



MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS APLICADO NO TRATAMENTO DE CORROSIVIDADE SEVERA EM UM OLEODUTO SUBMARINO

Alex Vidal do Espirito Santo
alex.vidal.engprod@gmail.com
Instituto Federal Fluminense – IFF,
Campos dos Goytacazes, Rio de
Janeiro, Brasil.

**Alline Sardinha Cordeiro
Morais**
allinescmorais@yahoo.com.br
Instituto Federal Fluminense – IFF,
Campos dos Goytacazes, Rio de
Janeiro, Brasil.

Fernanda Barcelos Alves Paes
fbapaes@gmail.com
Instituto Federal Fluminense – IFF,
Campos dos Goytacazes, Rio de
Janeiro, Brasil.

RESUMO

A dinâmica envolvida no processo de extração de petróleo em ambiente *offshore* envolve malhas de dutos interligando poços a plataformas e estas a navios aliviadores, permitindo o escoamento produtivo realizado. Como ofensor nesse ambiente marinho, a salinidade característica da água é fonte de corrosão nos dutos que compõem a cadeia de produção submarina. O presente trabalho buscou, por meio da utilização da Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) tratar o caso específico de um oleoduto submarino que apresenta corrosividade severa que poderia causar sérios danos ambientais, além de todo impacto à imagem da organização responsável pela extração de petróleo. A partir dessa sistemática, objetivou-se identificar as causas responsáveis para ocorrência não desejada, elaborar e executar um plano de ação que evite recorrência, com posterior verificação da eficácia e padronização. Os resultados obtidos atenderam aos objetivos propostos, sendo possível determinar que o fator gerador do evento indesejado fora a dosagem inadequada de desemulsificante no tratamento do petróleo produzido e com a padronização de parâmetros operacionais da planta de processo. Houve êxito na eliminação do problema com a perenização do conhecimento obtido para manutenção da operação da plataforma dentro dos quesitos considerados seguros em relação ao meio ambiente, pessoas e patrimônio.

Palavras-chave: Oleoduto; Corrosão, MASP.



1. INTRODUÇÃO

Uma meta comum à maioria das empresas é melhorar seus processos e reduzir desperdícios, tendo como objetivo aumentar a lucratividade por meio da satisfação dos clientes. Diante deste cenário mundial, a indústria petrolífera reforça a urgência por inovações visando a otimização de seus processos internos e forte enfoque na segurança operacional, conforme preconiza a Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2006). Nesse sentido, tal fenômeno vem incentivando as organizações a aperfeiçoar seus processos produtivos para se manter no mercado.

No Brasil, essa produção *off-shore* ainda tem nos campos maduros da Bacia de Campos sua principal base de conhecimentos, que permitiram a migração para os campos do pré-sal em crescimento na Bacia de Santos. Mas como reduzir os desperdícios, aumentar a lucratividade e ainda atender os clientes de forma satisfatória? Uma das saídas pode ser eliminar problemas.

Nesse sentido, com a finalidade de auxiliar as empresas nessa difícil tarefa, o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas), com base no ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) se apresenta como uma metodologia eficaz no alcance dos objetivos das organizações. Este usa da priorização dos problemas a fim de resolvê-los de forma definitiva. Segundo Campos (2014), o domínio deste método é o que há de mais importante na teoria do Controle da Qualidade Total (TQC). Para isso ele utiliza oito etapas, além das ferramentas da qualidade, para sua implantação, divididas de acordo com seguinte ordem: Identificação do problema, Observação, Análise, Plano de ação, Ação, Verificação, Padronização e Conclusão.

Desse modo, utilizando o Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP) como ferramenta de estudo, a partir do desenvolvimento da etapa *Plan* do ciclo PDCA, o presente trabalho buscou detalhar um caso específico vivenciado por uma plataforma de produção semissubmersível, SS, em operação no país, que possui seu oleoduto, responsável por permitir o escoamento de todo volume de seu petróleo produzido para outra plataforma do tipo Navio de Produção, Estocagem e Transferência (*Floating, Production, Storage and Offloading – FPSO*), apresentando taxa de corrosividade severa.

Buscou-se, com esse estudo, a identificação das causas básicas responsáveis pela crescente taxa de corrosividade e posterior definição das ações necessárias para bloquear essa causa. Por fim, devem-se padronizar ações para garantir que as causas geradoras ou contribuintes para ocorrência do problema não voltem a acontecer no futuro. A metodologia existente no MASP pode e deve ser utilizada para tratar problemas de diversas naturezas. Desde que se possa estru-

turar a análise de acordo com os dados disponíveis para o estudo.

Dentre os fatores que justificavam a importância do estudo proposto podem ser citados: Altíssimo custo envolvido na parada de produção da unidade de origem do oleoduto; Risco ambiental que esse duto representa quando não estiver atendendo aos requisitos mínimos de segurança operacional; Risco de impacto negativo à imagem da organização produtora na eventualidade de vazamento proveniente deste duto; Exemplos vivenciados no mundo envolvendo empresas produtoras de petróleo que geraram danos ambientais, patrimoniais e financeiros incalculáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Método de Análise e Solução de Problemas (MASP)

A metodologia de análise e solução de problemas visa tratar problemas que não são tão estruturados, como a determinação de uma produção ótima para balancear a linha produtiva, mas que representam a grande maioria dos problemas de uma empresa. Como, por exemplo, a falha na fabricação de um produto ou ocorrência de entregas feitas em endereços errados (Toledo, 2010).

A aplicação do MASP em um estudo de caso realizado em uma indústria de papel mostrou-se eficaz, reduzindo as perdas a partir de ações simples, sem onerar custos para organização com alteração de forma de trabalho, apenas com a conscientização dos funcionários, demonstrando a necessidade de se eliminar perdas no processo (Tzaskos et Gallardo, 2016).

Segundo Bastos Júnior (2016), o MASP é um método eficiente para se atingir melhorias, envolver os funcionários e aperfeiçoar a tomada de decisões a respeito da qualidade em seus produtos e processos. Tendo em vista que a solução de problemas é alcançada por meio das análises do relacionamento entre características e causas de um evento indesejado, efetuando ações corretivas apropriadas.

