

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 42 | 09 2022

Avaliação de criticidade de ativos *Offshore*: Uma metodologia multidisciplinar

Autor:

Bruna Cristina Siqueira Kaiser





AGENDA

INTRODUÇÃO

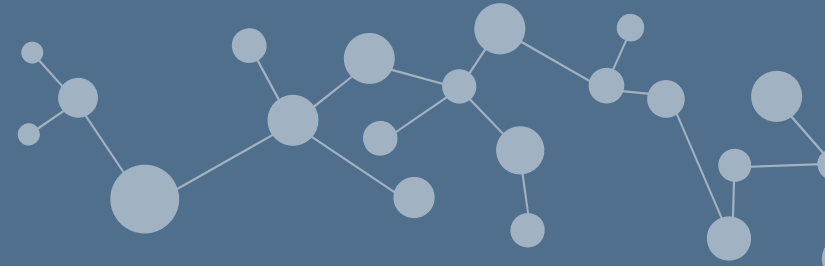
METODOLOGIA DA PESQUISA

PRÓXIMOS PASSOS





INTRODUÇÃO



CONTEXTO



Visão geral do setor

A relevância da Indústria de Óleo e Gás



Em 2019, o setor movimentou somente nos EUA, **US\$1,7 trilhões**
Em 2022, numa projeção global, estimou-se que esse setor movimentará **US\$5 trilhões**
(PwC, 2021; IBISWorld, 2022)



Responsável pela geração de milhares de empregos (PwC, 2021)
Inovação Tecnológica (HU et al., 2013)



Exerce um papel crucial em cadeias de abastecimento de outros setores, como o energético (Ghaithan et al., 2017) e o químico (Adkins et al., 2010), por exemplo.



As plataformas *Offshore* figuram como protagonistas uma vez que podem concentrar atividades de perfuração, produção, armazenamento e transferência de petróleo nos mares e costas de inúmeros países do globo (Ni et al., 2022). Plataformas Offshore são sistemas técnicos de natureza complexa, tendo em vista que sua finalidade é alcançada a partir da conjunção do desempenho das atividades de uma miríade de componentes (PANENKA et al., 2020; RATNAYAKE, 2014).

Fixa

Autoelevável

Semissubmersível

FPSO

FPSO Monocoluna

TLWP

Navio-Sonda

Visão geral do setor



Do ponto de vista das instalações offshore, a corrosão é a forma mais proeminente de dano devido a combinação de materiais metálicos expostos à um ambiente agressivo (Jurišić et al., 2017; KABIR; SADIQ; TESHAMARIAM, 2016; RATNAYAKE and MARKESET, 2010; MOAN, 2005; OKE et al., 2006):

- A corrosão, portanto, pode gerar mecanismos de **redução da confiabilidade, resistência e durabilidade do ativo.**
- Mecanismos de degradação delineiam cenários de falha, que **a depender do componente afetado**, pode levar a graves consequências em múltiplas dimensões, quais sejam:
 - I. Saúde (pessoas) e segurança (pessoas e instalações)
 - II. Meio ambiente
 - III. Financeira (Lucro cessante, Imagem da Companhia frente aos *stakeholders*)

Na indústria de óleo e gás (O&G), os custos de manutenção representam entre 20% - 40% dos custos totais de operação (Abbas e Shafiee, 2020).

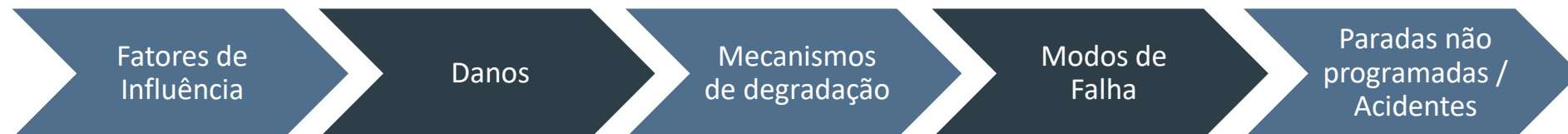
Contexto: Mecanismos de degradação de ativos e seus impactos



**Danos
(CORROSÃO)**

- Fraturas
- Problemas de Cobertura
- Falha de soldas
- Deformações

Fonte: Animah and Shafiee, 2017; Abbas and Shafiee, 2020; Mahmoodzadeh et al., 2020); Ni et al., 2022.



