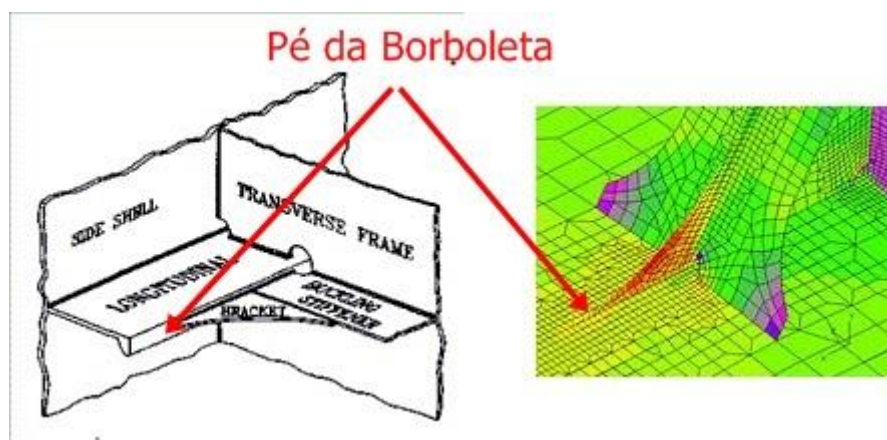
Figura 4-5-Inspeção FPSO tanque

Para garantir uma segurança estrutural as soldas são analisadas em determinados espaço de tempo. As principais tarefas são: testar as soldas das anteparas

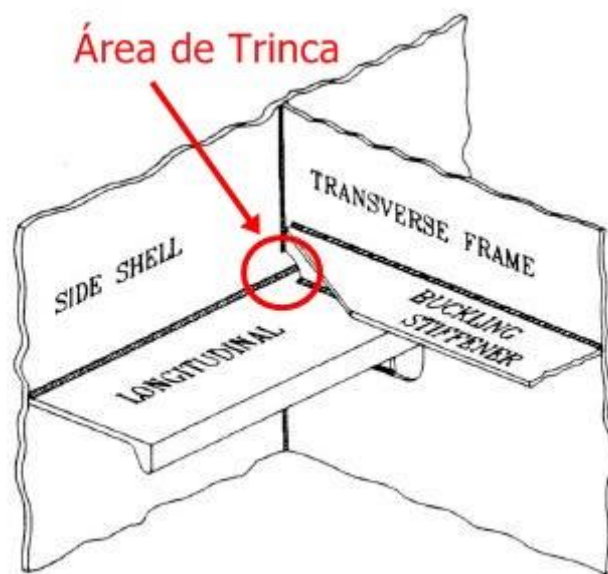
longitudinais, fundo duplo e antepara transversal do tanque.

Normalmente as soldas são testadas manualmente após esvaziar o tanque de óleo e limpá-lo. Isto implica um alto custo com limpeza e teste. A ação de esvaziar, limpar e inspecionar um par de tanques leva de 3-4 semanas e custa aproximadamente £25 a 30 mil libras. Um par de tanques de lastro de FPSO nos primeiros 5 anos de uso custa aproximadamente £60-70 mil libras. Esse custo aumenta para £150-200 mil libras para inspecionar 3 pares de tanques de carga e 3-4 pares de tanques de lastro depois de dez anos em um FPSO. Esse custo pode ser reduzido substancialmente enviando um robô dentro do tanque sem esvaziá-lo eliminando o custo dessa manobra e limpeza mencionado no *AMPHIBIOUS NDT ROBOTS* [3].

Trincas na solda são causadas por fadiga, e essas fadigas podem ser classificadas em dois tipos. A primeira a fadiga de baixo ciclo, que é ocasionado pela deflexão do painel ao carregar e descarregar o tanque provocando rachaduras no pé da borboleta, normalmente no material em que é soldado (secundário).



A segunda fadiga, de alto ciclo é ocasionada pela pressão tosamento e alquebramento no fundo e no costado do tanque, causando trinca nos furos de passagem onde passa o longitudinal conectado ao transversal.