A sobrevivência das empresas no mercado está condicionada à capacidade de oferecer produtos e serviços de qualidade a um preço que o consumidor esteja disposto a pagar. Neste cenário, o MASP permite que as organizações implementem a melhoria contínua dos seus processos visando a qualidade e redução de custos (Cury et Andion, 2016).

De acordo com Campos (2014): “Um problema é o resultado indesejável de um processo”. Diante dessa definição, a estrutura do MASP é composta de oito passos conforme Figura 1.



Figura 1. Ciclo PDCA de melhorias ou MASP em oito passos.

Fonte: Campos, 2014.

Essas fases que compõem o MASP podem ser resumidas, conforme a Figura 2, em forma de fluxograma, no qual Carpinetti (2012) relaciona as descrições das fases e seus objetivos de forma resumida. Observa-se que na fase de verificação o fluxograma passa por uma decisão, que avalia se o bloqueio às causas do problema foi efetivo. E em caso negativo o processo retoma ao passo de observação do problema.

2.2. Ferramentas da qualidade utilizadas no MASP

O MASP apresenta oito etapas e de acordo com cada uma delas são utilizadas diferentes ferramentas para atingir os

objetivos de cada fase. A Tabela 1 relaciona as ferramentas da qualidade e suas aplicações nas fases do PDCA e MASP. Observa-se que algumas ferramentas são utilizadas em mais de uma fase do ciclo, como o caso do Brainstorming (Carpinetti, 2012).

Carpinetti (2012) define que algumas dessas ferramentas são classificadas como “As sete ferramentas da qualidade”, são elas: Estratificação; Folha de verificação; Diagrama de Pareto; Diagrama de causa e efeito; Histograma; Diagrama de dispersão; Gráfico de controle.

Outras, como “As sete ferramentas gerenciais”: Diagrama de relações; Diagrama de afinidades; Diagrama em árvore; Matriz de priorização; Matriz de relações; Diagrama de processo decisório (*Process Decision Program Chart*); Diagrama de atividades (diagrama das flechas). E além dessas, há algumas muito difundidas, que são: 5S; Mapeamento de processos e 5W1H.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição do processo

O processo estudado envolveu a análise de um oleoduto submarino interligando duas unidades de produção de petróleo. Esse duto passava por análises frequentes que visavam aferir aspectos relativos à sua integridade mecâ-

PDCA	Fluxograma	FASE	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	?	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Figura 2. Método de Solução de Problemas – “QC Story”.

Fonte: Carpinetti, 2012.



Tabela 1. Principais finalidades das ferramentas da qualidade.

PDCA	MASP	Finalidade	Ferramenta
P	Identificação; Observação	Identificação e priorização de problemas	Amostragem e estratificação
			Folha de verificação
			Histograma, medidas de locação e variância
			Gráfico de Pareto
			Gráfico de tendência, gráfico de controle
			Mapeamento de processo
			Brainstorming
			Matriz de priorização
			Estratificação
			Diagrama espinha de peixe
			Diagrama de afinidades
			Diagrama de relações
			Relatório das três gerações (passado, presente, futuro)
D	Plano de ação; Ação	Elaboração e implementação de soluções	Diagrama em árvore
			Diagrama de processo decisório
			5W1H /
C A	Verificação; Padronização; Conclusão	Verificação de resultados	Amostragem e estratificação
			Folha de verificação
			Histograma, medidas de locação e variância
			Gráfico de Pareto
			Gráfico de tendência, gráfico de controle

Fonte: Carpinetti, 2012

nica e estrutural. Dentro desses ensaios, foram detectados desvios que geraram necessidade de ações para se corrigir o problema antes de se chegar a um ponto que inviabilizasse o negócio, que é a produção de petróleo seguindo os padrões da indústria petrolífera, no que tange à segurança de processos.

Diante desse cenário, foram elencadas as etapas necessárias para tratar o problema à luz da Metodologia de Análise e Solução de Problemas, conforme descrito a seguir.

3.2. Etapas da pesquisa

Dadas as características do problema que foi analisado, grande parte das atividades que fizeram parte do estudo precisaram acontecer *"in loco"*, na plataforma de onde se origina o oleoduto e na que se finda o mesmo, com complemento em laboratórios em ambiente *onshore*.

Dessa forma, visando atingir os objetivos delimitados para este artigo, estimou-se que este deveria seguir os seguintes passos básicos, conforme segue:

- Efetuar levantamento do histórico do oleoduto, incluindo tempo de operação, características construtivas, manutenções e condições de operação, como temperatura, pressão e fluido escoado;

- Efetuar coleta do petróleo produzido que é escoado através do duto e realizar análises laboratoriais que possam indicar possíveis agentes geradores da corrosão, como CO₂, oxigênio, além de caracterizar viscosidade, salinidade, teor de areia e *basic and sediments in water*, BSW, que é o percentual de água produzida em conjunto com o óleo;
- Efetuar levantamento das variáveis de processo que atuam no tratamento do petróleo produzido na plataforma, como pressão, temperatura e vazão de separação, buscando identificar comportamentos em desacordo com o projeto original que possam contribuir para corrosividade;
- Analisar os produtos químicos utilizados no processamento do petróleo, a fim de identificar possíveis agentes contribuintes para o problema;
- Avaliar as bombas de exportação, buscando identificar limitações que possam contribuir para o agente indesejado.

E, a partir dessas análises realizadas, definir os próximos passos a partir das causas prováveis identificadas; testar as hipóteses levantadas como prováveis causadoras do evento estudado; ao confirmar a identificação da causa, elaborar padrões para que essa seja eliminada ou mitigada de modo a permitir a operação do oleoduto em níveis aceitáveis de



corrosividade; e, por fim, implementar as ações propostas e verificar a eficácia para conclusão do trabalho.

4. ESTUDO DE CASO

O trabalho proposto aconteceu em uma plataforma do tipo semissubmersível, SS, de uma organização produtora de petróleo, localizada na Bacia de Campos. A unidade possuía capacidade de produção diária de 100.000 barris de petróleo e 3.200.000 metros cúbicos de gás. Por ser uma plataforma que não possuía separação água/óleo e por não dispor de tanques de armazenagem, toda sua produção era escoada via oleoduto submarino para uma plataforma do tipo FPSO.