Mecanismos de degradação de ativos e seus impactos

❑ Exemplos



Plataforma Piper Alpha, instalada no mar do Norte, Escócia.

- O acidente ocorreu em julho/1988
- Especialistas indicaram como uma das possíveis causas:
 - Falta de processos eficientes de manutenção, evidenciado por atividades de planejamento, programação e verificação deficientes.
- Consequências: Morte de 167 pessoas e colapso estrutural da plataforma. [Saúde e Segurança, Meio Ambiente e Financeiro]

Mecanismos de degradação de ativos e seus impactos

❑ Exemplos

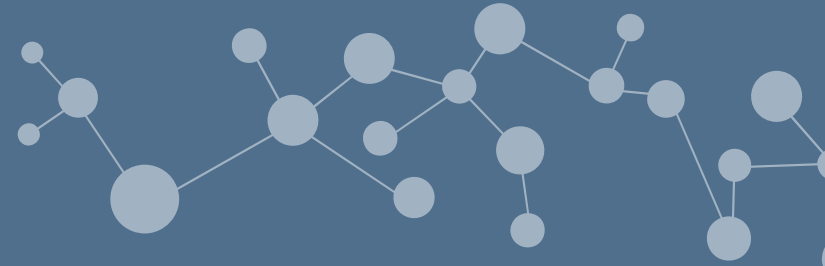


Plataforma P-36, instalada no campo de Roncador, localizada na Bacia de Campos, RJ.

- O acidente ocorreu em março/2001.
- A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Diretoria de Portos e Costas (DPC) concluiu que o acidente ocorreu por uma convergência de eventos, os quais foram viabilizados por não-conformidades nos procedimentos de **operação, manutenção e projeto**.
- Consequências: Morte de 11 pessoas e submersão completa da plataforma. [Saúde e Segurança, Meio Ambiente e Financeiro]

Fonte: ANP / DPC (2001).