O chapeamento do fundo do tanque usualmente é entre 18-25mm de espessura e é testado para verificar se sofreu corrosão, causada pela degradação da tinta protetora. O *pitting* pode se desenvolver em uma razão de 2-3 mm ao ano e às vezes mais rápido em uma ordem de 5 mm ao ano e ainda mais rápido se o óleo presente for mais corrosivo [15].

4.3.1 O AMBIENTE DE INSPEÇÃO:

Vamos observar uma inspeção de painéis soldados no fundo do tanque e no costado do tanque podemos observar que esta não é uma tarefa fácil pois o ambiente em que o robô ira inspecionar é repleto de reforçadores e cavernas que normalmente se distanciam-se de 600-900mm umas das outras. O robô deve ser capaz de operar entre dois reforçadores longitudinais aproximadamente de 600-900mm separados por cavernas a partir de 4,5 metros distância entre elas o robô deve ser pequeno e leve não podendo ultrapassar o peso de 20 kg de maneira que possa ser fácil inseri-lo por um ou dois homens por uma escotilha de passagem de diâmetro mínimo de 600 mm.

O acesso aos cordões de solda, pode ser feito pelo robô por navegação sobre os elementos estruturais de uma seção do tanque para outra locomovendo-se pela parede ou chão entre os elementos.

Se observarmos os tanques de FPSO do mar do norte e do Brasil podemos notar que os tanques do FPSO do mar do norte são limpos primeiramente com óleo cru pressurizado para evitar o surgimento de parafina e borra devido a baixas temperaturas pois semelhante dissolve semelhante e depois com água do mar quente.

Depois a água é removida tratada e retornada ao mar e em seguida esse tanque é inspecionado por operadores através de um robô, normalmente apenas alguns centímetros são deixados no fundo do tanque. Essa água no tanque tende a ser bastante limpa embora misturada com resíduos de óleo. Isso possibilita a inspeção do tanque na base mas dificulta as partes superiores pois o robô deverá escalar as anteparas utilizando suas rodas. Por conta disso a inspeção pode ser feita deixando o tanque cheio dessa água em seguida o robô pode ter acesso às soldas navegando até o local do teste com isso diminuindo o tempo de inspeção.

Os FPSO's no Brasil não são limpos com água quente pois eles são operados em temperaturas altas quando comparadas aos FPSO's do mar do norte. Logo seus tanques são limpos apenas com óleo pressurizados eliminando o custo do processo de tratar a água antes de estorná-la ao mar. Neste cenário o robô deve navegar em óleo cru e deve obter equipamentos de segurança intrínseca requeridas para operar em atmosfera explosiva. Deve possuir um sistema de navegação, pois navegara em visibilidade zero. Entretanto esvaziar e limpar o tanque apenas deixando alguns centímetros de óleo em seu fundo inspecionar essas soldas com um robô ainda continua sendo uma boa solução para economizar essa inspeção e evitar que humanos façam esse tipo de inspeção por NDT manualmente. Vale ressaltar que mesmo providenciando uma sistema de limpeza no tanque ainda persiste um resíduo que é um filme de parafina que se deposita no fundo mas não nas paredes do tanque.

5 PROJETO BÁSICO DO ROBÔ PARA INSPEÇÃO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÓLEO

Agora que sabemos das características dos robôs de atmosfera explosiva[16], observamos os problemas e soluções para a utilização do robô de inspeção em tanque de armazenamento de óleo em terra e em tanque de um FPSO, será proposto abaixo um projeto básico utilizando o conhecimento armazenado nas etapas anteriores.

Para esse projeto será desenvolvido em estrutura em bandeja. Esse tipo de estrutura permite que utilizemos componentes que estão disponíveis no mercado de maneira mais prática, setorizando sua montagem. Esses equipamentos seguem normas e são utilizados em outras classes de robô remotamente operados. Por exemplo; para instalar um braço mecânico em um robô, posso comprá-lo de diferentes fornecedores, podendo escolher seu torque, pressão atmosférica a ser suportada, economia de energia e outros fatores.