À época do estudo, a SS possuía uma produção da ordem de 50.000 barris de petróleo e 2.000.000 de metros cúbicos de gás. Essa aparente ociosidade da capacidade produtiva se deve ao fato de existir, associado ao óleo coletado, um volume de água proveniente da formação, que compete com o óleo no limite de escoamento disponível nos dutos. Durante a realização do estudo, esse volume de água era da ordem de 60%.

Essas características específicas da plataforma foram analisadas, de modo a identificar as possíveis causas que estavam gerando a taxa de corrosividade severa no oleoduto de exportação, que foi a razão de ser deste trabalho. A Figura 3, a seguir, traz o gráfico do monitoramento desta variável controlada e denota a criticidade que este fato gerava para organização.

Para correta identificação de causas e relações entre elas, foi necessária a participação de uma equipe multidisciplinar, dada a quantidade de temas envolvidos na investigação para tratamento do problema. Esperava-se, com uso de algumas das ferramentas da qualidade, em especial seguindo a metodologia preconizada no MASP, atingir os objetivos gerais e específicos do estudo em curso. Conforme descrito na metodologia, foram seguidos os passos definidos anteriormente (vide seção 3.2), em concordância com as fases que compõem a Metodologia de Análise e Solução de Problemas, que serão apresentadas a seguir.

4.1. Identificação do problema

A fase de identificação do problema foi caracterizada por reuniões, que visavam permitir a integração de diversos atores da empresa envolvidos com o problema e o levantamento do maior número de informações possíveis para que o fato indesejado fosse claramente definido. Dessa forma, foram realizadas sessões de *brainstorming*, que, dadas as diversas proposições levantadas, não serão descritas com detalhes no trabalho.

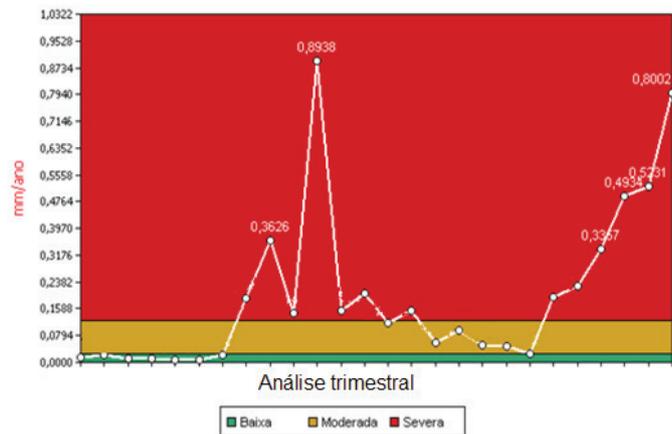


Figura 3. Taxa de corrosividade do oleoduto em mm/ano.

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Outras ferramentas da qualidade utilizadas neste passo foram a estratificação e a folha de verificação, que permitiram chegar às informações contidas na Tabela 2, referentes às características do oleoduto para garantia do êxito na fase de identificação do problema.

O oleoduto em análise possuía as características construtivas citadas na Tabela 2 e era seguida uma rotina de passagem de *pig* (um dispositivo cilíndrico ou esférico concebido e utilizado com a finalidade de limpar o interior de dutos) semanalmente entre as plataformas de origem e destino. Percebe-se que seu comprimento superava os 9 quilômetros.

Tabela 2. Características construtivas do oleoduto

Trecho	Comprimento	Diâmetro	Característica
A	826 metros	14,5"	Flow line
B	6616 metros	16"	Riser
C	2530 metros	16"	Riser
D	689 metros	14,5"	Flow line

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016

Além disso, possuía temperatura e pressão de projeto compatíveis com as praticadas durante a operação do duto, conforme levantamento realizado com os dados históricos. Não apresentando, portanto, indício que possa ter ocorrido condições de trabalho inadequadas que estivessem gerando fadiga no mesmo.

O Quadro 1 apresenta a sequência de questionamentos que foram realizados nesta fase de desenvolvimento do MASP, conforme foi descrito na revisão de literatura. A partir dessas afirmações obtidas foi possível dar prosseguimento ao estudo e chegar à etapa seguinte, que será detalhada no próximo tópico.



PROBLEMA: CORROSIVIDADE SEVERA NO OLEODUTO.	
Perguntas	Respostas
A meta está bem definida?	Sim, é baseada em literatura específica do ramo de controle de corrosão e existem padrões internos da empresa que definem esses parâmetros.
Existem dados que subsidiem o estudo dos benefícios para empresa com a solução do problema?	Sim, as políticas da empresa de Gestão de Segurança e Meio Ambiente estão em total acordo com a necessidade de solução do problema.
Os dados são confiáveis?	Sim, pois além dos dados de medição de cupom de corrosão, realizadas trimestralmente, são coletados dados de sonda elétrica que comprovam a alta taxa de corrosividade.
Vale à pena investir no alcance da meta?	Sim, pois é um parâmetro que demonstra segurança para operação dos dutos.
O problema está focado?	Sim. Taxa de corrosividade acentuada no oleoduto que interliga a SS e o FPSO em estudo.
RESULTADO: INICIAR OBSERVAÇÃO DO PROBLEMA.	

Quadro 1. Passos utilizados na identificação do problema

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016

4.2. Observação do problema

Este período foi marcado pelo início do aprofundamento dos estudos para conhecimento do problema. Dadas as especificidades do ambiente *offshore*, foi necessário realizar coleta de dados a bordo das duas plataformas envolvidas no projeto, bem como realizar ensaios em laboratório para caracterização do fluido escoado neste oleoduto. Essas informações foram relevantes para dar prosseguimento às análises, permitindo que se evoluísse para a fase seguinte, solução do problema.

O problema que se propunha tratar era a corrosividade do oleoduto entre as plataformas SS e FPSO, conforme já delineado no objeto de estudo. Essa taxa considerada severa foi conhecida a partir da aquisição de dados de cupons de perda de massa, comumente chamados de cupons de corrosão. Existia padronização na empresa em relação à essa coleta e análise de dados desses componentes que permitiram concluir que o oleoduto em questão estava em um estado vulnerável, que poderia gerar um rompimento do mesmo, o que provocaria um sério dano ambiental e financeiro, além dos impactos à imagem da empresa.