CONCEITOS CENTRAIS



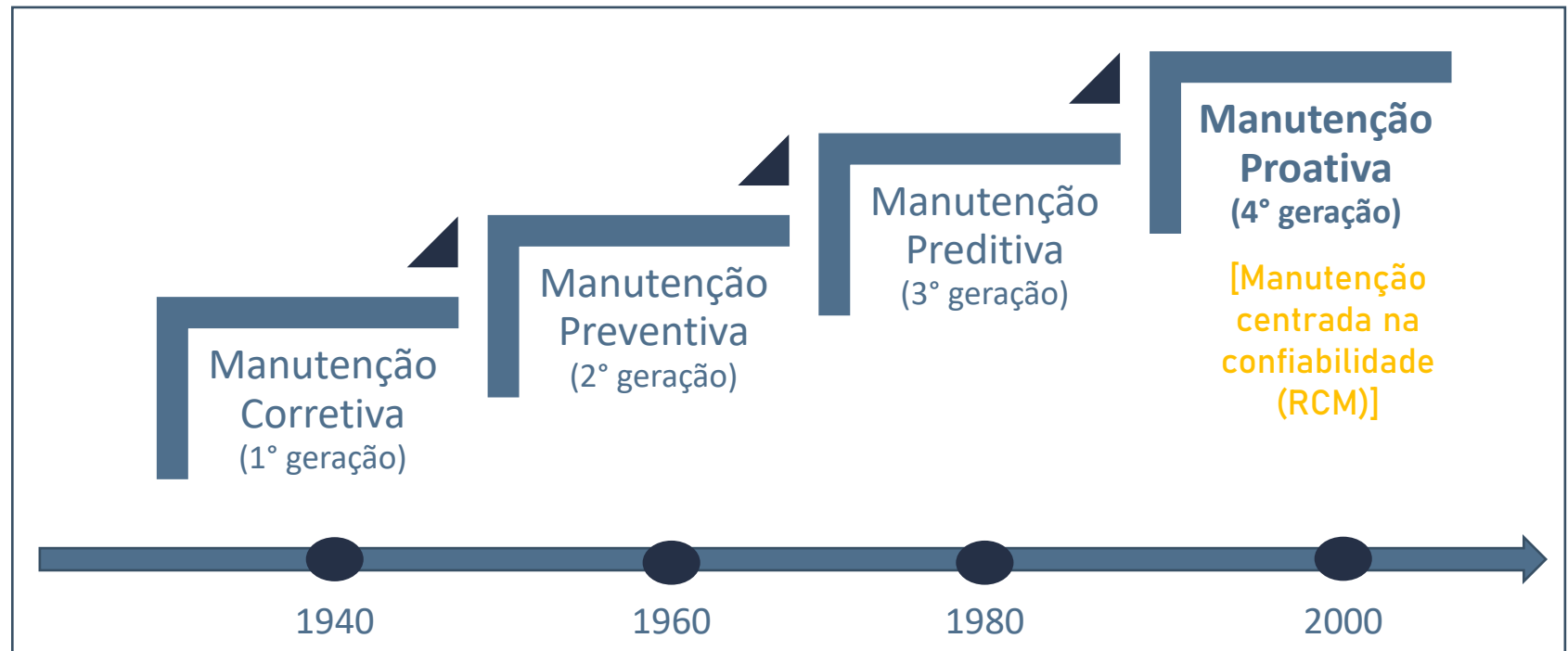
Gestão da Manutenção

A manutenção pode ser definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, com vistas à **restaurar** um item ou sistema ou a um **estado em que possa desempenhar sua função requerida** (BSI,1984; Dekker, 1996).

PRINCIPAIS OBJETIVOS
(Dekker, 1996):

- ✓ Garantir o funcionamento do sistema;
- ✓ Garantir a vida do sistema;
- ✓ Garantir a segurança;
- ✓ Garantir o bem-estar humano.

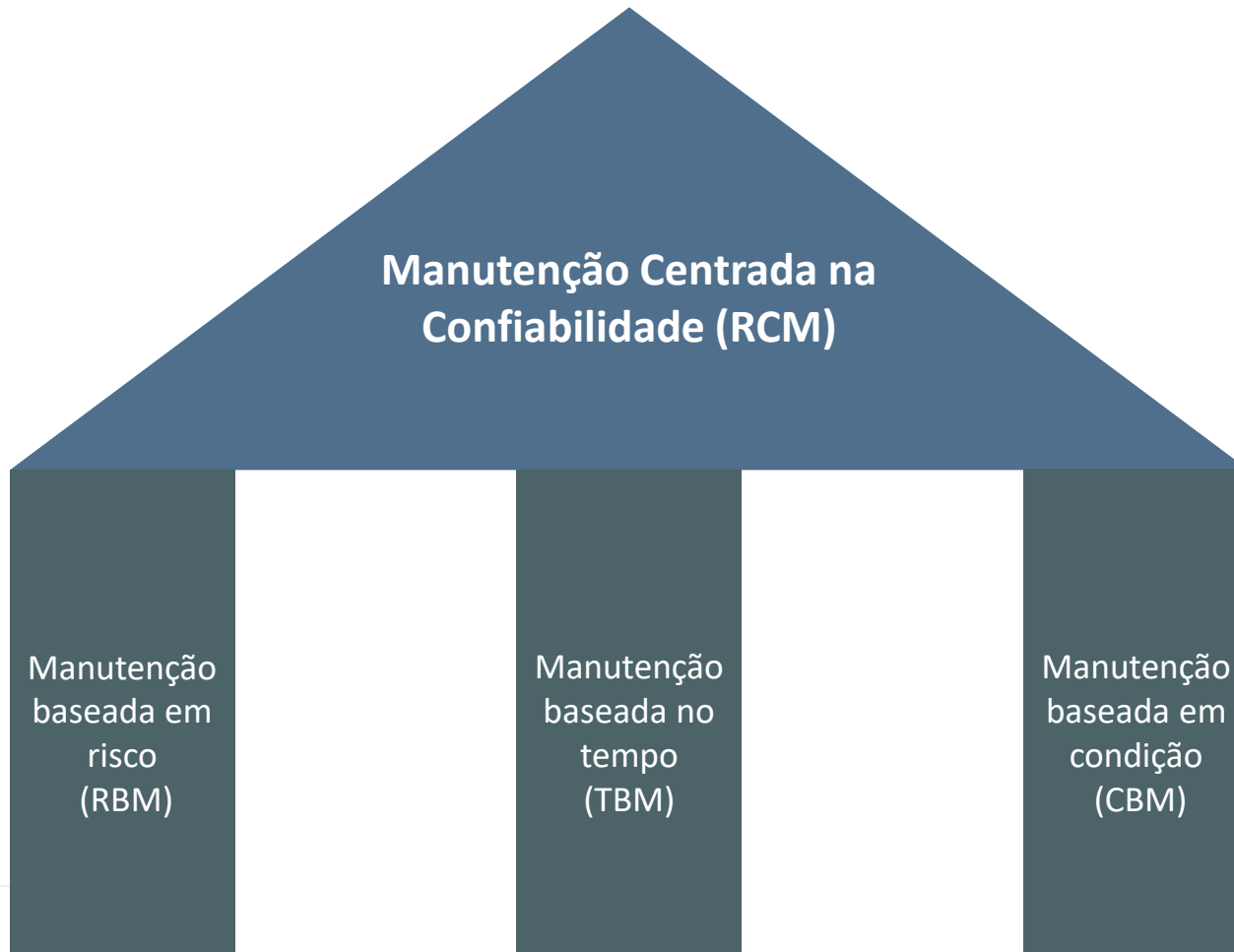
Em virtude da relevância da Indústria de Óleo e Gás e dos possíveis impactos que esta pode gerar, a gestão da Manutenção mostra-se como atividade extremamente relevante.