O projeto deve contemplar uma estrutura que suporte a coluna de pressão na região que o robô irá operar, energia, layout interno vislumbrando uma boa manutenção dos equipamentos que serão acoplados no interior do robô, mobilidade permitindo que o robô possa operar entre os elementos estruturais realizando sua tarefa de operação de maneira satisfatória.

Para que o robô tenha uma boa mobilidade iremos restringir suas dimensões em 312 mm de altura, 410mm de largura e 300mm de profundidade.

Uma recomendação é que o robô deva ser construído de material que impeça o acúmulo de eletricidade estática e deve evitar cantos vivos de onde a descarga possa ocorrer, e a conexão do umbilical que é conectado por rosca na estrutura do robô, como mostrado no esboço na figura 5-1.

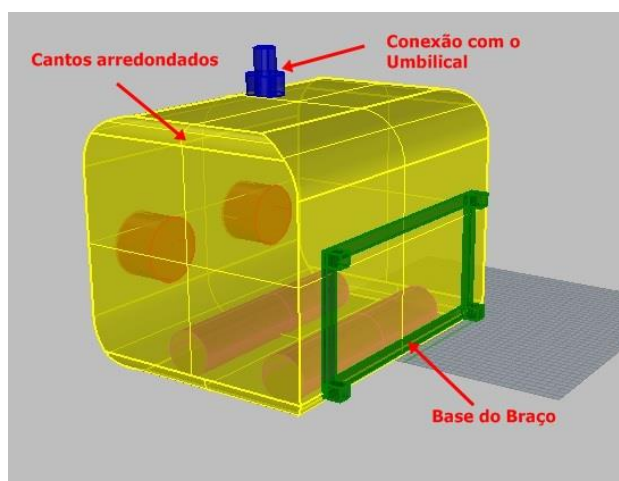


Figura 5-1-Esboço da Forma do robô de inspeção

A ideia da mobilidade por rodas magnéticas que se deve ao fato que o robô terá mais estabilidade e aderência quando estiver na parede do tanque, podendo aderir a antepara de aço com mais firmeza.

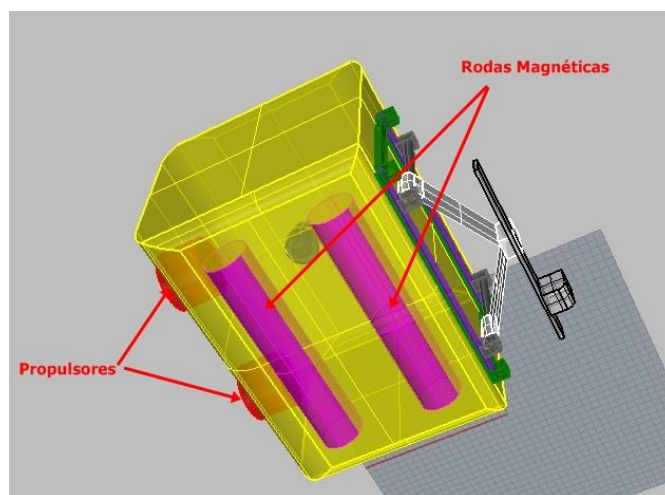


Figura 5-2-Esboço das rodas magnéticas e propulsor

Dentro do robô possui outro item que permite o controle de sua flutuabilidade, fazendo com que o robô possa ficar em equilíbrio neutro mantendo-se em uma determinada altura dentro do tanque, não deixando todo peso para as rodas magnéticas. Todas as suas laterais possuem sensores de obstáculo e no interior um sensor de profundidade possibilitando mapear sua localização.