Como pode-se observar na Figura 3, a taxa de corrosividade apresentava crescimento, atingindo patamar considerado

severo. No primeiro pico houve uma deficiência no processo de monitoração e aquela medição pode ser considerada falsa e não fez parte da análise proposta. A coleta desses dados ocorria trimestralmente. Periodicamente, em acréscimo a essa medição, eram coletados dados de uma sonda elétrica que também media a corrosividade no oleoduto. Essa sonda confirmou os dados dos cupons de corrosão, indicando corrosividade severa.

Como ferramentas da qualidade nesta etapa do processo, também foram utilizadas a estratificação e sessões de *brainstorming* para início do levantamento de prováveis causas para o problema. Foi elaborado um novo fluxograma, que foi simplificado na forma do Quadro 2, para permitir seguir para a fase de análise do problema.

APÓS FASE DE IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	
Perguntas	Respostas
É possível observar o problema sob vários ângulos?	Sim, a taxa de corrosividade foi identificada a partir de medição de cupons de perda de massa e confirmada por meio de sondas elétricas de monitoração de corrosividade. Seus efeitos puderam ser percebidos a partir de outras variáveis de processo.
Os dados representam a situação e são exatos?	Sim, idem resposta anterior.
Dividir o problema em problemas mais simples.	
Priorizar os problemas a serem solucionados	
Definir metas específicas e não delegáveis.	
RESULTADO: INICIAR ANÁLISE DO PROBLEMA	

Quadro 2. Passos utilizados na observação do problema.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016

A partir do Quadro 2, pode-se definir que os problemas mais simples que podem ser elencados a partir da taxa de corrosividade foram relacionados a duas possíveis causas levantadas nas discussões de *brainstorming*. São elas: a contribuição de algum poço para geração de um processo corrosivo para o oleoduto ou as características de processo que estão gerando água livre no duto. Dessa forma, essas duas possibilidades foram tratadas conforme será detalhado a seguir na etapa de análise do problema.

4.3. Análise do problema

Nessa fase da análise é necessário conhecer o processo e identificar as respectivas causas relacionadas, para que as propostas sejam as mais próximas possíveis da causa raiz do objeto em estudo. A partir dessa etapa, as hipóteses elencadas deverão ser testadas com o intuito de descartar as reprovadas e se aprofundar nas que permanecerem válidas.



Tabela 3. Folha de verificação: Composição do *blend*.

POÇO	VAZÃO DE ÓLEO (m ³ /d)	BSW (%)	VAZÃO DE LÍQUIDO (m ³ /d)	VAZÃO DE ÁGUA (m ³ /d)	% DO TOTAL DE LÍQUIDO
1	305	69,3	993	688	5,73
2	65	84,0	406	341	2,34
3	265	47,7	507	242	2,92
4	290	60,0	725	435	4,18
5	370	68,0	1156	786	6,67
6	275	78,4	1273	998	7,34
7	470	70,3	1582	1112	9,13
8	530	72,0	1893	1363	10,92
9	1090	3,5	1130	40	6,51
10	490	72,0	1750	1260	10,09
11	245	79,2	1178	933	6,79
12	290	38,0	468	178	2,70
TOTAL SATÉLITES	4685	64,1	13061	8376	75,33
13	80	89,0	727	647	4,19
14	230	49,0	451	221	2,60
15	165	85,7	1154	989	6,65
16	80	1,3	81	1	0,47
TOTAL MSP-1	555	77,0	2413	1858	13,92
17	620	40,0	1033	413	5,96
18	485	41,6	830	345	4,79
TOTAL MSP-2	1105	40,7	1864	759	10,75
TOTAL GERAL	6345	63,4	17338	10993	100,00

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Foram efetuadas coletas do petróleo dos poços produtores na plataforma SS e foi gerada a Tabela 3, que traz a composição do *blend* (mistura de petróleo de diferentes poços) gerado por todos os poços satélites e *manifolds* submarinos de produção, MSP. Descartou-se a possibilidade de algum poço individualmente ou os poços de algum reservatório estarem contribuindo para geração dessa corrosividade, pois os ensaios laboratoriais permitiram verificar que não houve diferença significativa entre as emulsões dos poços e do *blend*, bem como não houve alteração considerável desses poços nos períodos onde a corrosividade era leve para o tempo em que estava severa. Dessa forma, esta hipótese foi considerada menos provável.

A partir do aprofundamento da hipótese de alguma característica de processo estar contribuindo para geração do evento indesejado no oleoduto, foi elaborada uma árvore de falhas descrita na Figura 4.

Diante desta árvore de falhas, apresentada pela Figura 4, dois caminhos foram delineados para serem detalhados em busca da causa raiz: a deficiência de projeto das bombas de injeção de desemulsificante e a dificuldade de processo no escoamento do petróleo produzido.

A hipótese de que a bomba dosadora de desemulsificante não era capaz de operar com vazões menores que as praticadas usualmente não foi comprovada, pois, ao se realizar teste em campo, foi possível operar com vazões inferiores. A comprovação desmitificou essa hipótese, que, até então, era uma das prováveis apontadas pelo pessoal de campo que operava a planta de processo.