Fonte: Adaptado de Iqbal et al., 2013

Gestão da Manutenção

Os pilares da Manutenção Centrada na Confiabilidade



Fonte: Adaptado de Uchida et al. 2018

- A estratégia de manutenção centrada na confiabilidade (RCM) vem se destacando no setor, pois promove a prevenção sistemática de riscos de falha (RATNAYAKE, 2014).
- Essa abordagem também se destaca, uma vez que preconiza que a priorização dos componentes (ou unidades) deve ser feita com base nas falhas e suas respectivas consequências (IQBAL et al., 2017).

Gestão da Manutenção



Segundo (IQBAL et al., 2017) um modelo típico de RCM é composto pela **identificação de perigos, modelagem de causas e estimativa da probabilidade de efeitos e seus respectivos impactos**. Em termos aplicados, (GUPTA; MISHRA; SINGHVI, 2016) propõem que o RCM é aplicado a partir da observância de 5 passos:

- I. Seleção do sistema;
- II. Identificação dos itens significativos, considerando o paradigma funcional;
- III. Análise de modo e efeito de falha (**FMEA**) dos itens selecionados;
- IV. Análise de criticidade;
- V. Estruturação de decisões lógicas;
- VI. Seleção de estratégia de manutenção.



FMEA - Análise de Modos de Falha e seus Efeitos

- FMEA é uma técnica usada para identificar e eliminar falhas (conhecidas ou potenciais) para aumentar a **confiabilidade e segurança de sistemas complexos** e, portanto, fornece informações para **tomada de decisões de gestão de risco** (Liu et. al, 2013)
- Quando é usado para uma análise de criticidade, também é referido como modo de falha, efeitos e análise de criticidade (FMECA).
- FMEA (Sagnak et. al, 2020; Liu et. al, 2013):
 - ❑ Identificar os possíveis modos de falha do sistema;
 - ❑ Analisar os modos de falha de acordo com os fatores de risco: ocorrência (O), gravidade (S) e detecção (D).
 - ❑ Calcular o número de prioridade de risco (RPN) $RPN = S \times O \times D$
 - ❑ Estruturar o ranking dos sistemas analisados

FMEA - Análise de Modos de Falha e seus Efeitos

Limitações

Segundo Sagnak et. al (2020), o FMEA consiste em um método eficaz muito proeminente para a avaliação de riscos, no entanto, possui limitações relevantes, quais sejam:

1. Possibilidade de valores iguais de RPN para valores distintos de S, O e D.
2. Falta de precisão para avaliar os fatores de risco
3. Considera que as três dimensões analisadas possuem a mesma importância relativa

Ainda nessa seara, Liu et. al (2013) destacou que o cálculo do RPN, em virtude de sua natureza inerentemente simples, não se mostra representativo para endereçar questões relativas aos casos reais.