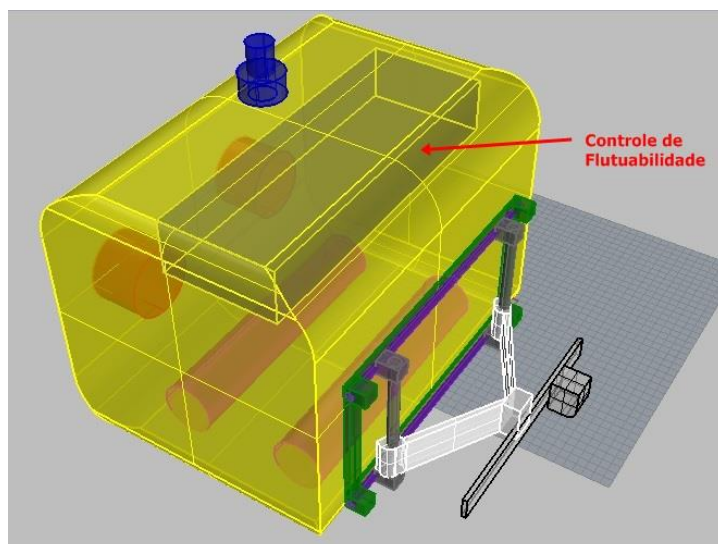


Figura 5-3-Tanque de Flutuabilidade

A figura 5-4 mostra o braço mecânico onde o sensor NDT fica conectado.

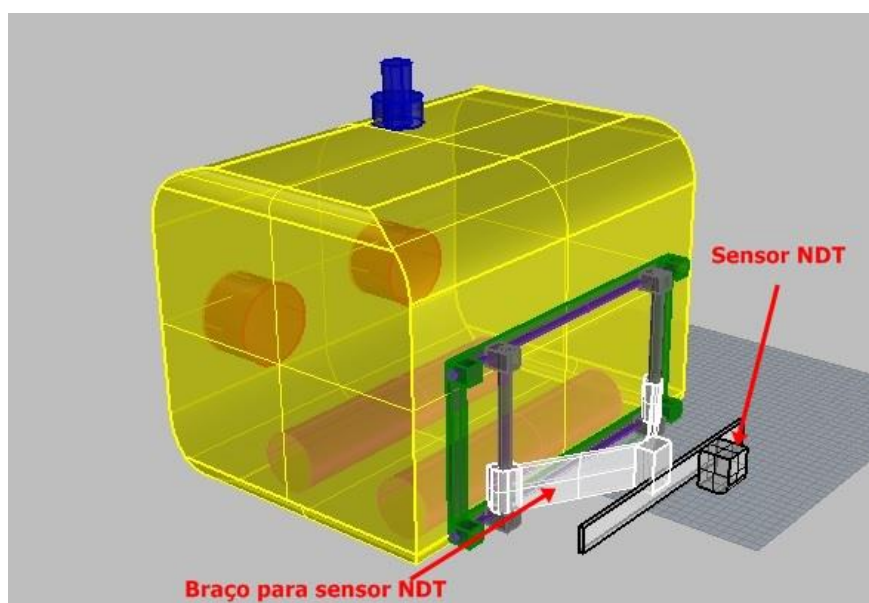


Figura 5-4-Sensor NDT conectado ao braço mecânico

6 GLOSSÁRIO

ACFM -Alternative Current Measurement: Técnica de medição por corrente alternada.

ATEX Guindelines- Atmosphères Explosibles: Guia da comissão europeia de trabalhos em atmosfera explosiva.

BASEEFA - British Approval Service for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres: Organismo de certificação britânica de equipamentos para uso em atmosferas potencialmente explosivas.

Drive Wheel: rodas tracionadas.

ETC-Eddy Current Test: Teste por Corrente de Foucault.

Fast Cleanig kit : Kit de limpeza rápida.

Fast Eddy current kit: Kit de teste de Corrente de Foucault.

Fast inspection câmera Kit: Câmera de inspeção rápida.

Fast Ultrasonic kit: Kit de ultrassom rápido.

FPSO - Floating Production Storage Offloading Tank :Plataforma de produção armazenamento e alivio de petróleo.

IP code -International protection Marking

IEC – Internacional Electrotechnical Commission

Low Firequency Eddy-Current :Corrente de Foucault de Baixa de Frequência

MFL Magnetic Flux Leakage: Magnético fluxo de dispersão.

NDT- Non destructive Test: Ensaio Não Destrutivo.

RCV- Remote Control Vehicle: Veículo Remotamente controlado.

Suctions Disk: Disco de Sucção.

UT: Ultrasson.

7 CONCLUSÕES

Após o levantamento da tecnologia empregada para a utilização de um robô de inspeção em atmosfera explosiva, conseguimos delinear fatores fundamentais de operação e segurança apontando dificuldades e soluções e jogando uma luz nas áreas críticas possibilitando um apoio teórico para a realização de um projeto básico desse tipo de robô.

Ao longo desse trabalho foi acumulado conhecimento para a sugestão de um robô de inspeção utilizando a construção por bandeja com foco nas necessidades e possibilidades da utilização e operação do mesmo de forma segura em ambientes explosivos. Como esse tipo de robô é construído em bandeja é necessário pesquisar as peças existente no mercado que respeitam a ETEX e ABNT NBR IEC 60079, escolher a plataforma de controle que satisfaça as etapas do processo de inspeção , fazer o balanço elétrico para obter a demanda energética do aparelho dos componentes internos selecionados, organizar o layout do robô facilitado a montagem, reparo e manutenção dos equipamentos internos, fazer um protótipo para teste, simular ambiente de risco para teste em ambiente explosivo controlado para verificar as regras de utilização de acordo com a legislação desse tipo de aparelho em ambiente explosivo.

Chegando à conclusão que é possível a utilização desse tipo de robô no ambiente brasileiro, quando solucionada o entrave da etapa seguinte da realização do protótipo e a comercialização do objeto de pesquisa para que com isso fique solidificado a construção do mesmo para ser empregado na indústria brasileira. Acredito que o trabalho trouxe ferramentas para o início do projeto deste tipo de robôs de inspeção.

8 BIBLIOGRAFIA

- [1] SCOTT B., CHARLES B I., KLINGLER K. , KERRY T., W. Thor Zollinger;
"ULTRASONIC DELAYS FOR USE IN EXPLOSIVE ENVIRONMENTS" (WO 2000055594 A2).
- [2] LUCIANO L., MENEGALDO, SANTOSY M., NUNES F., SIQUEIRA R., MOSCATOZ L.;
"SIRUS: A MOBILE ROBOT FOR FLOATING PRODUCTION STORAGE AND OFFLOADING (FPSO) SHIP HULL INSPECTION".
- [3] SATTAR T., HERNANDO E., RODRIGUEZ E., SHANG J." AMPHIBIOUS NDT ROBOTS".
- [4] ATEX GUIDELINES – EUROPEAN COMISSION- "Guidelines on the application of directive 94/9/EC of the european parliament and the council of 23 march 1994 on the approximation of the laws of the member states concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres",2016.
- [5] Pagina da internet:
<http://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/20007/the-fibre-frontier-sewer-robots-go-where-workers-cannot> (acessada em 03/12/2015).
- [6] Pagina da Internet:<http://www.ca-botics.com/>(acessada em 03/12/2015).
- [7] Pagina da Internet:<http://inspection-robotics.com/products/fast-robotic-platform/>(acessada em 07/01/2016).
- [8] Pagina da Internet:www.urakami.co.jp (acessada em 04/11/2015).
- [9] Pagina da Internet:<http://www.techcorr.com/in-service-tank-inspections.php>
(acessada em 07/01/2016).
- [10] Pagina da Internet:<http://www.solexrobotics.com/Solex7.html> (acessada em 03/01/2016).
- [11] Pagina da Internet: http://www.mantarobotics.com/case_study.html (acessada em 03/01/2016).
- [12] Pagina da Internet:<http://inspection-robotics.com/> (acessada em 07/01/2016).
- [13] Norma ABNT NBR 7821/1983.
- [14] Oil Companies International Marine Forum OCIMF-1995.
- [15] Factors influencing accelerated corrosion of Cargo Oil Tanks. OCIMF paper: September 1997.
- [16] Normas Técnicas ABNT NBR IEC 60079 – Atmosferas explosivas.