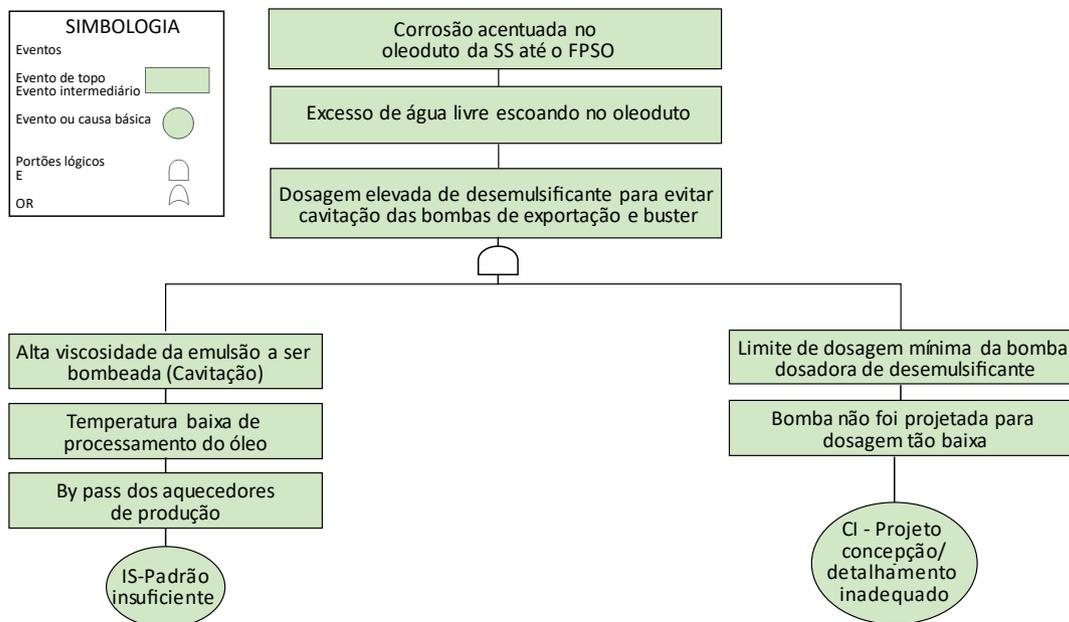


Figura 4. Árvore de falhas das hipóteses identificadas.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

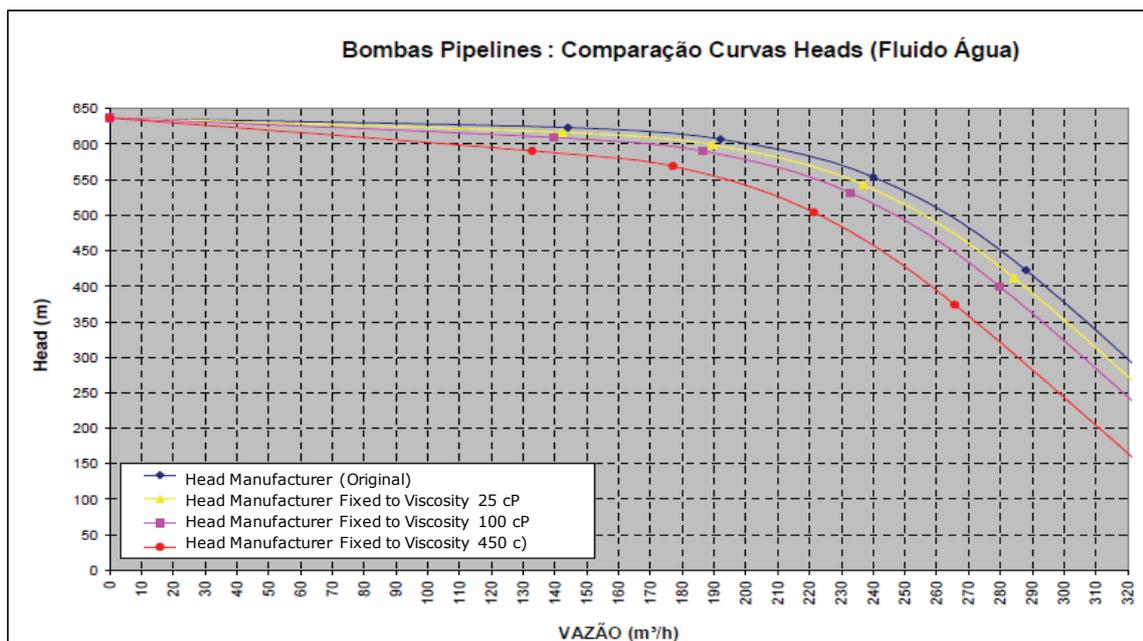


Figura 5. Curva dos heads das bombas de exportação

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Dessa forma, restou aprofundar os estudos na outra linha de raciocínio que apontava para geração de água livre em decorrência da injeção de desemulsificante, que, por conseguinte, se devia a uma dificuldade de escoamento que gera cavitação das bombas de exportação.

Por isso foi feito um levantamento sobre o head (capacidade de escoamento), das bombas de exportação, visando compará-lo com o projeto dessas bombas (Figura 5). E, assim, confrontar esses dados para se tirar conclusões.

Adicionalmente, foi efetuada caracterização do fluido escoado no oleoduto, o blend gerado pelos poços. Essas características encontram-se nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 que serão explicadas a seguir em conjunto com o gráfico da Figura 5.

Tabela 4. Caracterização do blend.

Ensaio	Blend	(saída)	(entrada)
Água emulsionada no petróleo (%p/p)	59,2	0,74	0,2
Massa específica (g/cm ³)	0,995	0,8826	0,8842
°API	10,2	28,1	27,8
Presença de água livre na bombona	Não	Sim	Sim

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Tabela 5. Reologia do blend preparado em laboratório.
(Teor de água final de 59,2% p/p).

Temp. (°C)	Viscosidade (mPa.s)				
	20 s-1	50 s-1	80 s-1	120 s-1	250 s-1
60,00	195,60	176,70	167,70	160,40	147,80
50,00	248,50	225,30	214,20	205,10	189,60
40,00	336,90	307,10	292,90	281,20	261,10
30,00	500,30	450,80	427,40	408,10	375,50
20,00	871,00	758,70	706,80	664,90	595,30
15,00	1442,70	1176,80	1060,00	968,60	822,70
12,00	1805,90	1454,60	1301,80	1183,00	994,80
8,00	2644,60	2037,50	1782,40	1588,10	1288,70
4,00	3666,30	2755,20	2379,60	2097,00	1668,10

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Tabela 6. Reologia do blend na saída da SS.
(Teor de água final de 0,74% p/p).

Temp. (°C)	Viscosidade (mPa.s)				
	20 s-1	50 s-1	80 s-1	120 s-1	250 s-1
60,00	8,20	8,00	7,90	7,80	7,60
50,00	13,70	13,50	13,30	13,20	13,00
40,00	20,90	20,50	20,40	20,20	19,90
30,00	32,30	31,90	31,70	31,60	31,30
20,00	57,80	57,00	56,60	56,20	55,60
15,00	117,20	113,40	111,50	109,90	107,10
12,00	186,70	174,00	167,80	162,70	153,80
8,00	366,10	306,60	280,00	258,80	224,50
4,00	600,40	473,80	419,60	377,90	312,60

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.