Portanto, com vistas a suplantar essas limitações, a literatura aponta inúmeras alternativas, como:

- ❑ Lógica fuzzy (Kabir; Sadiq; Tesfariam, 2016; Panenka et. al, 2020; Sasmal; Ramanjaneyulu; Lakshmanan, 2007)
- ❑ Lógica neutrosófica (Navarro; Yepes; Martí, 2020)

+

Modelos de apoio multicritério a decisão (MCDM), como:

- ❑ AHP (Navarro; Yepes; Martí, 2020; Kabir; Sadiq; Tesfariam, 2016; Sasmal; Ramanjaneyulu; Lakshmanan, 2007)
- ❑ Redes de crenças bayesianas (BBN) (Kabir; Sadiq; Tesfariam, 2016)

Abordagem Multicritério | AHP

Processo Hierárquico Analítico (AHP) é um modelo multicritério de apoio à decisão (MCDM) proposto por (Saaty, 1980). De maneira ampla, atesta-se que o modelo AHP endereça processos decisórios de natureza complexa, tendo em vista que é hábil para sintetizar quantos fatores forem necessários, estruturando-os em um escopo de decisão hierárquico (Russo; Camanho, 2015).

(SAATY, 2008) definiu seis macro atividades iterativas, que compõe o processo que designa o modelo AHP, quais sejam:

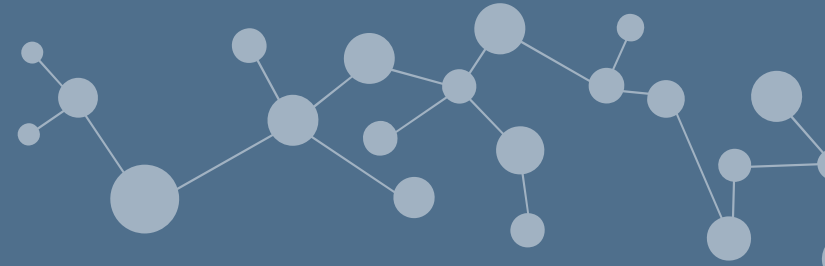
- (i) definir o problema e esclarecer o domínio do conhecimento;
- (ii) Desenhar a estrutura de decisão contemplando, na perspectiva *top down*, respectivamente, o objetivo, os critérios e o conjunto de alternativas disponíveis;
- (iii) Construir o conjunto de matrizes de comparação par a par (um nível e o imediatamente inferior), cujos valores designam pesos relativos;
- (iv) Realizar a ponderação dos níveis (critérios e subcritérios) para cada elemento, a partir dos valores de prioridade obtidos na atividade anterior;
- (v) Operacionalizar a síntese hierárquica pelo método da ponderação entre os autovetores e peso dos critérios e
- (vi) Determinar a consistência das matrizes de comparação, utilizando o método autovalor para calcular o índice de consistência IC.

Lógica Fuzzy

Considerando a problemática de que julgamentos de determinados fenômenos provenientes do cognitivo humano não são diretamente compreendidos em termos quantitativos, (ZADEH, 1965) inovou propondo que esses entendimentos poderiam ser facilitados considerando variáveis linguísticas, ou seja, provenientes de palavras ou frases em uma linguagem natural ou artificial, relacionando-as, com a aplicação de alguns processos, com valores numéricos.

Segundo (KLIR; YUAN, 1995), um controlador fuzzy geral, macroprocesso que denota sistemas especiais de especialistas, trata da aproximação do cognitivo humano, especializado em uma área do conhecimento e pode ser descrito em quatro módulos.

- ❑ Conjunto de regras fuzzy (medições das variáveis, linguísticas, que são representativas em relação ao processo avaliado);
- ❑ Processo de fuzzificação (conversão das variáveis em conjuntos fuzzy, para contemplar as incertezas);
- ❑ Avaliação das regras – motor de inferência fuzzy (as regras fuzzy são avaliadas, gerando um conjunto fuzzy, ou vários conjuntos fuzzy, possíveis)
- ❑ Processo de defuzzificação (conversão do conjunto fuzzy em um único valor, dito crisp).



LACUNAS



LACUNAS

Segundo Sagnak et. al (2020), o FMEA consiste em um método eficaz muito proeminente para a avaliação de riscos, no entanto, possui limitações relevantes, quais sejam:

1. Possibilidade de valores iguais de RPN para valores distintos de S, O e D.
2. Falta de precisão para avaliar os fatores de risco
3. Considera que as três dimensões analisadas possuem a mesma importância relativa.

>> Para superar essas limitações, elencam:

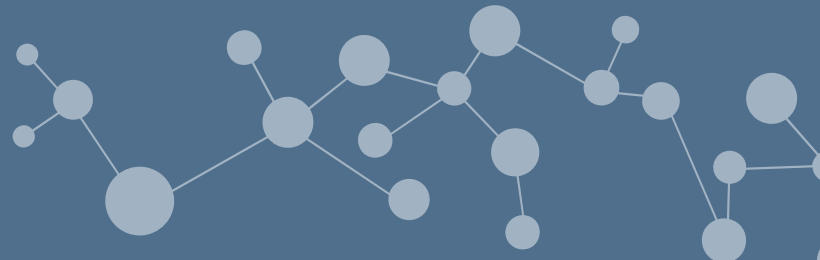
1. Utilização de lógica fuzzy
2. Utilização de modelos de apoio multicritério a decisão



Segundo Ni et. al (2022) há uma necessidade de estudos que abordem a questão da identificação de risco considerando uma abordagem multinível, ou seja, avaliando:

1. Sistema
2. Subsistema
3. Componente.

Piso
Antepara
Escadas
Guarda-corpo
Equipamento
Suportes
Teto
Estruturas
TVF



PROBLEMA DE PESQUISA, OBJETIVO E CONTRIBUIÇÕES

Objetivo da Dissertação



Propor uma metodologia sistemática que forneça uma classificação estruturada de sistemas, de modo a direcionar a atuação do gestor quanto à priorização ou não dos mesmos em contextos de manutenção, com base nas classificações de risco de seus respectivos componentes, com base na lógica RCM, para plataformas FPSO.



Escopo de análise:

➤ TOPSIDE >>

☐ Tubulações, Válvulas e Flanges (TVF)
[Componentes]

☐ Equipamentos [Componentes]

Disponibilidade de dados e heterogeneidade dos sistemas

Objetivo da Dissertação

RCM

Lógica Fuzzy

Abordagem Multicritério (AHP)

**Avaliação de criticidade
de TVFs e Equipamentos,
conforme seus
respectivos
componentes.**

CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS



Colocar à disposição de acadêmicos e praticantes uma metodologia integrada para avaliar a criticidade de sistemas-chaves por falha decorrentes da corrosão externa em plantas industriais, que possibilite:

- Diminuição de custos de manutenção;
- Mitigação de paradas operacionais inesperadas decorrentes de falhas;
- Aumento dos níveis de segurança relacionado às dimensões ambientais, sociais e econômicas.



METODOLOGIA DA PESQUISA

Etapas da metodologia

01

- Revisão da Literatura (Fundamentação Teórica e Gaps)

02

- Coleta e Validação de Dados

03

- Análise de Dados

06

- Estudo de Caso

Etapas da metodologia | Coleta de Dados

Levantamento teórico científico (Scoping Review) + Documentação técnica (Normas e Padrões aplicáveis ao setor)

Levantamento de dados com especialistas (Entrevistas com grupos focais)



Levantamento dos critérios a serem considerados na utilização da ferramenta FMEA

Etapas da metodologia | Coleta de Dados

Revisão de Escopo

Quais são os fatores de risco associados à corrosão empregados em rotinas de manutenção de ativos da Indústria de O&G?

Eixo 1: Metodologias de Manutenção				
key words				Referência
Maintenance Methodologies	Maintenance policies	Corretiva/ Reactive	immediate reactive maintenance	Khazraei and Deuse,2011; Iqba et al. 2017
			scheduled reactive maintenance	
			deferred reactive maintenance	
			failure-based maintenance	
			operate to failure	
		Predeterminative	age-based maintenance	
			block-based maintenance	
			constant interval maintenance	
			fixed time maintenance	
			inspection-based maintenance	
			life-based maintenance	
			planned preventive maintenance	
			time-based maintenance	
			use-based maintenance	
		Proactive	availability centered maintenance	
			business centered maintenance	
			design-out maintenance	
			risk-based maintenance	
	reliability-centered maintenance			
	total productive maintenance			
	Predictive	avoidance-based maintenance		
		condition-based maintenance		
		detective-based maintenance		
	Maintenance strategies	corrective maintenance		
		reactive maintenance		
		preventive maintenance		
		proactive maintenance		
		predictive maintenance		