Tabela 7. Reologia do *blend* na chegada do FPSO.
 (Teor de água final de 0,20% p/p).

Temp. (°C)	Viscosidade (mPa.s)				
	20 s-1	50 s-1	80 s-1	120 s-1	250 s-1
60,00	9,20	8,80	8,50	8,30	8,00
50,00	13,50	12,80	12,50	12,30	11,80
40,00	19,60	18,90	18,50	18,20	17,70
30,00	30,40	29,90	29,70	29,50	29,10
20,00	55,30	54,70	54,40	54,10	53,70
15,00	120,00	114,80	112,30	110,10	106,30
12,00	196,40	180,10	172,30	165,80	154,70
8,00	383,50	316,70	287,10	263,80	226,30
4,00	625,60	486,50	427,60	382,60	312,80

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Foi gerado um *blend* em laboratório com o percentual de contribuição de cada poço, de acordo com a Tabela 3. Com esse *blend* em mãos foram realizados testes para aferir a viscosidade que essa emulsão gerava e chegou-se à conclusão que sem a injeção de desemulsificante, esse fluido possuía 450 cP, de acordo com a Tabela 5.

Outro fator relevante é apresentado na Tabela 4, onde constatou-se que a injeção de desemulsificante no *blend* da plataforma SS promovia a separação praticamente total da água emulsionada, com isso, o fluido na saída apresenta teor de água emulsionada inferior a 1%. Assim, as Tabelas 5, 6 e 7 demonstram que o desemulsificante injetado na SS promovia a redução da viscosidade de 450 cP para 30 cP.

A Figura 5 apresenta o gráfico dos *heads* das bombas *pipelines* para as viscosidades de 25 cP e 450 cP. Como pode ser percebido pela análise desta Figura, havia perda de 50 m de *head* na vazão de operação de 182 m³/h (vazão de operação na época do estudo), quando o fluido bombeado era o *blend* da SS, comprovando a necessidade da redução da viscosidade do fluido a ser escoado para o FPSO. Atendendo para a curva da saída (25 cP), na mesma vazão de operação, pode-se observar que estava mais próxima a do *head* do fabricante que o *blend in natura*.

Dessa forma, a próxima etapa era o teste de hipóteses, pois até aquele momento conseguia-se concluir que a corrosividade fora provocada pelo excesso de água livre no duto, que, por conseguinte, teve como causa a dosagem de desemulsificante, que é um produto químico necessário dada à emulsão de alta viscosidade gerada no *blend* e a capacidade de escoamento das bombas de exportação.

Mas uma pergunta que vem nesse momento é: por que esse problema não acontecia alguns meses antes? Em contato com os técnicos de operação da plataforma, coletamos informações de que a injeção de desemulsificante não

acontecia há anos, e que, com o incremento do BSW dos poços, a emulsão gerada pelo petróleo produzido começou a apresentar sérias dificuldades de escoamento, quando houve a ideia de injetar desemulsificante, que estava em desuso até então. Essa opinião foi levada em frente, o que gerou estabilização no escoamento, promoveu redução da viscosidade e eliminou a cavitação das bombas de exportação.

Porém, pelo analisado até aqui, este êxito no escoamento gerou efeitos colaterais para o oleoduto, que passou a apresentar taxa de corrosividade severa. Era preciso testar essa hipótese e avaliar se a conclusão necessária para conviver com esse problema seria obtida, pois o desemulsificante passara a ser um produto químico essencial, dada a dificuldade de escoamento que existia sem a sua atuação.

4.4. Plano de ação e Ação

Em função dos resultados obtidos, houve necessidade de ir a campo e buscar um ponto de equilíbrio que atendesse à limitação de escoamento proveniente da emulsão viscosa que era produzida no *blend* da plataforma SS e que gerasse a menor água livre possível, visando, assim, proteger o duto da corrosividade severa a que estava exposto.

Foi elaborada uma matriz 5W1H, que definiu os atores e suas participações no teste de hipóteses e busca de uma solução para o problema. Em função da confidencialidade dos dados da empresa, essa matriz será omitida, porém, em linhas gerais, a seguir serão esclarecidas as ações tomadas.

Partiu-se do ponto de injeção de desemulsificante em 20 ppm conforme a plataforma operava e temperatura de processo em 38°C. Com essa condição inicial, gerava-se praticamente 100% da água emulsionada na forma de água livre e as bombas não apresentavam dificuldade de escoamento.

Assim, gradativamente foi efetuado um aumento na temperatura de processo e redução da dosagem de desemulsificante. Cada ponto em que se chegava era mantido por pelo menos 6 horas de operação até que se passasse a um novo patamar. E em cada fase era efetuada coleta do *blend* produzido para medição de água livre no oleoduto.

Dessa forma chegou-se a um limite de temperatura de separação de 54°C e dosagem de desemulsificante de 4 ppm. Esse nível de otimização gerou um *blend* com 90% da água emulsionada. A partir desse ponto ótimo, foi efetuada coleta dos dados da sonda de resistividade elétrica que afere a taxa de corrosividade do duto. E a mesma durante o teste apresentou queda gradual, até que na obtenção do melhor ponto entre escoamento e água livre chegou-se a uma taxa considerada leve.

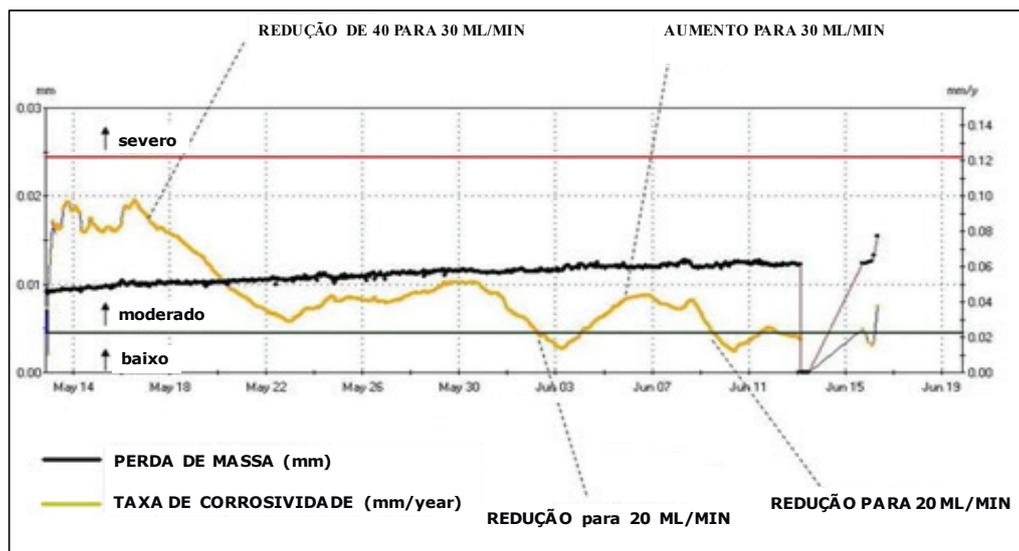


Figura 6. Redução da Taxa de corrosividade do oleoduto durante o teste.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Comprovando, assim, que a causa do problema era a dosagem de desemulsificante, que gerava quase que 100% de água livre e, contribuindo para essa necessidade de ppm injetado, a temperatura do processo estava abaixo da capacidade.

A Figura 6 traz o gráfico de controle dos dados da sonda elétrica de medição da corrosividade do oleoduto que comprovam que, antes da realização do teste de tentativa de redução da dosagem de desemulsificante, a taxa era próximo de severa e quando se atingiu um ponto ótimo de escoamento, temperatura de processo e geração de água livre, chegou-se a níveis considerados leves de corrosividade. Ou seja, comprovou-se a causa do problema e obteve-se um patamar de parâmetros do processo que permitiram eliminar o problema. Restando, nesse momento, partir para fase de padronização e conclusão do MASP.

O gráfico de controle da Figura 6 pode ser complementado pelo diagrama de dispersão da Figura 7, que comprova a relação direta entre a dosagem de desemulsificante e o percentual de água livre no duto, que gera incremento da taxa de corrosividade. Ou seja, a aumento da dosagem do produto químico promove o aumento da taxa indesejada no oleoduto.

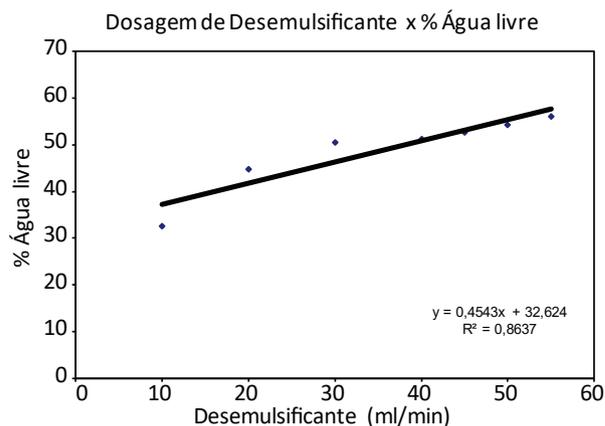


Figura 7. Gráfico de dispersão. Dosagem de desemulsificante x % de Água livre.

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

4.5. Verificação, Padronização e Conclusão

Nesta fase final, foram feitos registros das informações obtidas nas etapas anteriores, permitindo uma documentação rica, que permita embasar as definições que serão dadas como forma de padronizar as ações na empresa. A empresa em análise possui um acervo de Tecnologia da Informação que permite que um padrão seja cadastrado em um sistema específico e este fique acessível a todos os interessados e que estes sejam treinados neste procedimento, gerando evidências desses treinamentos.



Dessa forma, em virtude dos resultados alcançados, a padronização necessária para permitir a perenização das ações, para que o problema não volte a ocorrer, resumiu-se aos seguintes pontos de controle da planta de processo que foram inseridos no manual de operação da plataforma:

- Temperatura de separação: De 50°C a 55°C.
- Dosagem de desemulsificante: 4 ppm.
- Monitoração da água livre no oleoduto: Análise diária por meio de coleta do petróleo exportado, visando garantir o controle da eficácia das variáveis de processo para redução da corrosividade.
- Monitoração da corrosão: Criado ponto de medição da corrosividade on-line.

Com a implementação dessas ações propostas na forma de procedimento, houve constatação da manutenção da taxa de corrosividade dentro dos limites considerados leves. Confirmando, assim, que a metodologia de análise e solução de problemas mostrou-se eficiente, atingindo os objetivos propostos.

A organização, com essa padronização, pôde dedicar-se a outras decisões que se tornaram mais importantes, pois este problema estava sob controle a partir deste trabalho. O risco foi minimizado e as ações de bloqueio foram eficazes para manutenção da segurança operacional das plataformas envolvidas.

O trabalho realizado mostrou que a teoria e prática precisam estar sempre caminhando unidas, pois sem a intensificação da pesquisa no campo, seria muito superficial qualquer conclusão que fosse gerada. E, dessa forma, alguns trabalhos que serviram como arcabouço da revisão de literatura puderam ter suas conclusões comparadas para uma adequada discussão.

Assim, Lima (2010) conclui seu projeto acerca da utilização de *pigs* para manutenção da integridade de dutos citando que entre as possíveis causas para geração de taxas de corrosividade elevadas está a utilização de produtos químicos que possuem características ácidas como o biocida. Complementando essa conclusão, pode-se observar que o desemulsificante também é um potencial gerador de altas taxas de corrosividade nos oleodutos, haja vista a liberação de água livre que pode ocorrer e as características desse petróleo produzido, principalmente de seu BSW e viscosidade do *blend* formado.

Outro importante estudo que serviu de insumo para este trabalho foi o artigo de Mainier et Silva (2004), que tratou da formulação de inibidores de corrosão e suas interfaces com o meio ambiente. O mesmo trouxe em sua conclusão

a importância da consciência ambiental que deve nortear as empresas, no sentido de não projetarem produtos que vão de encontro às políticas social e ambientalmente responsáveis. Essa proposta é bastante aderente ao que se buscou desde o início deste projeto, identificar a causa raiz do problema e tratá-la adequadamente. Pois poderia ser muito cômodo para a gerência da empresa simplesmente adotar a ação de incrementar a sua planta de processo com a injeção de um novo produto químico, um inibidor de corrosão, sem ao menos buscar os motivos de estar acontecendo aquele processo químico.

E Toledo (2010) em seu tutorial, acerca dos passos para utilização da ferramenta MASP, deixa claro que o segredo para o êxito em sua implementação é seguir rigorosamente todas as etapas que compõem a metodologia, pois, uma vez que essa sequência se torne claramente entendida, teremos as atividades de melhoria dos processos consistentes do ponto de vista lógico e cumulativas ao longo do tempo. No presente trabalho foi possível chegar às mesmas conclusões, pois foi a disciplina na utilização do método que permitiu atingir os objetivos propostos no início do projeto. Ou seja, é preciso confiar na ferramenta para se obter os melhores resultados possíveis. E essa qualidade nos processos é algo que não chega ao fim. É um processo contínuo, conforme preconiza a gestão da qualidade total, devendo estar sempre rodando o PDCA.

5. CONCLUSÃO

Durante a execução do estudo, foi preciso muita persistência para permanecer no caminho de buscar a causa raiz do problema, pois muitas informações obtidas foram divergentes ou provadas no desenvolvimento do estudo que não tinham embasamento para serem tomadas como verdade. Os chamados mitos, que são gerados e que por um bom período são encarados como justificativas para certos fenômenos. Foi preciso obter explicações técnicas, provadas, para cada fase do processo, para chegar ao entendimento do problema e seguir as fases da ferramenta MASP.

Uma importante conclusão que deve ser salientada foi a necessidade de integração de uma equipe multidisciplinar para tratar o problema proposto. O sucesso deste estudo passa por essa coesão existente entre diferentes gerências, que possuem diferentes interesses neste processo, mas que se imbuíram de um mesmo objetivo: descobrir a causa que originou a taxa de corrosividade severa no oleoduto entre as plataformas SS e FPSO e tratar essa, para que não volte a ocorrer.

A corrosão é um fenômeno que possui uma série de fatores que contribuem para sua existência, tornando-se um problema complexo para ser tratado. É sabido que o ambiente *offshore* é agressivo e uma grande parcela das causas



de corrosão está associado a esse meio. Porém, no estudo realizado, o evento indesejado não ocorria no meio externo, mas no duto de transferência entre duas plataformas, ou seja, questões relativas ao processo de produção deveriam nortear as ações para solução a ser alcançada.

Um desafio que foi preciso vencer foi a realização de testes de campo, sendo preciso quebrar uma série de paradigmas da equipe de operação, que acreditava em certas premissas. Como por exemplo, a temperatura de processo, que operava com cerca de 38°C, com o *by-pass* dos permutadores que aquecem o petróleo, em mais de 50% de abertura. Ou seja, não se utilizava toda carga térmica disponível para aquecer o petróleo. Porém, com a realização dos testes, foi possível provar que esse procedimento estava inadequado.

E como ponto de atenção cabe salientar a importância que se deve dar aos estudos de engenharia de processamento, entre eles a engenharia de elevação e escoamento, da manutenção de instalações de superfície e da engenharia de petróleo como um todo, para garantia das condições de operabilidade dentro dos requisitos normativos tanto internos à empresa quanto dos órgãos reguladores. São estas disciplinas intrinsecamente relacionadas, uma interfere na outra e uma colabora com a outra. Ou seja, o ambiente integrado para essas disciplinas é um modelo de gestão de processos que tem muito a oferecer para o desenvolvimento das potencialidades que a indústria petrolífera almeja.

Em linhas gerais, o trabalho atingiu os objetivos propostos, sendo os resultados obtidos de grande relevância para o processo de transporte de petróleo através dos oleodutos, visto que a empresa conseguiu manter o processo tratado sob controle e foram criados meios para perenização destas ações. Ou seja, o PDCA foi girado em todas suas fases, como preconizado pelo MASP.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2007), Resolução ANP nº 43, de 6 de dezembro de 2007, Regime de Segurança Operacional para as instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural e Regulamento Técnico de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), Brasília, DF.
- Bastos Júnior, L. C. S. (2016), “Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) apoiado no ciclo PDCA: um estudo bibliográfico”, Revista Brasileira de Administração Científica, Vol. 7, No. 1, pp. 6-13. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-684X.2016.001.0001>
- Campos, V. F. (2014), Controle da Qualidade Total (no estilo japonês), 9. ed., Falconi, Nova Lima.
- Carpinetti, L. C. R. (2012), Gestão da Qualidade: Conceitos e técnicas, 2. ed., Atlas, São Paulo.
- Cury, P. H. A.; Andion, J. A. (2016), “Aplicação da MASP para redução de defeitos e melhora no rendimento de um processo de fabricação de lentes orgânicas”, XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa/PB.
- Lima, A. C. P. (2010), Importância do uso e utilização de pigs para garantia da integridade de dutos rígidos, Monografia em Engenharia de Produção com ênfase em Engenharia de Instalações no Mar, Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora, Macaé/RJ.
- Mainier, F. B.; Silva, R. R. C. M. (2004), “As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente”, Revista da Escola de Engenharia da UFF, Vol. 6, No. 3, pp. 106-112.
- Toledo, J. C. (2016), Melhoria da Qualidade e MASP, GEPEQ/DEP, Universidade Federal de São Carlos (Apostila).
- Tzaskos, D.F.; Gallardo, G. (2016), “Estudo de Caso da Aplicação do MASP em uma Indústria de Papel”, Revista Qualidade Emergente, Vol. 7, No. 2, p. 1-14.

Recebido: 27 set. 2017

Aprovado: 19 out. 2018

DOI: 10.20985/1980-5160.2018.v13n4.1355

Como citar: Espirito Santo, A. V.; Morais, A. S. C.; Paes, F. B. A. (2018), “Método de análise e solução de problemas aplicado no tratamento de corrosividade severa em um oleoduto submarino”, Sistemas & Gestão, Vol. 13, No. 4, pp. 446-457, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1355> (acesso dia mês abreviado. ano).