Eixo 2: Criticidade de Ativos	
key words	
Palavras que denotam criticidade	reliability
	critical*
	risk

Eixo 3: Indústria	
key words	
Indústrias associadas	oil and gas
	petroleum
	energy
	offshore

Eixo 4: Corrosão	
key word	
corros*	

Etapas da metodologia | Coleta de Dados

QUERY	(TITLE-ABS-KEY ("corrective maintenance" OR "reactive maintenance" OR "preventive maintenance" OR "proactive maintenance" OR "predictive maintenance" OR "immediate reactive maintenance" OR "scheduled reactive maintenance" OR "deferred reactive maintenance" OR "failure-based maintenance" OR "operate to failure" OR "age-based maintenance" OR "block-based maintenance" OR "constant interval maintenance" OR "fixed time maintenance" OR "inspection-based maintenance" OR "life-based maintenance" OR "planned preventive maintenance" OR "time-based maintenance" OR "use-based maintenance" OR "availability centered maintenance" OR "business centered maintenance" OR "design-out maintenance" OR "risk-based maintenance" OR "reliability-centered maintenance" OR "total productive maintenance" OR "avoidance-based maintenance" OR "condition-based maintenance " OR "detective-based maintenance") AND TITLE-ABS-KEY ("reliability" OR "critical*" OR "risk") AND TITLE-ABS-KEY ("oil" OR "gas" OR "petroleum" OR "energy" OR "offshore") AND TITLE-ABS-KEY ("decision mak*" OR "decision-mak*") AND TITLE-ABS-KEY ("corros*"))
-------	---

Critérios de Inclusão e Exclusão da Pesquisa RQ2			
Tipo	Critério	Aplicação	Justificativa
Exclusão	Somente artigos em inglês	Idioma diferente de Inglês	Língua de maior concentração de produções acadêmicas
Inclusão	Somente estudos que abordem os fatores de risco associados à corrosão no contexto de rotinas de manutenção de ativos da Indústria de O&G	Aborda fatores de risco associados à corrosão no contexto de rotinas de manutenção de ativos da Indústria de O&G	Esse critério converge para as potenciais respostas da pergunta de pesquisa do estudo
Exclusão	Abordagem em fatores de risco que não estão associados à corrosão dos ativos	Não aborda os fatores de risco associados à corrosão dos ativos	Esse critério converge para as potenciais respostas da pergunta de pesquisa do estudo
Exclusão	Estudos cuja aplicação não é em relação à Indústria de O&G	Não aborda a O&G, indústria de nosso interesse	Esse critério converge para as potenciais respostas da pergunta de pesquisa do estudo, pois uma vez que o estudo não aborda a indústria de interesse

Etapas da metodologia | Coleta de Dados

Autores	Título	Tipo de Ativo	Fatores	Corrosão Interna	Corrosão Externa	Mecanismos de falha/ degradação	Metodologia de Manutenção
Mahmoodzadeh, Z; Wu, KY; Droguett, EL; Mosleh, A	Condition-Based Maintenance with Reinforcement Learning for Dry Gas Pipeline Subject to Internal Corrosion	Tubulações de Gás Natural (Gasodutos)	[Fatores Ambientais] Temperatura (Temp), pressão total (P), pressão parcial de CO2 (pCO2), pressão parcial de H2S (pH2S), velocidade de fluxo (V), valor de pH (pH) , concentração de íon cloreto (Cl-), concentração de íon sulfato (SO4 2-) e a	x		Corrosão que causa ruptura ou vazamentos	Manutenção baseada em condição (CBM)
Animah, I; Shafiee, M	Condition assessment, remaining useful life prediction and life extension decision making for offshore oil and gas assets	(Sistema de Separação) Embarcação Bomba de tubulação Tanque de tratamento de água produzida Tanque de aumento Desidratador de gás Válvula de alívio de pressão Válvula de drenagem Outras válvulas Exportar linhas	Teor de cloreto, nível de pH, teor de água e contagem de ferro		x	Fadiga; Cobertura; Deformação; Corrosão [Fragilização hídrica (tipo específico, não é em relação à corrosão atmosférica- tanques), Corrosão por CO2 (Interna), Danos por H2S, Rachaduras de fadiga e 'soltura de objetos']. Com base nos mecanismos de dano reconhecidos, ficou evidente que as causas prováveis predominantes de falha foram atribuídas em grande parte à perda de metal devido à corrosão, bem como à fratura devido à propagação de trincas.	Manutenção baseada em condição (CBM) Previsão de vida útil remanescente
Li, XH; Zhu, HW; Chen, GM; Zhang, RR	Optimal maintenance strategy for corroded subsea pipelines	Plataformas: Tubulações (Dutos submarinos)	[Interna] H2S, CO2, fluxo de meio na tubulação, cera e água condensada. [Externa] Condições Ambientais (água do mar e lama do mar); Falha do revestimento anticorrosivo ou proteção catódica e bactérias redutoras de sulfato (SRB)	x	x	-	Manutenção Preventiva [Manutenção Baseada em risco;
Abbas, M; Shafiee, M	An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments	Plataformas: Estruturas	Temperatura e velocidade da água do mar, pressão, nível de pH, oxigênio dissolvido (OD), salinidade, poluentes e bactérias redutoras de sulfato (SRB).	-	-	Perdas de resistência, fratura frágil, redução de espessura, rachaduras	Principais estratégias de manutenção do setor marítimo: Manutenção Corretiva; Manutenção Preventiva; Manutenção baseada em Condição; Manutenção Centrada na Confiabilidade; Inspeção baseada em risco e estratégias contemporâneas (Banco de dados de confiabilidade (RDB), Gerenciamento de Sistemas de Ciclo de Vida Total (TLCSM) e CBM plus (CBM+).)
Cobanoglu, MM; Kermanshachi, S; Damjanovic, I	Statistical Modeling of Corrosion Failures in Natural Gas Transmission Pipelines	Tubulações de Gás Natural (Gasodutos)	[Interna] Característica do Líquido e Condições Operacionais [Externa] Condições Ambientais.	x	x	-	As redes de dutos foram divididas em dois modos principais: corrosão interna e externa. A corrosão interna refere-se à falha no interior da tubulação devido às características do líquido e às condições de operação, enquanto a corrosão externa refere-se à falha devido ao ambiente circundante fora da tubulação.
Ratnayake, RMC; Markeset, T	Maintaining Technical Integrity of Petroleum flowlines on Offshore Installations: A decision support System for Inspection Planning	Plataformas: Tubulações	Umectação com óleo/água; Teor de água; Nível de Cloreto; Nível de CO2; Umidade (Interna e Externa); H2S; [Stress]Valor de pH; [Stress] Condições ambientais; [Erosão]Velocidade do Fluxo; [Stress e Erosão]Temperatura; [Stress e Erosão] Material da linha de fluxo.			Risco de vazamentos e rupturas	

Etapas da metodologia | Coleta de Dados

Entrevistas

- Estruturação da entrevista – Entrevista semiestruturada
- Definição do meio de aplicação da entrevista – Online (Google forms)
- Seleção de especialistas com base da experiência

Perguntas relacionadas ao 'Perfil demográfico' do especialista e informações da unidade a qual faz parte.

Perguntas relacionadas à sua percepção de importância dos fatores influenciadores da Severidade (S).

Perguntas relacionadas à sua percepção de importância dos fatores influenciadores da Ocorrência (O).

Perguntas relacionadas à sua percepção de importância dos fatores influenciadores da Detecção (D).

Questões abertas para :

1. Avaliar sua concordância com os fatores
2. Recomendação de adição de fatores
3. Recomendação de exclusão de fatores



PRÓXIMOS PASSOS

Etapas da metodologia | Coleta de Dados



- Finalizar a coleta de dados (OUT)
- Realizar as entrevistas (NOV)
- Conduzir a análise dos dados com o auxílio do software R e o Microsoft Excel (NOV)
- Estruturar o estudo de Caso (DEZ)
 1. Definir unidade de análise;
 2. Aplicar a metodologia proposta
 3. Analisar os resultados

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 42 | 09 2022

Avaliação de criticidade de ativos *Offshore*: Uma metodologia multidisciplinar

Autor:

Bruna Cristina Siqueira Kaiser

Orientador: Prof. Rodrigo Caiado e Prof. Luiz Felipe Scavarda

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Leonardo Bastos

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos