PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

ANÁLISE DO TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO E DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

FABIO FERNANDES SILVA

MACAÉ-RJ

2018

FABIO FERNANDES SILVA

ANÁLISE DO TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO E DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional e Sustentabilidade, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Romeu Silva e Neto.
Coorientador: Dr. Isaac José Antônio Luquetti dos Santos

MACAÉ-RJ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Silva, Fabio Fernandes, 1984-.
Análise do tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos de tratamento e dos fatores que influenciam o processo de tomada de decisão: um estudo de caso na produção de petróleo / Fabio Fernandes Silva. — Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
67 f.: il. color.

Orientador: Romeu e Silva Neto, 1968-.
Coorientador: Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, 1956-.

Dissertação (Mestrado). — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Resíduos - Eliminação no oceano. 2. Indústria petrolífera - Eliminação de resíduos. 3. Controle de poluição - Equipamento e acessórios. 4. Plataformas de perfuração - Equipamento e acessórios. 5. Estruturas marítimas - Brasil. 6. Separação (Tecnologia). I. Silva Neto, Romeu e, 1968-, orient. II. Santos, Isaac José Antônio Luquetti dos, 1956-, coorient. III. Título.

CDD 665.5389 23.ed.

Bibliotecário-Documentalista |Henrique Barreiros Alves | CRB-7/ 6326

Dissertação intitulada **ANÁLISE DO TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO E DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**, elaborado por Fabio Fernandes Silva e apresentado, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense – IF Fluminense, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa de Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 31/08/2018

Banca Examinadora:

Romeu e Silva Neto – Orientador
Doutor em Engenharia de Produção / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Isaac José Antonio Luquetti dos Santos – Coorientador
Doutor em Engenharia de Produção / Universidade Federal do Rio de Janeiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Hélio Gomes Filho
Doutor em Políticas Públicas e Formação Humana / Universidade Estadual do Rio de Janeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Edson Terra Azevedo Filho
Doutor em Sociologia Política / Universidade Estadual do Norte Fluminense
Universidade Estadual do Norte Fluminense

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha mãe, meu exemplo e meu norte, pelo amor, carinho e ensinamentos; ao meu irmão, meu primeiro e eterno amigo, pelo incentivo, compreensão, amor e companheirismo; a minha companheira, a coautora dos meus melhores dias, o raio dourado que ilumina meus caminhos, pelo apoio, amor e compreensão. Obrigado a todos, amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao universo, por permitir o meu convívio aos meus contemporâneos, pela oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas e a honra de ser filho da mulher mais maravilhosa que existiu.

À minha mãe, Vera Lucia, minha essência, meu norte, minha inspiração, meu exemplo a ser seguido e a razão do meu ser. Seus ensinamentos permanecerão sempre comigo, assim como o seu amor.

Ao meu irmão, Divan, meu fã, entusiasta, amigo incondicional e meu ídolo. Meu grande defensor, companheiro e a minha metade, sempre presente em todos os momentos, que sempre me compreendeu, incentivou e acompanhou.

À minha avó, Catarina, por ser meu exemplo de força, esperança, perseverança, sabedoria e fibra que sempre estarão em mim.

À minha companheira, meu coração e minha razão, pela paciência, compreensão, companheirismo, cooperação, amor e incentivo em todos os momentos.

Ao professor, orientador e amigo, Romeu, pelo conhecimento compartilhado, a confiança depositada, a compreensão, o incentivo, a paciência e a dedicação na elaboração desse trabalho.

Ao professor, coorientador e anjo, Isaac, por estender-me a mão no momento crucial, com seu conhecimento, confiança e ajuda que viabilizaram o prosseguimento e conclusão desse trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do IF Fluminense por compartilharem seus conhecimentos e incentivo.

À Petrobras, por todo o conhecimento e lições de vida, por moldar-me como profissional, como cidadão e pessoa. Por oferecer-me uma grande família repleta de pessoas maravilhosas.

Aos colegas de turma pela amizade, companheirismo e incentivo.

E aos amigos, irmãos por opção e de alma, que souberam respeitar meus momentos de dedicação, pela cooperação permanente, incentivo irrestrito, pelas risadas e por acompanhar-me.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1 - Análise das alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos de tratamento de água	
Figura 01 – Danos gerados pela água produzida	7
Figura 02 – Separador Trifásico e Bifásico	13
Figura 03 – Ilustração de um Flotador de Gás Dissolvido	14
Figura 04 – *Liner* e um hidrociclone	16
Artigo 2 - Análise das alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos de tratamento de água	
Figura 1 – Tipos de plataformas	25
Figura 2 – Ilustração das telas e do painel das IHM	33
Figura 3 – Ilustração de um liner e de liners de um hidrociclone vertical	36
Figura 4 – Hidrociclones verticais em um *FPSO*	37
Figura 5 – Analisador de TOG em um *FPSO*.....	38
Figura 6 – Relação entre o CCD e o modo de controle	49

LISTA DE TABELAS

Artigo 2 - Análise das demandas cognitivas durante o processo de tomada de decisão no tratamento de óleo e efluentes líquidos: um estudo de caso na produção de petróleo em plataformas do tipo *FPSO*.....	
Tabela 1 – Cálculo da demanda cognitiva na P3	50

LISTA DE QUADROS

Artigo 1 - Análise das alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos de tratamento de água	
Quadro 01 – Vantagens e desvantagens do flotador	17
Quadro 02 – Vantagens e desvantagens do hidrociclone e da membrana	18
Quadro 03 – Vantagens e desvantagens do separador bifásico e do trifásico	19
Artigo 2 - Análise das demandas cognitivas durante o processo de tomada de decisão no tratamento de óleo e efluentes líquidos: um estudo de caso na produção de petróleo em	

plataformas do tipo *FPSO*	
Quadro 1 – Atividade Cognitiva e Função Cognitiva	30
Quadro 2 – Quantidade de atividades cognitivas no processo	45
Quadro 3 – Fatores que estabelecem as CCD.....	46
Quadro 4 – Análise dos fatores que estabelecem as CCD na P3	47
Quadro 5 – Análise dos fatores que estabelecem as CCD na P3	48

LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS

ACH - Análise da Confiabilidade Humana

AIPA - Accident Investigation and Analysis

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

A/O – água/óleo

A/O/G - água/óleo/gás

BSW - Basic Sedments and Water

CCD - Condições Comuns de Desempenho

CMN - Controle de Meia Nau

CONAMA - Comissão Nacional do Meio Ambiente

COCOM - Contextual Control Model

coprod - Coordenador de Produção

CREAM - Cognitive Reliability Method

DUM – Descrição de unidade marítima

FGD - Flotador por gás dissolvido

FGI - Flotador por gás induzido

FPSO - Floating, Production, Storage and Offloading

FSO - Floating, Storage and Offloading

HC - Hidrociclone

IF Fluminense - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

IHM - Interfaces Homem-Máquina

$kgf.cm^{-2}$ - Quilograma força por centímetro quadrado

MTC - Motor Compressor

MDC - Modos de Desempenho Humano baseado no Conhecimento

MDH - Modos de Desempenho Humano baseado nas Habilidades

MDR - Modos de Desempenho Humano baseado nas Regras

MSG - Métodos de Segunda Geração

MPG - Métodos de Primeira Geração

$m^3.d^{-1}$ - Metro cúbico por dia

$mg.l^{-1}$ - Miligrama por litro

NaCl - Cloreto de Sódio

OAT - Operator Action Tree

OP - Operação de Produção

PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.

PF - Plataforma Fixa

PP - Planta de Processo

PPM - Parte por milhão

PSM - Processo de separação por membranas

P1 - Sala de Controle

P2 - Tratamento do Gás

P3 - Tratamento do Óleo e da água

P4 - Chegada do Óleo e Dosagem Química

SLIM/MAUD - Likelihood Index Method/Mult-Atribbute Utility Decomposition

SMoC - Simples Model of Cogntion

SA - Separador Atmosférico

ST - Separador Bifásico

ST - Separador Trifásico

SS - Semissubmersíveis

suprod - Supervisor de Produção

THERP - Technique for Human Error Rate Prediction

TC - Turbocompressor

TMC - Técnico de Movimentação de Cargas

TO - Técnico de Operação

TOG - Teor de Óleo e Graxa

TOP1 - Técnico de Operação da Sala de Controle

TOP2 - Técnico de Operação do Tratamento do Gás

TOP3 - Técnico de Operação do Tratamento do Óleo e da Água

TOP4 - Técnico de Operação da Chegada do Óleo

TRANSPETRO - Petróleo Brasileiro S.A.

TS - Técnico de Segurança

TSS - Teor de Sólidos Suspensos

UMP - Unidades Marítimas de Produção

ANÁLISE DO TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO E DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

RESUMO

A produção do petróleo envolve um processo complexo de beneficiamento do óleo e do seu efluente líquido, de forma que o descarte desse rejeito respeite os parâmetros estabelecidos pela resolução nº 393 da Comissão Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº393). Para que sejam atingidos os resultados estabelecidos por essa resolução dois fatores são cruciais no processo: os equipamentos utilizados e a eficiência dos trabalhadores envolvidos nas tarefas. Os equipamentos devem adaptar-se as restrições de espaço associadas às plataformas petrolíferas e serem eficientes no que concerne ao objetivo do TOG, enquanto os aspectos cognitivos são determinantes para que as sequências operacionais realizadas pelos trabalhadores sejam realizadas com êxito. Diante desse contexto, buscou-se analisar o processo em questão através de um estudo de caso fundamentado em pesquisas documentais, bibliográficas, entrevistas com profissionais de uma instalação off shore. Esta dissertação é composta por dois artigos de comunicação científica, onde o primeiro, por meio de uma pesquisa exploratória, descritiva, bibliográfica, documental e comparativa analisou as alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos utilizados nesse processo e o segundo, através de uma pesquisa empírica descritiva em uma plataforma do tipo FPSO, com a aplicação inédita de uma estrutura metodológica fundamentada em uma técnica de segunda geração de Análise da Confiabilidade Humana (ACH). Com o resultado do primeiro artigo foi possível observar que os hidrociclones e dos flotadores terem mostrado ser mais flexíveis ao ambiente off shore e quando ponderado os custos e benefícios, o primeiro equipamento teve um maior destaque. Os resultados do segundo artigo mostram que os procedimentos utilizados pelos trabalhadores na realização de suas tarefas fazem com que o modo de controle seja tácito, demonstrando que desempenham de forma satisfatória suas atribuições, as quais possuem 55,56% das tarefas dependentes de demandas cognitivas relacionadas às funções cognitivas de interpretação e planejamento, fato que indica a importância do processo de tomada de decisão realizado pelos trabalhadores no processo de tratamento do óleo e do efluente líquido.

Palavras chave: Água produzida. Equipamentos de Tratamento de Efluentes. Tomada de Decisão. Demanda Cognitiva.

ANALYSIS OF THE TREATMENT OF LIQUID EFFLUENT OF PETROLEUM UNDER THE PERSPECTIVE OF THE TREATMENT EQUIPMENT AND THE FACTORS THAT INFLUENCE THE DECISION-MAKING PROCESS: A CASE STUDY IN OIL PRODUCTION

ABSTRACT

The petroleum production involves a complex process of beneficiation of the oil and its liquid effluent, so that the disposal of this waste complies with the parameters established by Resolution No. 393 of the National Commission for the Environment (CONAMA Resolution No. 393). In order to achieve the results established by this resolution two factors are crucial in the process: the equipment used and the efficiency of the workers involved in the tasks: the equipment used and the efficiency of the workers involved in the tasks. The equipment must adapt to the space constraints associated with the oil rigs and be efficient with respect to the TOG objective, while the cognitive aspects are determinant for the operational sequences performed by the workers to be carried out successfully. In this context, we sought to analyze the process in question through a case study based on documental, bibliographical research, interviews with professionals from an offshore installation. This dissertation is composed of two articles of scientific communication, where the first one, through an exploratory, descriptive, bibliographical, documentary and comparative research, analyzed the alternatives of treatment of liquid effluent from petroleum from the perspective of the equipment used in this process and the second , through a descriptive empirical research on an FPSO-type platform, with the unprecedented application of a methodological framework based on a second-generation Human Reliability Analysis (ACH) technique. With the result of the first article, it was possible to observe that the hydrocyclones and the floats showed to be more flexible to the off shore environment and when weighted the costs and benefits, the first equipment was more prominent. The results of the second article show that the procedures used by the workers in performing their tasks make the control mode tacit, demonstrating that they perform satisfactorily their duties, which have 55.56% of tasks dependent on cognitive demands related to the cognitive functions of interpretation and planning, fact that indicates the importance of the process of decision making carried out by the workers in the treatment process of oil and liquid effluent.

Keywords: Produced water. *Effluent Treatment Equipment. Decision Making. Cognitive Demand.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
APRESENTAÇÃO.....	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1. O efluente líquido do petróleo	6
2.2. Caracterização do efluente líquido	7
2.3. Gestão do efluente líquido	9
2.3.1. Legislação.....	9
2.3.2. Processo de tratamento e separação da água produzida	11
2.3.2.1. Separador trifásico	12
2.3.2.2. Separador bifásico	12
2.3.2.3. Flotador	14
2.3.2.4. Hidrociclone	15
2.3.2.5. Membranas	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4. CONCLUSÃO.....	20
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
ARTIGO CIENTÍFICO 2: ANÁLISE DAS DEMANDAS COGNITIVAS DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NO TRATAMENTO DE ÓLEO E EFLUENTES LÍQUIDOS: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM PLATAFORMAS DO TIPO FPSO	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. REVISÃO DA LITERATURA	26
2.1. Erro Humano	26
2.2.Confiabilidade Humana	27

2.3.Métodos de análise de confiabilidade humana	28
2.3.1.Métodos de Primeira Geração	28
2.3.2.Métodos de Segunda Geração	28
3. MÉTODOLOGIA	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Descrição do processo escolhido e das principais etapas de operação	33
4.2. Descrição das ações realizadas e atividades cognitivas	39
4.2.1. Principais atividades realizadas na Área P4 (Chegada do óleo)	39
4.2.2. Atividades realizadas na Área P3 (Tratamento do óleo e da água)	40
4.2.2.1. Ajuste da vazão dos HC (hidrociclones)	40
4.2.2.2. Desobstrução de liners de um HC	40
4.2.2.3. Desobstrução de liners de dois ou mais HC ou equipamentos maiores	41
4.2.2.4. Retorno a operação de multiplos equipamentos ou um equipamento de maior porte .	42
4.2.3. Atividades realizadas na Área P2 (Tratamento do gás)	43
4.2.4. Atividades realizadas na Área P1 (Sala de controle de produção)	44
4.3. Escolha da fase mais crítica	45
4.4. Identificação do modo de desempenho na fase crítica	45
4.5. Identificação das funções cognitivas na fase escolhida	49
5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação aborda o efluente líquido do petróleo em dois artigos e foi elaborada por um profissional da indústria do petróleo com doze anos de experiência no setor *off shore*. Os artigos estão formatados conforme regras do local de submetido. O primeiro artigo direciona-se à eficiência dos equipamentos de tratamento do óleo e da água utilizados na produção de petróleo, enquanto o segundo identifica os fatores cognitivos associados a essas operações, determina o modo de controle envolvido, quantifica o percentual das demandas cognitivas e identifica os pontos mais vulneráveis ao erro humano.

A produção de petróleo no Brasil ocorre em principalmente em instalações marítimas (*offshore*), onde nota-se que a geração de efluente líquido é um processo intrínseco à indústria do petróleo. O óleo produzido é transportado para terra e como é elevado custo do transporte de cargas de óleo com mais de 1% de água, o tratamento e o descarte desse efluente ocorre o ambiente marítimo (PETROBRAS, 2017).

É crescente a produção de petróleo, assim como, a geração de efluentes com essa atividade, fato lhe gera preocupação diante da constatação do potencial dano que esses resíduos podem gerar ao Meio Ambiente. Devido a isso, há legislações ambientais em torno do descarte da água de produção e no que concerne ao descarte no mar, o controle das partículas de óleo na água é o foco da principal norma regulamentadora dessa ação, a resolução CONAMA nº 393.

A resolução CONAMA 393 exige a monitoração e caracterização química do efluente semestral para determinadas características e em relação ao teor de óleo e graxa presentes na água produzida, admite média mensal inferior a 29 $mg.l^{-1}$, com a ocorrência de picos de até 42 $mg.l^{-1}$. Para que esses parâmetros sejam atendidos, equipamentos específicos resistentes a esse efluente e equipes capacitadas para intervir nesse processo produtivo são os requisitos para a obtenção desses resultados.

No panorama em análise pode ser observado que os equipamentos e os operadores destes possuem funções estratégicas. A eficiência e a adaptação ao processo é determinante na escolha dos equipamentos para que sejam alcançados os objetivos e os aspectos cognitivos são relevantes para o êxito do processo, no que relaciona aos trabalhadores.

A princípio, as instalações abordadas na dissertação estão direcionadas as que possuem os equipamentos utilizados nas unidades onde ocorre a produção e processamento do petróleo, dessa maneira, o primeiro artigo analisa a eficiência dos equipamentos disponíveis atualmente para o tratamento primário do óleo e do efluente líquido.

A análise direcionada aos equipamentos elaborada no primeiro artigo fará parte do rol de publicações do XXV Simpósio de Engenharia de Produção (XXV SIMPEP): "Inovação e Sustentabilidade na Gestão de Processos de Negócios" que ocorrerá em novembro do presente ano.

No âmbito dos trabalhadores destacado no segundo artigo, é importante ressaltar que o tratamento do petróleo envolve complexos processos contínuos e simultâneos, que dependem de ações humanas no processo de tomada de decisão. Diante disso, detectar as fragilidades na execução dos serviços e identificar possíveis falhas humanas é relevante para a melhoria do desempenho humano em uma instalação *offshore*.

Nesse contexto, o uso de um método de segunda geração de Análise da Confiabilidade Humana para identificar o provável modo de desempenho humano, os fatores que afetam o desempenho humano e analise as principais funções cognitivas críticas, constitui um avanço significativo no setor industrial, principalmente no setor *offshore*.

A dissertação retrata um estudo de caso, no qual, as pesquisas foram estruturadas de forma específica aos objetos em análise em cada artigo, sempre buscando convergir a validação dos dados obtidos por meio de pesquisas bibliográficas, documentais e entrevistas com profissionais do setor contemporâneos a estudo no campo realizado instalações visitadas.

Diante do disposto apresentado, esta dissertação é composta de dois artigos de comunicação científica, conforme normalização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do IF Fluminense. No artigo 1 foi abordada a "Análise das alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo sob a perspectiva dos equipamentos de tratamento de água" e no artigo 2 a "Análise das demandas cognitivas durante o processo de tomada de decisão no tratamento do óleo e efluentes líquidos: um estudo de caso na produção de petróleo em plataformas do tipo FPSO".

ARTIGO CIENTÍFICO 1

ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO DO PETRÓLEO SOB A PERSPECTIVA DOS EQUIPAMENTOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

ANALYSIS OF THE ALTERNATIVES OF TREATMENT OF LIQUID EFFLUENT OF PETROLEUM UNDER THE PERSPECTIVE OF WATER TREATMENT EQUIPMENT

Fabio Fernandes Silva - IFFluminense/PPEA

Romeu e Silva Neto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

O efluente líquido do petróleo é um resíduo indesejável, sem valor comercial, gerado em volumes expressivos e com elevado potencial para causar danos ao Meio Ambiente. No Brasil, a indústria de produção de petróleo está concentrada em plataformas marítimas, onde ocorre o descarte de 99% da água de produção. O descarte desse resíduo sem tratamento, pode degradar de forma irreversível o ecossistema marinho e para que isso seja evitado é necessário um tratamento eficiente do rejeito. A principal norma reguladora do rejeito líquido é a resolução CONAMA 393, que estabelece os principais critérios a serem alcançados no que concerne ao teor de óleo e graxa presente na água produzida e seu descarte em ambiente marinho. O tratamento da água produzida é determinado pelos equipamentos utilizados no processo que se adéquam ao ambiente offshore, uma vez que, oferecem áreas reduzidas e as instalações estão sujeitas ao balanço. Por meio de uma pesquisa exploratória, descritiva, bibliográfica, documental e comparativa foram analisados os principais equipamentos utilizados no tratamento da água de produção e averiguou-se que os equipamentos mais difundidos são o tratador trifásico e o tratador bifásico, que o filtro com membranas é o equipamento com melhores resultados de TOG da água produzida, seguido pelo hidrociclone e pelo flotador, que há a utilização combinada de equipamentos objetivando atingir os parâmetros legais estabelecidos com o menor custo. Também foi observado que apenas unidades marítimas que não estão expostas aos balanços, ou seja, que possui estabilidade ocorre à utilização de processos de tratamento simplificado baseado na separação gravitacional convencional e a coalescência.

Palavras chave: Água produzida, Tratamento de Efluentes, Equipamentos de Tratamento.

ABSTRACT

The liquid effluent from petroleum is an undesirable waste, with no commercial value, generated in expressive volumes and with high potential to cause damages to the Environment. In Brazil, the oil production industry is concentrated on offshore platforms, where 99% of the production water is discarded. Disposal of this untreated residue can irreversibly degrade the marine ecosystem and for this to be avoided, efficient treatment of the tailings is necessary. The main regulatory standard for liquid tailings is the CONAMA Resolution 393, which establishes the main criteria to be met with respect to the oil and grease content present in the water produced and its disposal in the marine environment. The treatment of the water produced is determined by the equipment used in the process that fits the offshore environment, since they offer reduced areas and the facilities are subject to the balance sheet. An exploratory, descriptive, bibliographical, documentary and comparative research was carried out to analyze the main equipment used in the treatment of the production water and it was verified that the most common equipment is the three-phase operator and the two-phase operator, that the membrane filter is The equipment with the best TOG results of the produced water, followed by the hydrocyclone and the float, that there is the combined use of equipment aiming at reaching the established legal parameters with the lowest cost. It was also observed that only maritime units that are not exposed to the balances, that is, that has stability occurs to the use of simplified treatment processes based on conventional gravitational separation and coalescence.

Keywords: *Produced Water, Effluent Treatment; Treatment Equipment.*

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma das principais fontes energéticas da atualidade sendo composto majoritariamente por carbono e hidrogênio (cerca de 90%), e em menor fração por oxigênio, enxofre e nitrogênio, estes, considerados como contaminantes do óleo. Ainda que a indústria de produção do óleo, em uma perspectiva econômica gere uma grande margem de retorno econômico, no âmbito ambiental há fatores diagnosticados que geram preocupação e criam condições limitantes à atividade (ALMADA e PARENTE, 2013; GOLDEMBERG et. al., 2014).

A extração do petróleo no Brasil ocorre majoritariamente (95% do total) em ambiente marítimo, possuindo o óleo oriundo desse ambiente, elevados percentuais (de 50% a 100%) de água associada (ANP, 2017). Na água associada ou água produzida, como também é conhecida, além de ter consideráveis valores de óleo emulsionado, há elevadas concentrações de contaminantes do óleo dissolvidos, compondo uma mistura que é enquadrada como poluente ambiental (THOMAS, 2004).

Dos rejeitos intrínsecos à produção do petróleo, o efluente líquido ou água produzida é o principal resíduo perfazendo 98% do total gerado e tem como destinação, o despejo no mar ou a reinjeção em poços, após tratamento. (PETROBRAS, 2017). O volume de efluente obtido é muito expressivo, assumindo a proporção de 3/1 da razão entre a água produzida e o óleo (razão A/O), ou seja, a cada unidade de volume de óleo produzido são geradas três unidades de volume de efluente (FAKHRO‟L-RAZI et. al., 2009).

Convencionalmente objetiva-se separar a água do óleo em instalações *offshore* (instalações marítimas) devido aos elevados custos associados ao transporte do produto com *Basic Sedments and Water* (BSW) superior a 1%, o oneroso tratamento despendido para o descarte *on shore* (instalações em terra), ocasionado pelo maior rigor normativo de descarte (TRANSPETRO, 2017).

Diante do supracitado, todo o óleo produzido é direcionado para processamento específico em terra podendo conter até 1% de BSW, o que significa dizer que, quase a totalidade da água é eliminada no ambiente marítimo. Sob a perspectiva da razão A/O e que a média de produção de óleo diária dos doze meses antecedentes a março do presente ano foi de 439.321,7 $m^3.d^{-1}$, podemos mensurar o volume de efluente gerado. (ANP, 2017).

O descarte inadequado de efluente líquido fluido pode ocasionar danos ao meio ambiente como a poluição por óleo devido os grandes volumes produzidos diariamente, contaminação por metais pesados, substâncias químicas e a inserção de microorganismos que alteram todo o equilíbrio do ambiente (SILVA et. al., 2007).

A poluição ambiental oriunda do descarte inadequado desse resíduo pode causar danos irreversíveis ao ambiente marinho, na qualidade da água do mar com o aumento da concentração de poluentes e afetando a comunidade bentônica, tendo em vista o limite de capacidade de suporte (VIANNA, 2003).

A metodologia da pesquisa se divide em nível, delineamento e método. Em relação ao nível entende-se que a pesquisa exploratória objetiva desenvolver, esclarecer e modificar conceitos,

baseando-se pela formulação de problemas mais específicos, enquanto a pesquisa descritiva objetiva descrever características de um objeto, população ou fenômeno em estudo (GIL, 2002).

No que concerne ao delineamento, à pesquisa bibliográfica fundamenta-se em consultas a livros e artigos científicos, enquanto a documental diverge da bibliográfica apenas em relação à fonte consultada, neste caso, documentos que não receberam tratamentos analíticos, tais como relatórios de empresas. E em relação ao método, o comparativo visa estabelecer e ressaltam diferenças e similaridades entre eles fenômenos ou objetos em observação. (GIL, 2002).

De acordo com Gil (2002) este trabalho é uma pesquisa exploratória, descritiva, bibliográfica, documental e comparativa pelo fato de ter por objetivo esclarecer e desenvolver ideias à cerca do tratamento de efluentes, descrevendo os processos em estudos, norteado na revisão de livros e artigos científicos, assim como manuais técnicos e relatórios desenvolvidos por empresas e agências reguladoras do setor, visando ressaltar os fatores positivos e negativos dos objetos em estudo.

O principal parâmetro de controle e prevenção da poluição dos ecossistemas marinhos utilizados é em torno do teor de óleo e graxa (TOG) (GOMES, 2014). Devido a isso, este trabalho tem como objetivo geral analisar as alternativas de tratamento do efluente líquido do petróleo no ambiente *offshore* visando minimizar os impactos decorrentes do seu descarte e como objetivos específicos analisar e comparar as técnicas utilizadas neste tratamento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste item serão observados alguns aspectos em torno da água produzida no que tange sua composição, legislações e equipamentos utilizados em seu tratamento.

2.1. O efluente líquido do petróleo

O efluente líquido do petróleo ou água de produção ou água produzida é um resíduo oriundo da separação da água do óleo. A água produzida é uma mistura complexa, formada por água naturalmente presente na formação geológica do reservatório de petróleo, pela mistura das águas injetadas para recuperação secundária, da água de condensação, da água utilizada para

dessalinização do petróleo produzido e água de injeção, aquela injetada no reservatório para aumentar a produção (BRAZ, 2014; MONTENEGRO JR., 2011).

Indiferente da destinação, o descarte no mar, a injeção em poços subterrâneos ou o reuso com a reinjeção em poços conexos ao reservatório do óleo, devido suas peculiaridades que culminam em um potencial agressivo ao meio ambiente, há a necessidade do tratamento da água produzida. Esse efluente diverge da água do mar pelo fato de ter incorporado substâncias solúveis em água durante o período que permaneceu represado com o petróleo, como sais e íons, e produtos químicos utilizados no processo, como desemulsificantes (SILVA et. al., 2007).

A injeção de produtos químicos no processo de tratamento do óleo agrega complexidade ao efluente, uma vez que, esses produtos ficam associados à água de produção após a separação A/O (FIGUEREDO et. al., 2014). Vale ressaltar que o efluente líquido do petróleo não possui valor comercial, pelo contrário, além do risco ambiental, onera a cadeia produtiva podendo causar estragos em equipamentos quando não geridos adequadamente (BRAZ, 2014).

A figura 01 demonstra a poluição gradativa de óleo em ambiente marinho (à direita) e uma tubulação danificada devido à água produzida (à esquerda).

Figura 01 – Danos gerados pela água produzida - Fonte: Teodálio, 2003.

2.2. Caracterização do efluente líquido

A caracterização da água de produção é abstrusa, decorrente de fatores intrínsecos a formação do reservatório de óleo. Pode ser encontrado nesse efluente impureza advinda do óleo como compostos não hidrocarbônicos. Após a separação entre a água e o óleo, ficam associados à

água produzida, contaminantes tais como o dióxido de carbono e o ácido sulfídrico, seja na fase líquida ou na fase gasosa, e partículas sólidas em suspensão, que quando lançados no ambiente marítimo alteram o equilíbrio natural deste. No que concerne às instalações, podem gerar corrosão, incrustação, danos a equipamentos e máquinas, como exemplo (SILVA et. al., 2007).

Produtos químicos adicionados ao óleo durante seu processo de tratamento são dissolvidos e associados à água de produção. Dentre esses produtos os mais utilizados, seja de forma isolada ou concomitante entre si, os inibidores de corrosão, inibidores de incrustação, biocidas, coagulantes, floculantes, desemulsificantes e antiespumantes (MONTENEGRO JR., 2011).

Com frequência encontram microorganismos e gases dissolvidos, como o carbônico e o sulfídrico, que lançados no mar alteram e impactam de forma negativa o equilíbrio ambiental (SILVA et. al., 2007). Além de variadas concentrações de cátions e ânions, também são encontrados na água de produção metais pesados, tais como, o cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata e zinco (BRITO, 2015).

Em decorrência dos volumes de efluentes gerados, a variação do teor de óleo e graxa (TOG) ser de 50 a 5.000 partes por milhão devido à presença de partículas de óleo emulsionadas na água produzida, quando lançados no mar, a poluição por óleo torna-se visível. Outro fato que caracteriza esse efluente esta relacionada a salinidade elevada, variando de 40.000 $mg.l^{-1}$ a 150.000 $mg.l^{-1}$ de NaCl, e o teor de sólidos suspensos (TSS) variando entre 5 a 2.000 ppm (PETROBRAS, 2016).

A salinidade da água produzida nas plataformas de petróleo marítimas ou plataformas *offshore*, é elevada, inicialmente apresentando teores mínimos de 3.000 $mg.l^{-1}$ e máximos de 150.000 $mg.l^{-1}$ (BRITO, 2015).

Dentre os parâmetros relacionados à caracterização da água produzida, os que assumem maior relevância devido o fato de atuarem como indicadores de controle são: a salinidade, a dureza e o TOG, este último, a principal referência para o descarte da água produzida (SEGUI,2009).

Nas legislações vigentes para o descarte em ambiente marítimo o óleo é o poluente que ganha maior atenção no tratamento da água produzida em unidades marítimas e mesmo após o tratamento dela, ainda é possível identificar resíduos de óleo e graxa na água (THOMAS, 2004).

2.3. Gestão do efluente líquido

Os principais pontos a serem analisados que influenciam diretamente a administração do efluente líquido são influídos por fatores relativos aos custos, às legislações vigentes, à localização da instalação de produção, viabilidade técnica, área disponível para implantação de infraestrutura e equipamentos (GOMES, 2014).

A poluição por óleo é o impacto ambiental mais temido devido os expressivos volumes de efluente lançados diariamente ao mar. As empresas do setor reconhecem que a água produzida pode ser um custo ou simplesmente, quando bem gerida, pode representar ganhos ao processo com a preservação de equipamentos e estruturas, de acordo com a forma que é gerida (VEIL, 2011).

A corrosão dos equipamentos é uma das avarias criada pela elevada salinidade, por sólidos suspensos e gases dissolvidos na água produzida, dessa forma se não houver um cuidado com esse fluido, ele poderá configurar custos elevados aos processos produtivos que não utilizam os mecanismos de gestão apropriados (BRAZ, 2014).

A gestão da água produzida é de suma importância na indústria do petróleo, no que concerne ao meio ambiente devido à irreversibilidade dos danos que podem gerar a vida marinha, como também, no âmbito econômico do processo (GOMES, 2014). No Brasil, o descarte desse efluente é normatizado por legislações especificas, assim como estabelece a Lei nº 9.966 de 28 de abril de 2000.

2.3.1. Legislação

O descarte do efluente líquido do petróleo seja o descarte, a injeção ou a reinjeção em poços, em ambiente marítimo ou terrestre é normatizado. A lei nº 9.966 de 28 de abril de 2000 *"dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo"* cita convenções internacionais e o acolhimento destas no ordenamento interno.

Ela estabelece alguns conceitos e define a atribuição de competência a Agência Nacional de Petróleo e aos órgãos federal e estadual de Meio Ambiente a responsabilidade de cumprimento. Determina que haja diretrizes especificas e atribui a competência de normatizar as tarefas relacionadas ao descarte da água produzida à Comissão Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A CONAMA estabelece suas diretrizes sobre esse assunto através das resoluções. As resoluções CONAMA de nº 357, 393, 396, 397 e 430 são as principais normas no que tange o efluente líquido.

A resolução CONAMA de nº 357 de 17 de março de 2005 é direciona a fração da água produzida que não recebe tratamento a bordo e outras frações oriundas do processo de refino do petróleo. Essa resolução dispõe a respeito da "*classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.*".

A resolução CONAMA 393 de 8 de agosto de 2007, parametriza o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, de forma a estabelecer padrões de descartes, parâmetros de monitoramento, entre outras providências. Trata-se do principal parâmetro regulador do tratamento de efluentes líquidos do petróleo.

Através de seu artigo quarto, a resolução CONAMA 393 é taxativa ao dispor que só poderá ser realizado o descarte, direto ou indireto, no mar, uma vez que sejam atendidas às condições, padrões e exigências dispostas. Veda o lançamento que gere alterações no entorno do ponto de lançamento ou que modifique as características diversas da classe de enquadramento para a área definida, excetuando a zona de mistura.

A CONAMA 393 exige a monitoração e caracterização química semestral para o pH, a salinidade, carbono orgânico, compostos orgânicos de toxidade crônica da água, eco toxidade, compostos inorgânicos, radioisótopos e compostos inorgânicos (metais pesados). Essa resolução é mais taxativa no âmbito do acompanhamento em relação ao intervalo de tempo no que se refere ao teor de óleo e graxa da água produzida, admitindo uma média mensal de 29 $mg.l^{-1}$, como a ocorrência de picos de até 42 $mg.l^{-1}$.

A presente resolução ainda obriga as empresas operadoras de plataformas realizarem monitoramento semestral da água produzida a ser descartada das plataformas.

A resolução CONAMA nº 396 de 7 de abril de 2008, se relaciona à água produzida nos casos onde esta tem como destinação a injeção em poços terrestres. O estabelecimento das classes depende do impacto sobre a qualidade da água e os valores máximos permitidos para os parâmetros dependem do uso preponderante da água.

A injeção de água produzida em poços terrestres pode vir a interferir em reservatórios de água, diante desse risco, a CONAMA 396 "*dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*.".

A resolução CONAMA 397 de 3 de abril de 2008 veio alterar alguns parâmetros relativos ao do art. 34 da Resolução CONAMA 357 que dispõem a respeito aos valores máximos admitidos para o descarte de efluente, especificamente o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5º.

A resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2007, assim como a CONAMA 357, está direcionada a água produzida que não consegue ser tratada a bordo das unidades marítimas e são transportadas para as instalações on shore. Essa resolução "d*ispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*".

2.3.2. Processo de tratamento e separação da água produzida

O objetivo de tratar a água produzida é o de atingir parâmetros normativos para seu descarte, reinjeção em poços produtores, injetores ou outras estruturas geológicas para disposição do efluente (GOMES, 2014).

O tratamento do efluente do petróleo pode ter por finalidade a remoção de óleo, de compostos orgânicos solúveis, de bactérias e algas, de sólidos suspensos, turbidez e areia, de gases dissolvidos, dessalinização, dentre outros, merecendo destaque a remoção do óleo presente na água na forma livre, emulsão ou dissolvida. Destas três, o óleo sob a forma emulsificada é a que mais preocupa, devido ao elevado grau de dificuldade encontrado para a sua remoção (MOTTA et. al., 2013).

Em plataformas marítimas ou ambiente *offshore* o óleo recebe os primeiros tratamentos, onde ocorre a separação do efluente líquido. Os primeiros estágios com uso de equipamentos ocorrem respectivamente na separação trifásica água/óleo/gás (A/O/G) e a bifásica (água/óleo), mas é importante mencionar que há tratamento químico e térmico durante o processo, objetivando aumentar a eficiência dos equipamentos tratadores (THOMAS, 2004).

A restrição de espaço é uma característica intrínseca as atuais práticas *offshore*, com isso, as plantas de processos devem ser otimizadas, utilizando equipamentos como flotadores, escumadores, coalescedores, hidrociclones e filtros (ROBBINSON, 2013).

Nos tópicos adiante serão analisados os principais equipamentos utilizados na indústria petrolífera no tratamento da água produzida, norteados através da técnica de comparação pareada.

2.3.2.1. Separador trifásico

A primeira separação intermediada por um equipamento ocorre no separador trifásico ou, também conhecido como extrator de água livre. Este é o primeiro equipamento destinado a separação dos fluído que chegam com a forma A/O/G misturadas. Uma vez separado em três fases, cada uma dessas é retirada do vaso por saídas individualizadas (THOMAS, 2004).

O extrator de água livre é um vaso que pode ser encontrado na forma vertical ou horizontal, isso dependendo das características do processo (BRITO, 2015). Podemos notar na figura 02 (à esquerda) um separador trifásico vertical e que é característica desse equipamento a saída do gás na extremidade mais elevada do vaso, enquanto a água de produção será eliminada pela parte inferior do equipamento.

O separador trifásico é um equipamento com grandes dimensões onde é necessário um considerável tempo de residência. Esse equipamento efetua a separação das fases aquosa, oleosa e gasosa. É dividido em câmaras de separação, possuindo em seu interior placas paralelas que são responsáveis pela eficiência de separação entre as fases (SILVEIRA, 2006).

As câmaras internas do equipamento são separadas por meio de uma chicana de altura estabelecida em projeto de acordo com o planejamento de residência do fluído, de forma que possibilita o acúmulo de fase aquosa (mais densa) na primeira câmara e a passagem de fase oleosa para a outra, sendo o princípio de ação do separador trifásico a coalescência (THOMAS, 2004).

2.3.2.2. Separador bifásico

O coalescedor eletrostático ou separador bifásico é separador que utiliza um campo elétrico originado por placas metálicas energizadas que inserem uma carga elétrica no fluído existente no interior do vaso, objetiva aumentar a taxa de coalescência entre as gotas de água. É um equipamento desenvolvido para ser instalado em linha, antes de um separador gravitacional simples (SILVA ET AL, 2007).

No separador bifásico ainda há a presença de gás, porém em volume e pressão inferiores ao separador trifásico. A seguir, podemos observar na figura 02 (à direita) que há uma alteração no layout da saída de óleo, que na separação trifásica (à esquerda) ocorria em um ponto intermediário do vaso, passando para a parte inferior deste. Isso ocorre pelo fato do vaso ser dividido em duas câmaras (THOMAS, 2004).

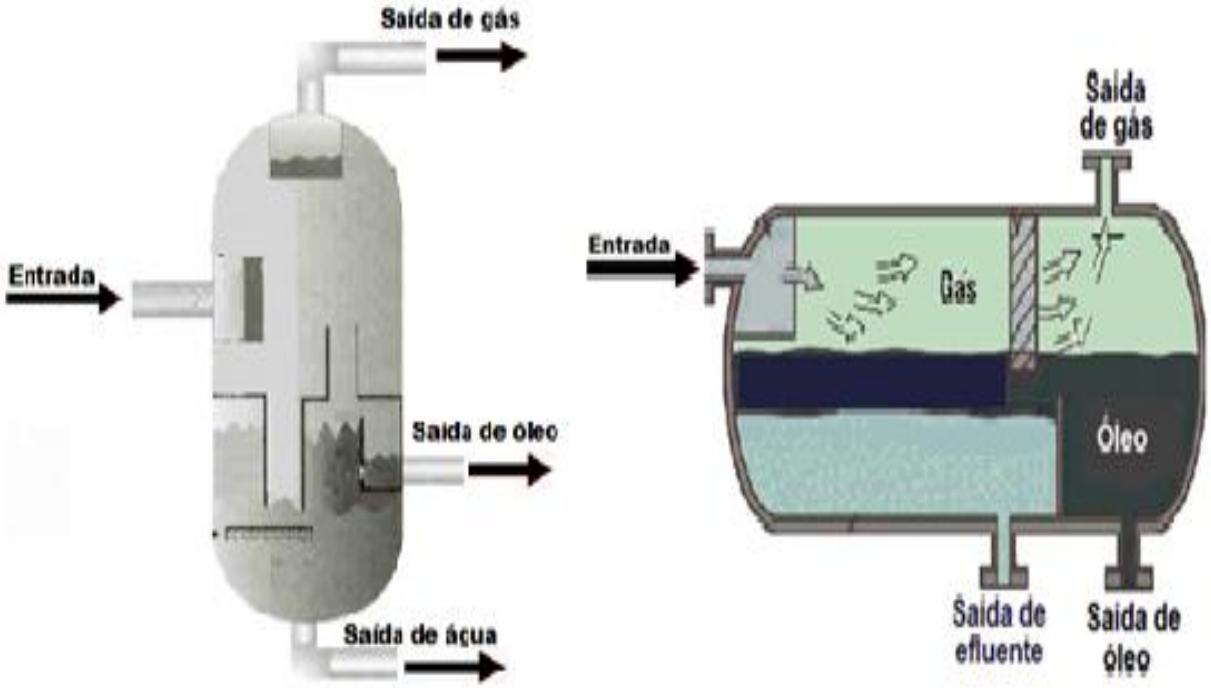

Figura 02 – Separador Trifásico e Bifásico - Fonte: Silva et al, 2007.

Na primeira câmara o óleo chega com a água emulsionada. Nessa câmara há placas metálicas com eletrodos que dispersão cargas elétricas no óleo para auxiliar a quebra da emulsão através do tratamento eletrostático. A água é retirada pela parte inferior dessa câmara e com o decorrer do tempo o nível do óleo, ocorre o aumento no nível fazendo com que apenas o óleo passe para a segunda câmara, onde saí do vaso pela extremidade inferior e o gás que se desassocia sai através da extremidade mais elevada. (LEOCÁDIO, 2003).

Os eletrodos do interior desse equipamento são recobertos de material isolante, a fim de evitar o curto-circuito, em razão dos altos teores de água existentes na corrente produzida. Nesse equipamento ocorre a quebra de emulsão da água com o óleo basicamente, sendo feita a separação nas fases A/O. É importante ressaltar que neste separador ainda há previsão de saída de gás, porém em proporção inferior ao trifásico, no que concerne ao volume e a pressão (THOMAS, 2004).

2.3.2.3. Flotador

O flotador é um equipamento que se baseia em um processo de fácil implementação, operação e manutenção. Basicamente consiste na geração das bolhas gasosas (pode ser ar ou gás, como nas unidades de produção) no interior do efluente. A colisão das bolhas de gás com as gotículas de óleo dispersas na água induz que as bolhas se aglutinem nas gotículas de óleo e gere a ascensão dos agregados bolha-gotícula até a superfície do fluído. (SILVA et. al., 2007)

O flotador se baseia na separação física, com isso, assim como qualquer equipamento que se norteie por esse modelo de separação, sua eficiência é limitada pelos compostos solúveis, que em alguns casos extremos podem atingir valores da ordem de 60 $mg.l^{-1}$. (LEOCÁDIO, 2003).

A flotação pode ser por gás dissolvido (FGD) ou por gás induzido (FGI). No primeiro o efluente é previamente saturado com gás sob pressão. A geração das bolhas ocorre através da variação brusca da pressão no interior do equipamento, submetendo o efluente a altas taxas de cisalhamento (LEOCÁDIO, 2003). A figura 03 ilustra um flotador de gás dissolvido.

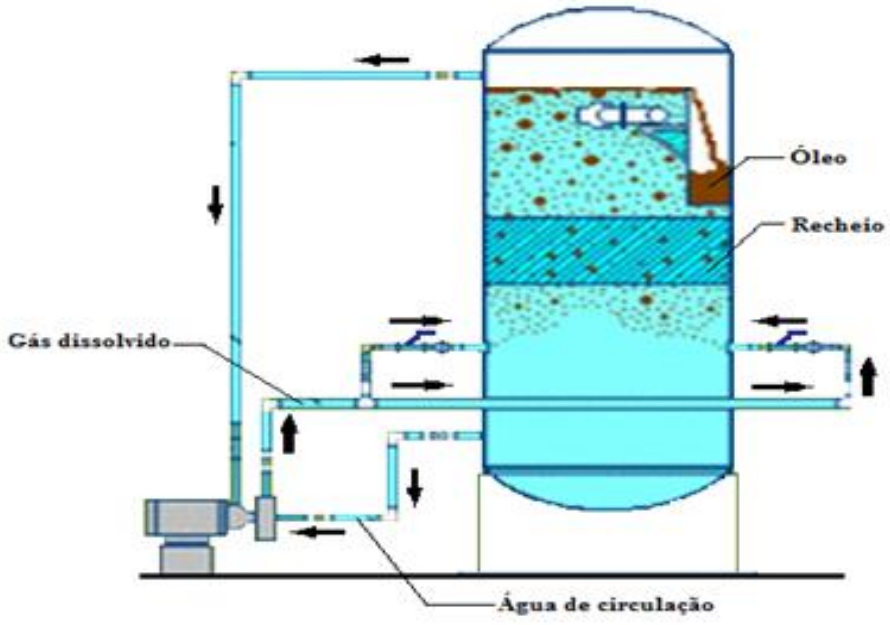

Figura 03 – Ilustração de um Flotador de Gás Dissolvido - Fonte: Leocádio, 2003.

O processo de flotação por gás induzido permeia-se pela introdução de um gás no efluente através de um tubo, no qual, sua extremidade possui um acessório para a dispersão do gás em bolhas com dimensões pequenas inferiores a 104 micrometros. Ressalta-se que as bolhas geradas são maiores do que as produzidas no FGD (LEOCÁDIO, 2003).

As bolhas de gás podem ser geradas por meio de dispositivos mecânicos, hidráulicos ou *sparges*. No primeiro sistema um rotor insere o gás na água, método que origina pequenas bolhas de gás, enquanto o sistema hidráulico uma bomba centrífuga direciona parte do efluente aos ejetores, local onde surgem as bolhas de gás. Já o sistema é um mecanismo que direciona a passagem de gás por poros de tubos formando bolhas de gás na água produzida (LEOCÁDIO).

2.3.2.4. Hidrociclone

Separador ciclônico ou hidrociclone (HC) é um equipamento que objetiva retirar resquícios de óleo presentes na água produzida através da diferença de densidade entre o óleo e a água. O desenho desse equipamento possui a finalidade de criar um efeito ciclônico no fluido em seu interior. É gerada uma dinâmica no fluído onde a água segue um fluxo contínuo e o óleo segue um fluxo axial reverso, isso, devido à pressão no interior do equipamento e a velocidade assumida pelo fluído (SILVA et. al., 2007).

Os hidrociclones são equipamentos compactos, que não demandam de muita manutenção e possuem baixo consumo de energia. Trata basicamente de um tubo composto de trechos cônicos justapostos, onde o fluido entra tangencialmente à seção transversal do tubo para que viabilize a formação do fluxo axial e possibilita o movimento de rotação do fluido ao redor do eixo do equipamento, o chamado de vórtice (MORAES, 1994).

Usualmente chama-se hidrociclone o conjunto com várias unidades, enquanto uma unidade é denominada de *liner*. As plantas de tratamento *offshore* possuem tamanhos limitados, assim as empresas buscam o desenvolvimento e a utilização de equipamentos que não ocupem muito espaço para separação óleo/água, devido a esse fator, o hidrociclone é o equipamento mais visado por seu tamanho relativamente menor que os equipamentos convencionais e seu curto tempo de residência (SILVEIRA, 2006).

É interessante mencionar que, historicamente o hidrociclone era um equipamento utilizado na separação de materiais nas fases sólido-líquido, ou seja, não foi projetado para separação líquido-líquido, mas com o transcorrer do tempo, devido a necessidade da indústria do petróleo de efetuar a separação do líquido-líquido, foram feitas adaptações para viabilizar a essa finalidade e mostrou-se eficiente (ROBBINSON, 2013).

Através da figura 04, pode ser observado à esquerda, a ilustração de um *liner* de um hidrociclone e a direita, uma foto de um hidrociclone do tipo horizontal aberto para manutenção e desobstrução dos liners.

Figura 04 – *Line*r e um hidrociclone horizontal - Fonte: Silva et al, 2007 e Fundão et al, 2016

O layout do tubo do hidrociclone com contínuo decréscimo de diâmetro faz com que o fluxo do fluido seja acelerado, criando uma força centrífuga que impulsiona o componente de maior densidade nas paredes e na parte central é feito um fluxo axial reverso por onde o fluido menos denso é direcionado para a sua saída (FILGUEIRAS, 2005).

2.3.2.5. Membranas

O processo de separação por membranas (PSM) é baseado em processo de filtração, se diferenciando da filtração convencional no que tange o elemento filtrante e nas dimensões dos poros deste. Os tamanhos das partículas a serem separados, os custos operacionais, os custos de manutenção e o produto final almejado influenciam diretamente na escolha da metodologia aplicada (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

O PSM age como barreira física de substâncias que divergem em suas características, principalmente no que concerne no tamanho das partículas. Diferente dos hidrociclones que funcionam exclusivamente com o uso das energias do processo, o sistema a base de membrana possui maior versatilidade no que se relaciona a alimentação do processo podendo, com isso, ser alimentado por um diferencial de pressão, de concentração, por um potencial químico ou elétrico (LEOCÁDIO, 2003).

Com o decorrer do tempo há uma redução no fluxo de fluído que passa pelas membranas devido à polarização de concentração, um fenômeno reversível e controlável, por métodos distintos, como o aumento da velocidade de escoamento da alimentação ou borbulhamento de ar. Outro fenômeno que reduz a eficiência desse sistema é *Fouling*, um fenômeno mais complexo que o anterior, por envolver processos químicos, físicos e biológicos que podem culminar em perda irreversível da permeabilidade (MOTTA, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha dos equipamentos de tratamento de efluente em uma plataforma depende de inúmeros condicionantes, como por exemplo, a suscetibilidade da plataforma a sofrer balanço de acordo com as condições de mar (SEGUI, 2009).

É comum utilizarem processos combinados, para alcançar os parâmetros normativos vigentes de descarte da água produzida, elaborando sistemas com equipamentos distintos que geram continuidade operacional e baixos custos operacionais (VIANNA, 2003).

Os quadros 01, 02 e 03 explicam algumas características operacionais dos principais equipamentos de tratamento de efluentes, destacando suas vantagens e restrições.

Quadro 01: Vantagens e desvantagens do flotador

Equipamento	Principio	Vantagens	Desvantagens
Flotador	**Flotação a gás**	Baixos custos de investimento e operacional; compacto; elevada capacidade de tratamento; baixa intervenção operacional (LEOCÁDIO, 2003).	Forte dependência de equipamentos acessórios e de gás (SILVA et. al., 2007) .
		Eficiente no tratamento; ocupa pouco espaço em plataformas; baixa necessidade de manutenção (SILVA et. al., 2007).	Demanda energia externa ao processo para alimentação do equipamento (LEOCÁDIO, 2003)
		Barato, simples de instalar e exige pouca manutenção (SEGUI, 2009)	Eficiência comprometida em balanço situação de balanço da unidade (ARAUJO et. al., 2013).

Quadro 02: Vantagens e desvantagens do hidrociclone e da membrana

Equipamento	Principio	Vantagens	Desvantagens
Hidrociclone	**Separação gravitacional aprimorada**	Compacto; longos períodos operacionais; não necessita de energia externa ao processo para funcionamento; eficiência não é comprometida com balanço da plataforma; eficiente na separação dentro dos parâmetros legais vigentes com valores inferiores a 20 $mg.l^{-1}$; baixo custo operacional (LEOCÁDIO, 2003)	Suscetíveis à erosão; forte dependência da vazão (ARAUJO et. al., 2013)
		Maior eficiência, quando comparado aos equipamentos cujo princípio é a coalescência; eficiência não é comprometida por parâmetros como tempo de residência; barato e simples de instalar (ARAUJO et. al., 2013).	Pouco eficiente para ruptura de flocos (SEGUI, 2009)
		Necessidade de poucas dosagens de produtos químicos, pouca intervenção operacional; pouca necessidade de manutenção; manutenção não demanda de longos períodos (SEGUI, 2009)	Vulnerável a obstruções por sólidos e sua estrutura dificulta sobremaneira o processo de limpeza (LEOCÁDIO, 2003)
		Menor intervenção operacional quando comparado à membrana; intervenção para manutenção curta (SILVA et. al., 2007)	Demanda intervenção operacional periódica (SILVA et. al., 2007)
Membrana	**Filtração**	Retenção de gotas de óleo com dimensões abaixo de 10 µm; dispensar a utilização de produtos químicos; capacidade de gerar permeados com qualidade aceitável (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2008).	Utilização de produtos químicos caros; geração de lodo, que demanda tratamento para descarte (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2008).
		Elevada resistência às altas temperaturas; resistência ao fouling, mesmo a altas concentrações de óleo; e resistência aos agentes de limpeza mais agressivos (MOTTA, 2013).	Custos elevados; menor continuidade operacional em comparação aos demais equipamentos analisados ; vulnerável a obstrução por resíduos sólidos (MOTTA, 2013).
		Equipamento que possibilita os menores valores de TOG obtido, entre os disponíveis para o ambiente; valores de TOG máximos inferiores a 7 $mg.l^{-1}$; eficiência não é comprometida por balanço da unidade (MOTTA, 2013)	Eficiência comprometida pela polarização e fouling; maior demanda de intervenção operacional e manutenção (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2008).

Quadro 03: Vantagens e desvantagens da membrana e do separador trifásico

Equipamento	Principio	Vantagens	Desvantagens
Separador bifásico	**Separação gravitacional e coalescência**	Continuidade operacional; eficiência de separação tendo tempo de residência; longos períodos sem manutenção (SILVA et. al., 2007).	Dificuldade de controlar a interface água/óleo; deposição de borra, areias e incrustação exigindo uma constante limpeza e manutenção (ARAUJO et. al., 2013).
		Amortece sobrepressões do processo oriundas de golfadas (SEGUI, 2009)	TOG superior a 50 $mg.l^{-1}$, devido o tempo de residência utilizado em ambiente *offshore*; eficiência comprometida em balanço situação de balanço da unidade; intervenção para limpeza demorada (SEGUI, 2009)
		Tratamento eletroquímico demanda pouca área na plataforma; respeitado o tempo de residência apresentam 20 $mg.l^{-1}$ de TOG; elevada capacidade de tratamento (LEOCÁDIO, 2003).	Ocupa uma área considerável; elevado tempo de residência para atingir eficiência relativa; suscetível à obstrução por sólidos; limpeza e manutenção demandam longo intervalo de tempo; eficiência suscetível à interferência por balanço da unidade (LEOCÁDIO, 2003)
Separador trifásico	**Separação gravitacional em conjunto com a coalescência aprimorada**	Amortece sobrepressões do processo oriundas de golfadas dos poços produtores (SILVA et. al., 2007).	Longo período em manutenção; ocupa uma grande área; elevado tempo de residência; suscetível à obstrução por sólidos; limpeza e manutenção demorada; eficiência suscetível à interferência por balanço da unidade (LEOCÁDIO, 2003).
		Redução dos custos para o tratamento de água produzida (MORAES et. al., 2012).	Não remove o óleo emulsionado (SILVA et. al., 2007).
		Longa continuidade operacional; alta eficiência de separação quando respeitado o tempo de residência; longos períodos sem manutenção (Silva et. al., 2007).	Vulnerável a obstruções por sólidos e sua estrutura dificulta sobremaneira o processo de limpeza (SPIELMAN; SU, 1977).
		Tratamento eletroquímico demanda pouca área na plataforma; respeitado o tempo de residência apresentam 30 $mg.l^{-1}$ de TOG; elevada capacidade de tratamento (LEOCÁDIO, 2003).	TOG superior a 50 $mg.l^{-1}$, devido o tempo de residência utilizado em ambiente *offshore* ; eficiência comprometida em balanço situação de balanço da unidade (LEOCÁDIO, 2003)

4. CONCLUSÃO

O efluente líquido do petróleo é um resultado produtivo indesejável que pode causar grandes danos em ecossistemas marinhos, pelo fato de seu descarte ocorrer predominantemente no ambiente *offshore*, assim, necessita de uma gestão eficiente que objetiva a preservação da qualidade do meio ambiente.

Devido à multiplicidade de cenários e fatores associados é auferido um grau de complexidade relevante aos processos produtivos de petróleo e por consequência, ao tratamento dos rejeitos da produção no que se refere ao TOG da água produzida. A separação gravitacional em conjunto com a coalescência é o processo mais difundido nas plataformas da Petrobras, porém devido às características dos processos que não possibilitam que o fluído tenha o tempo de residência adequado é o equipamento que tem os piores resultados não atingindo os parâmetros normativos para descarte.

A membrana é o equipamento que oferece o processo de tratamento com maior qualidade, com os menores valores de TOG alcançados. Demandam uma logística elaborada de operação e manutenção, necessita de armazenamento de peças sobressalentes e a limpeza rotineira, o que culmina em interrupções do processo.

Os hidrociclones oferecem longos períodos operacionais, comparados aos demais equipamentos, sendo vencido nesse aspecto apenas pelos tratadores tri e bifásicos. Possuem um baixo custo de instalação, não são tão suscetíveis às alterações nas condições ambientais oferecidas pelas plataformas como os demais equipamentos e o que oferecem um dos melhores custos benefícios tendo em vista que alcança os parâmetros normativos para descarte da água produzida.

Os flotadores são os que oferecem menor custo de instalação, de forma geral, tendo como principal fator negativo a vulnerabilidade às mudanças nas condições das plataformas, quando comparados aos hidrociclones. A dinâmica das operações em plataformas de petróleo tornou comum a utilização combinada de equipamentos, com isso, usando tratadores tri e bifásicos como um tratamento primário, assim aumentando a eficiência dos flotadores e hidrociclones.

Em plataformas que não estão expostas aos balanços da unidade são propícias aos processos de separação gravitacional convencional e a coalescência, porém conclui-se que o uso dos hidrociclones mostrou-se mais flexível ao ambiente *offshore* em termos gerais, quando associados custos e benefícios.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, L.P.; PARENTE, V. **Oil & gas industry in Brazil: A brief history and legal framework.** US Energy Information Administration, 2013.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2017. **Petróleo e derivados/ DUM.** Disponível em: http://www.anp.gov.br/. Acesso em abril de 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2017. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/ conama/>. Acesso em: Abril de 2017.

_____. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. **Poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/>. Acesso em: Março de 2017.

BRAZ, A. K. S. **Caracterização de Águas Produzidas Provenientes de Plataformas Marítimas da Bacia do Ceará.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2014.

CHAKRABARTY, B.; GHOSHALAND A.K.; PURKAIT, M.K. **Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane.** Journal of Membrane Science, v. 325, n. 1, 2008.

FIGUEREDO, K.S.L.; MARTÍNEZ-HUITLE, C.A.; TEIXEIRA, A.B.R.; PINHO, A.L.S.; VIVACQUA, C.A.; SILVA, D.R. **Study of produced water using hydrochemestry and multivariate statistics in different productions zones of mature fields in the Potiguar Basin.** Brazil. Journal of Petroleum Science and Engineering, 116, 2014.

FUNDÃO, A.S.; SILVA, F.Z.; GARCIA, D.P.; ZANCANELLA, A.C.B.; MALHEIROS, F.C.N.; MAZIERO. **Falha por corrosão em tubulação de descarte de água do mar.** Revista Univap, São José dos Campos, v. 22, nº. 41, 2016.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. Editora Atlas, 4ª Ed,São Paulo, 2002.

GOLDEMBERG, J.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; LUCCHESI, R. **Oil and natural gas prospects in South America.** Energy Policy, nº 64, 2014.

GOMES, A. P. P., **Gestão Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais.** COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em < http:www.ppe.ufrj.br/ppe>. Acesso em: Julho de 2017.

LEOCÁDIO, T. **Tratamento de água produzida.** UN-RIO, ATP-MLS, OP-P51, Petrobras, 2003.

MONTENEGRO JR., R. S., **Estudo da Viabilidade Técnica do Método Eletroquímico no Tratamento da Água Produzida nos Processos de Exploração de Petróleo**. Pós-Graduação em Gestão no Setor de Petróleo e Gás, Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2011.

MOTTA, A. R. P., Borges, C. P., Keperstok, A., Esquerre, K. P., Araujo, P. M., Branco, L. P. N. **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18 n.1, jan/mar, 2013.

NEFF, J.M.; LEE, K.; DEBLOIS, E.M. **Produced water: Overview of composition, fates and effects.** Cap. 1 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Lee, K. & Neff, J. (eds.). Springer Science, 2011.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. **Acervo Digital: Dados e Processos.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <http://www.petrobras.com. br/>. Acesso em: Julho de 2017.

ROBBINSON, D. **Treatment and discharge of produced waters offshore. Filtration + Separation**, Março/Abril, 2013.

SILVA, A.L.F. (organizador). **Processamento Primário de Petróleo.** Universidade Petrobras, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

SILVEIRA, M.A.C.R. **Controle de um processo de tratamento primário de petróleo.** PPMCEQ, COPPE/UFRJ, 2006.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Produced Water Treatment Field Manua**l. Part 1 - Produced Water Treating Systems, 2011.

SEGUI, P. N. **Bioatenuação da geração de sulfeto, por meio da utilização de nitrato, em água produzida proveniente da extração de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espirito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/>. Acesso em Junho de 2017.

THOMAS, J.E. (organizador). **Fundamentos de engenharia do petróleo**. 2 ed. Interciência/PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2004.

TRANSPETRO, 2015. **Instalações de Tratamento de Água Produzida.** Macaé – RJ, 2011. 6 p. Disponível em: <http://www.transpetro.com.br/>. Acesso em maio de 2017

VEIL, J.A. **Produced water management options and technologies**. Cap. 29 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Lee, K. & Neff, J. (eds.). Springer Science, 2011.

VIANNA, A.D. **Manual de hidrociclones**. ZIMEC, Rio de Janeiro, 2003.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

ANÁLISE DAS DEMANDAS COGNITIVAS DURANTE O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NO TRATAMENTO DE ÓLEO E EFLUENTES LÍQUIDOS: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO EM PLATAFORMAS DO TIPO FPSO

ANALYSIS OF THE COGNITIVE DEMANDS DURING THE DECISION-MAKING PROCESS IN THE TREATMENT OF OIL AND LIQUID EFFLUENTS: A CASE STUDY IN PETROLEUM PRODUCTION IN FPSO TYPE PLATFORMS

Fabio Fernandes Silva - IFFluminense/PPEA
Isaac José Antônio Luquetti dos Santos - UFRJ/PEA
Romeu e Silva Neto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

A produção de petróleo no Brasil ocorre predominantemente em plataformas do tipo *Floating, Production, Storage and Offloading* (*FPSO*). Tratam- se de unidades que realizam complexos processos associados ao tratamento do óleo e de seu efluente líquido. O tratamento do efluente está inserido na fase que contém maior número de manobras operacionais, sendo considerada a mais crítica em decorrência da complexidade do processo e número de ações humanas. Essas atividades demandam funções cognitivas críticas, com impacto relevante no processo de tomada de decisão durante a realização das tarefas de controle e monitoração do processo. Mapear as fragilidades na execução dos serviços e identificar possíveis falhas humanas, contribui para a melhoria do desempenho humano. Dessa forma, a utilização de um instrumento que identifique o provável modo de desempenho humano, os fatores que afetam o desempenho humano e analise as principais funções cognitivas críticas, constitui um avanço em vários setores industriais, principalmente no setor offshore. Nesse contexto a aplicação de uma estrutura metodológica baseada em uma técnica de segunda geração de Análise da Confiabilidade Humana (ACH), *CREAM* (*Cognitive Reliability Method*), é uma ferramenta útil e aplicada para uma pesquisa empírica descritiva em um cenário industrial offshore, plataforma *FPSO*, processo de tratamento de óleo e efluentes líquidos. Os resultados obtidos mostram que os operadores desempenham suas ações durante o tratamento de efluentes no modo tácito, com 55,56% de demandas cognitivas nas funções cognitivas interpretação e planejamento, que correspondem ao processo de tomada de decisão realizado pelos trabalhadores.

Palavras chave: Confiabilidade Humana; Tomada de decisão; Demanda Cognitiva.

ABSTRACT

The oil production in Brazil occurs predominantly in areas such as Flotation, Production, Storage and Transfer (FPSO). Treatments of units that perform processes associated with the treatment of the oil and its liquid effluent. The treatment of effluent is connected in the phase on the largest number of operational maneuvers, having been further delayed in the complexity of the process and number of human actions. These activities require critical cognitive functions, with a relevant impact on the decision-making process during the process control and monitoring tasks. Mapping the weaknesses in the execution and removal of human failures, contribute to the improvement of human performance. Thus, the use of an instrument that identifies the mode of human performance, the factors that affect human performance and the analysis as the main cognitive functions, is one of the main industrial indicators, mainly in the offshore sector. This is a performance analysis tool based on a Human Reliability (ACH) knowledge generation technique, CREAM (Cognitive Reliability Method), is a useful and applied tool for descriptive empirical research in an offshore industrial scenario, FPSO platform , process of treatment of liquid oil and effluent. The results show that the operators perform their actions during the treatment of effluents in the tacit mode, with 55.56% of cognitive demands in the cognitive functions interpretation and planning, which correspond to the process of decision making carried out by the workers.

Keywords: *Human Reliability; Decision making; Cognitive Demand*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de petróleo ocorre em Unidades Marítimas de Produção (UMP), principalmente nas oriundas de navios adaptados na forma de *FPSO* (*Floating, Production, Storage and Offloading*), plataformas fixas (PF) e Semissubmersíveis (SS). Dessas, há um predomínio dos *FPSO* devido à realização do tratamento primário completo do petróleo em uma única instalação (SILVA, 2007).

A figura 1 um ilustra de forma simplificada, a interligação entre a plataforma do tipo *FPSO*, os poços de produção, a plataforma do tipo SS e a plataforma fixa (PF). O *FPSO* e a SS enviam seu gás para a PF. A SS envia o óleo para o *FPSO* e quando este atinge sua capacidade, um navio

cargueiro acopla para a transferência de óleo.

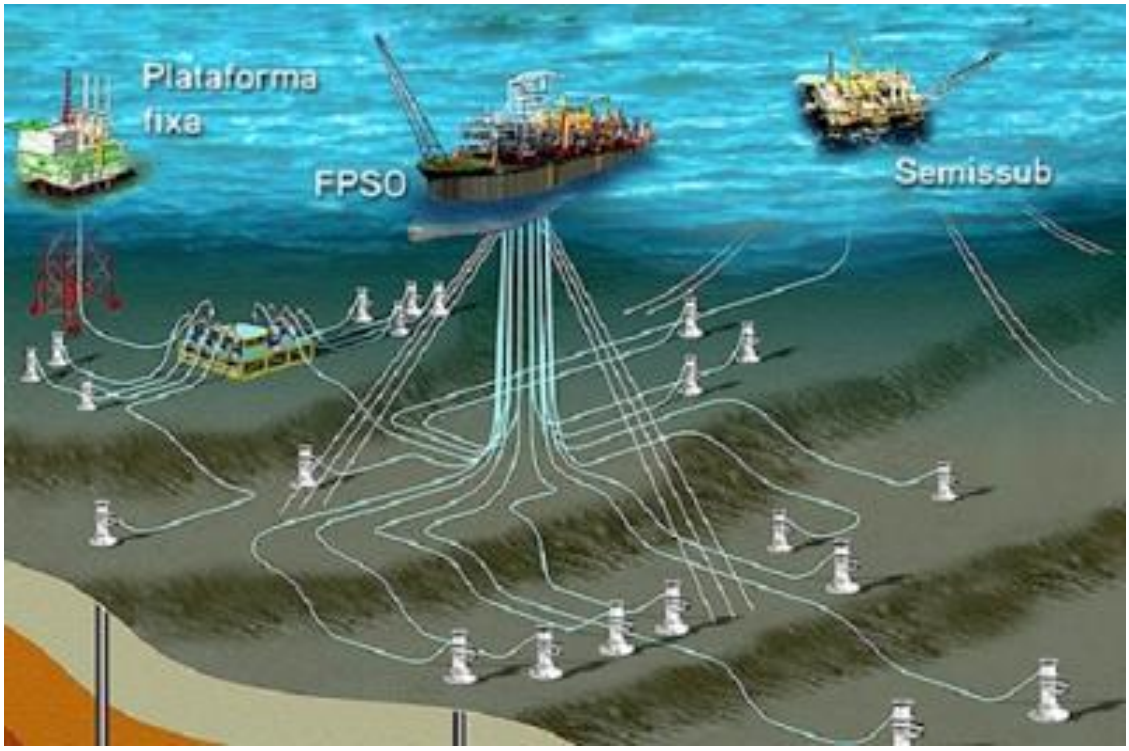

Figura 1- Tipos de plataformas. Fonte: Google imagens

As SS não tratam o óleo, ou seja, apenas produzem e transferem para outras unidades, normalmente para um *FSO* (*Floating Storage and Offloading*) ou um *FPSO*. Os *FPSO* realizam todas as operações de produção (OP), isto é, todo o tratamento primário do petróleo e por consequência do efluente líquido oriundo do processo. Os *FSO* não estão interligados a poços produtores como as PF, as SS e os FPSO, assim tratam, armazenam e não produzem (PETROBRAS, 2018).

Um *FPSO* que recebe óleo de uma SS possui a capacidade de produção média de 20.000 metros cúbicos por dia ($m^3.dia^{-1}$) de óleo e 3.000.000 $m^3.dia^{-1}$ de gás, desse jeito, essa plataforma está interligada a duas UMP (a SS e a PF para onde envia o gás) e aos seus poços produtores. O óleo é escoado através de transferência para navios cargueiros (ANP, 2018).

As operações de produção seguem procedimentos minuciosos e, em um *FPSO* são realizadas por um grupo de trabalho especializado formado por um coordenador de produção (coprod), um supervisor de produção (suprod), um técnico de operação (TO) da Sala de Controle (P1), um TO do Tratamento de Gás (P2), dois TO do Tratamento de Óleo (P3) e um TO da Chegada de Óleo e Dosagem Química (P4) (PETROBRAS, 2018).

As operações de produção retratam um panorama intrinsecamente associado às capacidades

cognitivas dos profissionais que as realizam. Todo o processo é acompanhado por Interfaces Homem-Máquina de Controle e monitoramento do Processo (IHM). As IHM possibilitam intervir em todas as áreas do processo, sendo distribuídas na P1 e no controle de meia nau (CMN). Na P1 encontram- se quatro IHM: uma dedicada ao monitoramento dos poços, uma à chegada do óleo, uma ao tratamento do óleo e da água e uma ao tratamento do gás (LEOCÁDIO, 2003).

Os processos produtivos realizados em unidades interligadas agravam potencialmente a complexidade das operações, como no caso de um *FPSO* que recebe óleo de uma SS e exporta gás para uma PF. Fatos históricos demonstram que acidentes nessa indústria, como o incêndio da *Piper Alpha* e o naufrágio da P-36, têm sua origem fortemente inclinada à influência humana (SICILIANO; FERRAZ 2010).

O objetivo principal desse trabalho é identificar o modo de desempenho humano durante a realização das tarefas de controle e monitoração do processo de tratamento de óleo e efluentes líquidos, analisando as funções cognitivas críticas envolvidas no processo de tomada de decisão. A metodologia utilizada é estruturada em cinco etapas do Método CREAM: descrição do processo, descrição das fases de operação, escolha da fase mais crítica, apresentação da complexidade da fase, identificação do modo de desempenho dos atores envolvidos e identificação das funções cognitivas que tornam o processo de tomada de decisão relevante.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O êxito de uma pesquisa é norteado em procedimentos estruturados que validem o projeto, para isso, estabelecer o nível de atuação, delinear o objeto de estudo e a metodologia empregada são fatores primais (GIL, 2002). Nesse ínterim, a revisão da literatura serve como o arcabouço teórico para evidenciar conceitos correlacionados ao contexto de forma a identificar os fatores que afetam o desempenho humano.

2.1. Erro Humano

O erro humano relaciona- se com todas as situações nas quais, uma sequência de atividades, mentais ou físicas, falha em atingir o resultado desejado de origem diversa ao acaso. Eles podem ser classificados como erros de decisão (oriundos de um comportamento intencional, mas inadequado para a situação), habilidade (associados a falhas de memória ou atenção) e percepção (concatena a

discrepância entre percepção de um indivíduo e a realidade) (SWAIN; GUTTMAN, 1983; REASON, 1994).

A mitigação dos erros humanos é baseada na identificação de fatores internos e externos que influem seu desempenho. Fatores internos relacionam-se a elementos cognitivos, a saúde, condição física, motivação e cultura do trabalhador. Fatores externos interligam- se as tarefas a serem executadas pelos equipamentos, trabalhadores, procedimentos, questões ambientais, interfaces, rodízio de turnos, estrutura organizacional e ações desenvolvidas por supervisores. (LUQUETTI et al, 2008).

2.2. Confiabilidade Humana

A confiabilidade humana relaciona-se à probabilidade de sucesso de uma tarefa realizada por um agente, em determinada fase de operação, em um período de tempo mínimo exigido. Por sua vez, a análise de confiabilidade humana (ACH) serve para estimar a possibilidade de falha humana, sendo um instrumento que visa otimizar as tarefas realizadas por indivíduos, fornecendo informações e reconhecendo as situações críticas que contribuem no rendimento humano (MEISTER, 1976; SANTOS 2008).

Acidentes pessoais, produtivos e ambientais são oriundos das incompatibilidades presentes nas condições compulsórias ao trabalho e às limitações humanas. Diante disso, o julgamento das condições que impactam no desempenho e na observação da execução das manobras em um sistema, são fatores críticos para uma ACH. As condições que interferem no desempenho humano são agrupadas em fatores operacionais ou relativos ao sistema, de projeto, pessoais, ambientais e intrínsecos à tarefa (KANTOWITZ; SORKIN, 1983; DROGUETT; MENEZES, 2007).

O aprimoramento do desempenho humano ocorre mediante a prática e exposição a situações, assim a minimização da possibilidade da ocorrência do erro é alcançada com o uso de estratégias específicas a cada modo de desempenho. Dessa forma, pode- se afirmar que os modos de desempenho humano são baseados nas habilidades (MDH), nas regras e no conhecimento (RASMUSSEN, 1987).

A identificação das etapas críticas, o aprimoramento das práticas de supervisão, a apreciação de etapas anteriores ao seguimento de um procedimento, a elaboração de planejamentos

refinados, a eliminação de tensões dispensáveis e o aperfeiçoamento da experiência são fatores cruciais para os modos de desempenho humanos baseados nas habilidades (RASMUSSEN, 1987).

O MDR baseia-se na simplificação dos procedimentos, na erradicação de erros nos manuais técnicos, no aprimoramento do conhecimento em torno dos procedimentos e na prática da verbalização das intenções e experiências. Já os modos de desempenho humanos baseados no conhecimento focam na intensificação do uso de sistemas amigáveis, na realização de serviços em equipes baseado na cooperação mútua e comunicação eficiente e no uso de todo o conhecimento adquirido sobre os sistemas (RASMUSSEN, 1987).

2.3. Métodos de análise de confiabilidade humana

A forma de quantificar a confiabilidade humana embasa-se na aplicação de técnicas de estimativa. Pode-se entender que métodos de análise de confiabilidade são procedimentos de investigação que mensuram a credibilidade das ações dos indivíduos e são classificados em Métodos de Primeira Geração e Métodos de Segunda Geração (HOLLNAGEL, 1998).

2.3.1. Métodos de Primeira Geração

Métodos de Primeira Geração são estratégias metodológicas orientadas na presunção da modelagem das ações humanas de forma análoga as máquinas. O *Technique for Human Error Rate Prediction* (*THERP*) é considerado o principal MPB, mas também podemos citar técnicas como o *Success Likelihood Index Method/Mult-Atribbute Utility Decomposition* (*SLIM/MAUD*), o *Accident Investigation and Analysis* (*AIPA*), *Operator Action Tree* (*OAT*), dentre outras (HOLLNAGEL, 1998).

2.3.2. Métodos de Segunda Geração

Os Métodos de Segunda Geração (MSG) são estruturas metodológicas de ACH orientadas por aspectos dos sistemas cognitivos como fatores organizacionais, níveis de decisão, processos de diagnóstico e conhecimento são conhecidos como métodos de segunda geração (HOLLNAGEL, 1998).

Os MSG surgiram da necessidade de ponderar a influência dos fatores cognitivos na realização de tarefas. Inserido nessa geração metodológica o *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (*CREAM*) tem por objetivo a análise de eventos de forma a estabelecer uma relação sóciotécnica em função de causas individuais, tecnológicas e organizacionais (HOLLNAGEL, 1998).

O *CREAM* caracteriza-se pela identificação das ações humanas passivas às oscilações cognitivas, a especificação das mudanças necessárias para aumentar a confiabilidade humana, a determinação e avaliação da influência do desempenho humano (HOLLNAGEL, 1998).

Esse método é subdividido em básico e estendido. O básico almeja construir a prossecução do evento, avaliar as premissas do desempenho humano e determinar os modos de controle, e o estendido estabelece o padrão das demandas cognitivas, identifica as prováveis falhas das funções cognitivas e determina a probabilidade da ocorrência do erro nas funções cognitivas (HOLLNAGEL, 1998).

O *CREAM* usa dois níveis de controle dos indivíduos que executam as ações, o Modelo Simples de Cognição (*Simples Model of Cogntion - SMoC*) e o Modelo de Controle Contextual (*Contextual Control Model-COCOM*). O *SmoC* observa a natureza cíclica da ação cognitiva e a distinção entre observação e inferência. O *COCOM* é dividido em desordenado, oportunista, tácito e estratégico (HOLLNAGEL, 1998).

No controle desordenado a seleção das ações é aleatória com mínima ponderação a respeito da situação de perigo. No oportunista a seleção das ações são ineficientes devido a restrição do tempo disponível ou dificuldade de compreensão do contexto. No tácito a restrição envolve o planejamento, enquanto no estratégico retrata a situação desejada de controle (HOLLNAGEL, 1998).

O desempenho humano é caracterizado através desses quatro modos de controle. Por sua vez, os modos de controle são estabelecidos por um conjunto de fatores chamados de Condições Comuns de Desempenho (CCD). As CCD são denominadas como adequação da organização, condições de trabalho; adequação das interfaces e suporte operacional disponibilidade dos procedimentos, número de objetivos simultâneos, tempo disponível, ritmo circadiano, qualidade da colaboração do grupo e adequação do treinamento e experiência (HOLLNAGEL, 1998).

No Quadro 1 pode-se notar que a observação e a execução não recebem destaque quando comparadas a interpretação e o planejamento, isso pelo fato das demandas cognitivas serem definidas pelas colunas centrais (HOLLNAGEL, 1998).

Quadro 1 - Atividade Cognitiva e Função Cognitiva. Fonte: Hollnagel 1998 Adaptado

	Função Cognitiva			
Atividade Cognitiva	**Observação**	**Interpretação**	**Planejamento**	**Execução**
Coordenar			x	x
Comunicar				x
Comparar		x		
Diagnosticar		x	x	
Avaliar		x	x	
Executar				x
Identificar		x		
Manter			x	x
Monitorar	x	x		
Observar	x			
Planejar			x	
Gravar		x		x
Regular	x			x
Revisar	x			
Verificar	x	x		

3. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa pode ser dividida em nível, método e delineamento. No que concerne ao nível, inicialmente a pesquisa teve um caráter exploratório por objetivar fornecer uma visão a cerca de um fato pouco explorado e à medida que buscou narrar os processos observados, ainda no âmbito do nível, a pesquisa assumiu características descritivas (GIL, 2002; SILVA NETO, 2012).

No que tange ao método, concerne a sequência lógica na execução do estudo de caso. Esse trabalho se estrutura na aplicação de cinco fases de um método de segunda geração de análise da confiabilidade humana, o *CREAM*. A escolha da metodologia fundamenta-se na importância das atividades cognitivas na execução da atividade no processo industrial em questão (GIL, 2002; LUQUETTI SANTOS et. al., 2009).

As fases da estrutura metodológica aplicada são:

- **Fase 1:** Descrever o processo escolhido e as principais fases de operação;
- **Fase 2:** Descrever para cada fase de operação do processo escolhido as principais ações realizadas e as principais atividades cognitivas dos atores envolvidos;
- **Fase 3:** Escolher a fase mais crítica na operação da produção de petróleo;
- **Fase 4:** Identificar o modo de desempenho dos atores envolvidos na fase crítica;
- **Fase 5:** Identificar as funções cognitivas na fase mais crítica da operação;

No âmbito do delineamento, o estudo de caso representa uma estratégia adequada quando se pondera questões do tipo "como" e "por que", quando o pesquisador tem pouco controle em relação aos eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos em contexto real. O estudo de caso é complementado com dois tipos "explanatónos", os estudos "exploratórios" e "descritivos" (Yin, 2001).

Ainda em relação ao delineamento, a pesquisa bibliográfica objetiva estabelecer um arcabouço teórico através de consultas a livros, artigos técnicos, periódicos especializados, bem como documental em uma empresa petrolífera de atuação no cenário nacional e respectiva agência reguladora. A revisão da literatura visa fornecer suporte à pesquisa, explicitando os principais conceitos, as metodologias de ACH e suas aplicações, dados técnicos e procedimentos do processo em análise.

No caso deste trabalho, em função da pouca exploração em torno das operações de produção e tratamento de petróleo em *FPSO*, fez-se necessário realizar uma pesquisa de campo em uma UMP, bem como entrevistas com os profissionais do setor, no sentido de se identificar as demandas cognitivas desenvolvidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um entendimento adequado do processo é importante descrever a atuação dos atores envolvidos de acordo com a distribuição de tarefas realizadas no *FPSO* e a divisão do processo conforme identificado na UMP e explicitado a seguir como:

- Chegada do óleo ou P4;
- Tratamento do óleo e da água ou P3;
- Tratamento do gás ou P2;
- Sala de controle de produção ou P1;

O técnico de operação da P1 (TOP1) monitora os processos da P2, P3 e P4, centraliza a comunicação interna e auxilia o supervisor de produção (suprod) na comunicação entre o *FPSO*, a SS (plataforma semi submersível) e a PF (plataforma fixa). O monitoramento dos parâmetros e controle da produção é intermediado via quatro Interfaces Homem-Máquina de Controle do Processo (IHM).

O técnico de operação da P2 (TOP2) monitora e intervém no processo de retirada de condensado, compressão, desidratação e exportação do gás. As principais operações do TOP2 concentram- se em quatro IHM dedicadas e exclusivas aos compressores, três turbocompressores (TC) e um motor compressor (MC). O condensado retirado do gás é direcionado aos pré aquecedores para descarte posterior.

Os dois técnicos de operações da P3 (TOP3) são responsáveis pela monitoração e intervenção do tratamento do óleo e da água produzida. O monitoramento e algumas manobras são auxiliadas por meio de uma IHM. Nessa área há a possibilidade de ocorrer o maior quantitativo de manobras simultâneas que envolvem profissionais como técnicos de instrumentação, elétrica, caldeiraria, movimentação de cargas e mecânica.

O técnico de operação da P4 (TOP4) é encarregado das manobras de chegada de produção, dosagem e abastecimento de produtos químicos. O coordenador de produção (coprod) é responsável pela equipe de operações de produção (OP), pelo planejamento de serviços e comunicação entre UMP. Ao suprod é atribuído o acompanhamento de manobras críticas, elaboração de procedimentos e a comunicação entre setores internos do FPSO.

A figura 2 ilustra telas da IHM do motor compressor com uma tela que relaciona o efeito de determinados alarmes, um esquemático da sequência do processo de compressão, uma tela de comando e uma foto do painel do motor compressor e dos três IHM dos turbocompressores.

Figura 2- Ilustração das telas das IHM e abaixo à direita imagem do painel das IHM. Fonte: Autor

4.1. Descrição do processo escolhido e das principais etapas de operação

O óleo oriundo dos poços explorados pelo *FPSO* é tratado na planta de processo (PP) a boreste da embarcação por dois separadores trifásicos (ST), dois separadores bifásicos (SB), dois separadores atmosféricos e quatro hidrociclones (HC). O óleo da SS é tratado, exceto pelo separador atmosférico (SA), pelos mesmos tipos de aparelhos.

O tratamento do óleo inicia na sua chegada à plataforma na P4, em tubulações individualizadas que viabilizam a injeção de desemulsificantes no óleo de cada UMP, de forma que

proporcione a existência de um sistema dedicado a SS e outro ao *FPSO*, sendo duas bombas elétricas dedicadas a cada uma dessas plataformas.

Na tubulação que interliga o tanque de desemulsificante à sucção de cada bomba elétrica de injeção há uma proveta calibrada e um cronômetro. Quando precisa- se identificar a injeção de produto químico das bomba, fecha- se a válvula de saída de produto do tanque e abre-se a válvulva de saída de desemulsificante da proveta. Após essa manobra, marca-se o tempo que a bomba leva para injetar o volume.

As bombas de injeção de produto químico possuem um sistema de controle da rotação do motor que possibilita aumentar ou reduzir a injeção realizada pelo equipamento. No caso da inoperância desse sistema é realizada a substituição da bomba pela sobressalente. A dosagem de desemulsificante na SS é análoga a do *FPSO*, sendo solicitada através de ligação telefônica realizada entre as salas de controle das UMP.

O desemulsificante dosado na Chegada do Óleo (P4) auxilia na separação da água e do óleo e necessita de curto tempo para atuação. O óleo, após a chegada, é encaminhado aos pré aquecedores, onde é exposto a carga térmica tem sua temperatura elevada, situação que intensifica a ação do produto químico, que por sua vez, será potencializada novamente com o aumento da temperatura nos aquecedores.

Os pré aquecedores e os aquecedores são automatizados e controlados pelas as IHM. Depois de aquecido, o óleo é encaminhado para o separador trifásico (ST) onde o gás e a água são separados. O gás sairá do equipamento pela parte superior do vaso, enquanto a água, segregada pela atuação do desemulsificante, é separada do óleo em uma câmara específica no interior do equipamento, de forma que o óleo é direcionado para o SB e a água para o hidriciclone.

Na entrada e na saída de fluidos de cada equipamento há válvulas automáticas que atuam completamente abertas ou completamente fechadas. Os ST e os SB além dessas válvulas possuem em suas saídas de água, uma válvula de controle de nível que modula sua abertura para o controle do fluxo de saída de água.

Ao sair do ST o óleo ainda possui água emulsionada, devido a isso, é direcionado ao SB onde será exposto à cargas elétricas que quebram a emulsão. A água separada é direcionada para o HC retirar os resíduos de óleo presente. Vale ressaltar que cada ST e SB está interligado a um HC exclusivo e dedicado.

Os resíduos sólidos presentes no óleo tendem a acumular no fundo dos ST e SB. Com o transcorrer do tempo, devido o acúmulo de particulas sólidas é necessário retirar esse resíduo do interior do vaso. A retirada das partículas sólidas exige a parada e bloqueio do equipamento. Essa operação envolve a participação de várias equipes.

O coprod é responsável por realizar o planejamento da manobra e o suprod fica encarregado de supervisão das equipes no campo de atuação. Os TOP3 realizam o fechamento de todas as válvulas de entrada e saída do equipamento. Em seguida realizam a drenagem de todo o fluido e depois a lavagem do interior do vaso. Após a lavagem é aberto um ponto de acesso ao interior do vaso para medição da atmosfera gasosa pelo técnico de segurança (TS) do trabalho.

A lavagem do interior do vaso será realizada até que o interior do equipamento encontre- se isento de gás tóxico. Após a liberação do TS, a equipe de calderaria inicia a abertura do equipamento. Devido às dimensões da tampa, a mesma é suportada por um sistema de guincho ou pelo guindaste da unidade.

Após a abertura do equipamento o técnico de segurança faz nova medição para permitir a entrada de profissionais no vaso. Quando o equipamento é aberto o resíduo sólido é retirado e aproveita- se a oportunidade para realizar a manutenção nos internos do equipamento como placas defletoras, placas elétricas, entre outras.

A liberação do serviço nessa área é realizada pelos TOP3. Na necessidade de intervir em mais de um equipamento, o mesmo procedimento de liberação de equipamento é realizada pelos TOP3 e TS. Após a abertura do primeiro, a equipe de movimentação de cargas e calderaria direcionam-se para o próximo equipamento, enquanto os outros profissionais adentram no interior do primeiro.

Uma vez aberto o segundo equipamento, uma segunda equipe de profissionais é direcionada para realizar as tarefas no interior desse equipamento. Havendo mais equipamentos para serem manutenidos, as intervenções ocorrem de acordo com a mão de obra disponível para a tarefa. Terminada a intervenção, o equipamento é fechado, as válvulas são abertas, é verificado se há vazamentos de fluidos e não havendo, o equipamento é posto em operação.

Prosseguindo com o caminho do óleo, após retirada toda a água no SB resta direcionar o fluido para o separador atmosférico (SA) onde o gás residual com baixa pressão será retirado e direcionado ao Motor Compressor(MC). O óleo isento de gás e água é enviado ao tanque do navio para futura transferência para navios transportadores.

A figura 3 ilustra as estruturas responsáveis pela separação do óleo da água através da indução de um efeito ciclone no líquido que culmina na separação de fases por diferença de densidade. Essas estruturas são os *liners* dos hidrociclones.

Figura 3: Ilustração de um liner à esquerda e à direita liners de um hidrociclone em um FPSO. Fonte: Silva et al, 2007 e Autor

Cada HC possui uma válvula manual na entrada e na saída do equipamento que isola todos os *liners* de uma vez. Além dessas válvulas manuais, há em cada *liner* válvulas manuais na entrada de água, na saída de água, na saída de rejeito e no *by pass* da entrada de água. Quando em operação, o *liner* fica com a válvula manual do *by pass* da entrada de água fechada e todas as demais abertas.

A existência dessas válvulas manuais nos *liners* possibilita a retirada individual deles sem a necessidade de parar o equipamento completamente. Na necessidade de intervenção no equipamento por completo são fechadas as válvulas manuais da entrada geral e da saída do equipamento, assim como as válvulas dos rejeitos de óleo a as válvulas automáticas de saída do respectivo separador. No caso de substituição do HC, a equipe de calderaria desconecta as tubulações do equipamento e o guindaste retira o equipamento inteiro.

A figura 4 ilustra dois conjuntos de hidrociclones verticais e suas respectivas válvulas manuais utilizadas nas intervenções dos técnicos de operações do tratamento de óleo e água.

Figura 4: Hidrociclone vertical em um FPSO. Fonte: Autor

A água de produção que sai dos HC possui teor de óleo e graxa (TOG) inferiores a 20 partes por milhão (ppm). Esse efluente é encaminhado para o vaso degaseificador para retirar os resíduos de gases presente e possiveis residuos de óleo. Os rejeitos oleosos são reaproveitados no sistema com seu direcionamento aos pré aquecedores.

No interior do vaso degaseificador (degaser) há uma câmara interna onde o residual de óleo é segregado. Deste vaso, a água é encaminhada para o descarte no mar e reinjeção, mas antes passa por dois analisadores de TOG. A figura 5 ilustra um analisador de TOG em funcionamento em um *FPSO* no momento em que ele registra que a água está marcando 28 ppm.

O tratamento do óleo é controlado pelas IHM, por sua vez,o tratamento da água é semiautomatizado, fato que aumenta a incidência de intervenções, assim como contribuem, a desregulagem de injeção química, o balanço da unidade e obstrução de *liners* do HC.

Figura 5: Analisador de TOG em um FPSO. Fonte: Autor

Os hidrociclones, o degaseificador e a saída dos analisadores de TOG possuem pontos de coleta de água em suas entradas e nas suas saídas, de forma que possibilite uma análise visual do fluido e identificação do equipamento ineficiente através dos TOP3 e assim definir o equipamento a sofrer possível intervenção.

O tratamento da água recebe uma atenção diferenciada devido a criticidade e o potencial de agressão ao Meio Ambiente pelo despejo no mar, com isso, fica submetido a acompanhamento contínuo do TOG. Em decorrência das variações do fluxo de óleo devido as golfadas dos poços é necessário realizar ajustes de vazão nos HC intervindo no número de *liners* em funcionamento.

O balanço da unidade interfere no tratamento do óleo e da água uma vez que miscigena as fases óleo e água fazendo com que vá mais óleo para o HC do que sua capacidade de tratamento, além de suspender as partículas sólidas depositadas no fundo dos ST e dos SB. Essas particulas em suspensão acabam sendo encaminhadas para os HC o que provoca obstrução dos *liners*.

Os instrumentos analisadores (AI) on line de TOG encontrados na saída do degaser não só detectam particulas de óleo como também particulas sólidas. Quando a água de produção registra valores superiores a 29 ppm, um comando automático é dado às bombas de reinjeção e as válvulas automáticas de saída de água dos ST e dos SB.

No que tange ao gás, ou seja a P2, ele é classificado como de baixa e de alta pressão. O gás de baixa é aquele o oriundo do SA com pressão inferior a 8 $kgf.cm^{-2}$ (quilograma força por centímetro quadrado) que será comprimido pelo MC e o de alta tem pressão igual ou superior 8 $kgf.cm^{-2}$. Corresponde ao gás do ST e da descarga do MC que após ser comprimido pelo TC atinge 170 $kgf.cm^{-2}$ e é exportado ou injetado.

O gás antes de ser comprimido pelo MC e pelo TC é direcionado a um resfriador e em seguida para um vaso decantador onde deixará condensado e este encaminhado para os pré aquecedores. O processo de controle e manobras na P2 é realizado por comandos automáticos através das IHM. Cada TC e o MC possuem uma IHM exclusiva para sua operação como pode ser observado na figura 2. A separação de condensado do gás é controlada pela mesma IHM de controle dos demais processos de produção.

As operações na P1 são baseadas no acompanhamento e no monitoramento do processo por intermedio das IHM. Além disso, ocorre a centralização da comunicação das OP e a mediação entre a comunicação produção e com demais setores internos da unidade, o planejamento das manobras e operações pelo Suprod e Coprod.

4.2. Descrição das ações realizadas e atividades cognitivas

4.2.1. Principais atividades realizadas na Área P4 (Chegada do óleo)

A principais atividades são: calibração de bombas de injeção, ajuste na dosagem e abastecimento dos tanques de produtos químicos. A calibração e o ajuste decorrem da atuação de fatores como a vibração natural da plataforma e dos equipamentos, a intensidade da golfada dos poços, descalibração ou defeitos das bombas. O ator envolvido é o TOP4. As principais atividades cognitivas x CCD são:

- Identificar – Averiguar a injeção adequada de produto químico pelas bombas elétricas e o nível dos tanques de produtos químicos. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação das interfaces e dos sistemas de suporte, como equipamentos sobressalentes para substituição de equipamento danificado.
- Regular – Alterar a vazão de injeção das bombas de produtos químicos. Dessa forma, a precisão do operador na calibração é definida pelo fator adequação de treinamentos para antecipar alguma ação necessária.

- Executar – Realizar o abastecimento ou substituição de equipamento. O fator que interfere no desempenho é a adequação de treinamento para realização das tarefas.

4.2.2. Atividades realizadas na Área P3 (Tratamento do óleo e da água)

4.2.2.1. Ajuste da vazão dos HC (hidrociclones)

No ajuste de vazão dos HC os atores envolvidos são os dois TOP3. As principais atividades cognitivas x CCD são:

- Identificar – Averiguar o equipamento que está operando de maneira indesejável. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação das interfaces e dos sistemas de suporte (disponibilidade dos pontos de coletas individualizados operacionais).
- Regular – Alterar os parâmetros operacionais do equipamento ineficiente, como isolar um *liner* do HC. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação de treinamento (preparação do profissional para mensurar uma vazão mínima de fluido de maneira que não resulte em uma parada do sistema).
- Avaliar – Inspecionar se os resultados obtidos foram suficientes para a continuidade operacional. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a disponibilidade de tempo (em algumas oportunidades, o tempo de espera é superior ao disponível devido à iminência da poluição marinha).

4.2.2.2. Desobstrução de liners de um HC

Na desobstrução de liners de até um HC de cada PP os atores envolvidos são os TOP3, Suprod e o TOP1. As principais atividades cognitivas x CCD são:

- Revisar – Solicitar acompanhamento do suprod para confirmar se as manobras simultâneas realizadas foram corretas. Os fatores que afetam esse desempenho são a disponibilidade de tempo (dinamismo das operações perante o tempo previsto e disponível para realização das tarefas) e adequação de treinamento (capacidade dos profissionais em identificar eventos que passam despercebidos pelos envolvidos).
- Diagnosticar – Averiguar os equipamentos que causam o descontrole operacional. Os fatores que afetam o desempenho desta atividade são a disponibilidade de procedimentos (procedimentos de boa qualidade e acessíveis padronizam manobras simultâneas e reduzem a margem de

interpretação distinta) e a adequação de treinamentos (favorece o diagnóstico célere e a execução síncrona).

- Comunicar – Necessidade de troca de informações constante entre os TOP3 em PP distintas intermediada pelo suprod. O TOP1 deve monitorar a P3 e atualizar constantemente o suprod sobre eventual mudança do cenário. Os fatores que afetam o desempenho são a adequação da organização (o suprod deve ser claro na comunicação para garantir sucesso da operação, pois os TOP3 sabem o que executar, mas não o momento por estarem fora do campo de visão), a colaboração da equipe (o TOP1, os TOP3 e o suprod devem atuar conjuntamente), a adequação das interfaces e sistemas de suporte (disponibilidade de aparelhos de comunicação) e a condição de trabalho (o ruído do local pode impactar na clareza da comunicação).

4.2.2.3. Desobstrução de liners de dois ou mais HC ou equipamentos maiores

Na desobstrução simultânea em dois ou mais HC da mesma planta de processo ou na intervenção em um ou mais ST, SB ou na intervenção do degaseificador resulta na redução brusca da produção de uma das UMP pode gerar a parada de produção por pressão alta no sistema. Os atores envolvidos serão o coprod, o suprod, o TOP1, os dois TOP3, o TOP4, o coprod da SS, o técnico de segurança (TS), os técnico de movimentação de cargas (TMC) e os técnicos de calderaria. Tem- se as seguintes atividades cognitivas x CCD:

- Planejar – O coprod irá definir o procedimento a ser seguido nas atividades e tomar ações preventivas para obter o resultado esperado, uma vez que implica no mínimo a redução de 50% da produção de uma das UMP. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a disponibilidade de procedimentos (procedimentos e estudos adequados e atualizados) e a disponibilidade de tempo (no planejamento das tarefas).
- Avaliar – O suprod e o TS devem certificar no campo se haverá ou não a necessidade de uma mudança no aproamento da embarcação para que não ocorra impactos nas operações com guinchos ou guindaste. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação da organização (necessidade de boletins meteorológicos e previsão do índice de balanço da unidade).
- Comunicar – O coprod deve informar à SS a redução da capacidade de tratamento para não gerar descontrole operacional na mesma pelo aumento repentino de pressão. O TOP4 deverá reduzir a injeção de produto químico conforme solicitação do suprod na proporção da quantidade de

equipamentos fora de operação. Os TOP3 devem orientar os técnicos de calderaria e movimentação de carga das manobras realizadas.

Os fatores que afetam o desempenho são a colaboração da equipe (profissionais de especialidades distintas devem realizar tarefas simultaneamente de forma que não inviabilize a ação dos demais envolvidos), a adequação das interfaces e sistemas de suporte (a área de realização do serviço é extensa devendo-se utilizar aparelhos de comunicação) e condições de trabalho (o ambiente de serviço está sujeito ao ruído local o que pode impactar na clareza da comunicação).

- Diagnosticar – O TS e o suprod deveram certificar-se das condições de segurança antes do início e durante o andamento das manobras que visam o retorno à operação dos equipamentos. Os TOP3 devem diagnosticar os equipamentos e os tipos de intervenções a serem realizadas. Os fatores que afetam o desempenho são a disponibilidade de procedimentos (procedimentos acessíveis e bem elaborados auxiliam a realização das tarefas) e adequação a treinamentos (a experiência dos profissionais impacta no diagnóstico de problemas).
- Executar – Cada especialista realiza sua parte do planejamento do coprod. Os fatores que interferem no desempenho são a adequação de treinamento (vivência de situações similares auxilia na realização), o ritmo circadiano (tarefas perduram turnos seguidos) e a colaboração da equipe (equipes executando tarefas complementares).
- Monitorar – O suprod e os TOP3 devem vistoriar a conformidade da execução do que foi planejado. Os fatores que atingem o desempenho são o número de objetivos simultâneos (várias atividades são realizadas por profissionais diversos em tarefas que se comunicam) e adequação das interfaces e sistemas de suporte (rádios).

4.2.2.4. Retorno à operação de múltiplos equipamentos ou um equipamento de maior porte

Retorno de dois HC da mesma PP, um ou mais ST ou SB e vaso degaseificador. Os atores envolvidos serão o coprod, o suprod, o TOP1, os TOP3s , o TOP4, coprod da SS, técnico de segurança (TS), técnico de movimentação de cargas (TMC) e técnicos de calderaria. Observa- se as seguintes atividades cognitivas x CCD:

- Avaliar – Cada técnico que interveio em um determinado equipamento, acompanhado do suprod ou de um dos TOP3 deve certificar-se das manobras realizadas de acordo com o delimitado pelo planejamento do coprod. O fator que influencia o desempenho desta atividade é a

disponibilidade de procedimentos (operações baseadas em procedimentos proporcionam celeridade e segurança às manobras).

- Verificar – Confirmar com os TOP3 se os comportamentos dos equipamentos estão condizentes com o esperado e se a operação dos mesmos pode continuar. O fator que afeta o desempenho é a colaboração da equipe (confiança na análise e no trabalho do outro) e a adequação de treinamento (a vivência de situações similares).
- Regular – Reestabelecer os parâmetros de calibração dos equipamentos que sofreram intervenção de forma a obter o resultado esperado. O fator que sensibiliza o desempenho é adequação ao treinamento (depende da expertise do profissional).
- Comunicar – Os TOP3 e suprod devem dialogar e atualizar os parâmetros ajustados nos equipamentos e informar ao TOP1. Os fatores que impactam o desempenho desta atividade são a colaboração da equipe (os envolvidos na execução devem informar suas contribuições no serviço para garantir a segurança nas manobras) e a adequação das interfaces e sistemas de suporte (aparelhos de comunicação operacionais).
- Manter – Estabelecer parâmetros que possibilitem a continuidade operacional com variações dentro de um espectro desejável. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação das interfaces e sistemas de suporte (equipamentos de tratamento operacionais).

4.2.3. Atividades realizadas na Área P2 (Tratamento do gás)

No controle operacional dos compressores o ator envolvido é o TOP2. Têm- se como atividades cognitivas x CCD :

- Monitorar – Vistoriar se os equipamentos estão operacionais e com parâmetros adequados. O fator que afeta o desempenho desta atividade é o número de objetivos simultâneos (observação concomitante de IHM e seus parâmetros), ritmo circadiano (serviço realizado em revezamento contínuo de turnos).
- Identificar – Averiguar se o equipamento está operando da forma planejada. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação de treinamento (necessita adequado arcabouço teórico para auxílio na identificação dos ajustes).

  Regular – Estabelecer parâmetros de calibração adequados a situação do momento. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação das interfaces e sistemas de suporte (disponibilidade e operacionalidade das IHM e aparelhos de comunicação para atualizar o TOP1 dos eventos ocorridos).

- Comunicar – O TOP2 deve atualizar as alterações de ajustes de parâmetros ao TOP1. Os fatores que sensibilizam o desempenho desta atividade são a adequação das interfaces e sistemas de suporte (comunicação via aparelho de rádio) e condições de trabalho (ambiente suscetível a ruído elevado).

4.2.4. Atividades realizadas na Área P1 (Sala de controle de produção)

Monitoramento das áreas de produção e comunicação entre setores. O ator envolvido é o TOP1, o suprod, o Coprod e técnicos de outros setores. O TOP1 monitora todo o processo e quando necessário aciona a participação do suprod na PP em alguma operação crítica e na requisição do auxílio de técnicos de outros setores no suporte das manobras. O coprod é acionado na necessidade de planejar intervenção mais elaborada e para interceder na comunicação entre UMP. Têm- se como atividades cognitivas x CCD :

- Monitorar – Vistoriar e acompanhar os parâmetros dos equipamentos. Os fatores que contristam o desempenho são o número de objetivos simultâneos (o TO observa várias IHM do processo de produção simultaneamente e no caso de algum hiato, este poderá ser verificado no histórico de registro de eventos do equipamento), o ritmo circadiano (tarefa executada em turnos) e adequação das interfaces e sistemas de suporte (necessita de aparelhos de comunicação e IHM operacionais).
- Identificar – Averiguar se os parâmetros do processo estão de acordo com a faixa desejável. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação de treinamentos (arcabouço de conhecimento e experiência para antever resultados do processo e solicitar a atuação do responsável pela tarefa).
- Regular – Realizar ajuste de parâmetros de processo e manobras nos poços de produção. O fator que afeta o desempenho desta atividade é a adequação das interfaces e sistemas de suporte (IHM operacionais e disponíveis) e a adequação de treinamento (familiaridade e experiência com as peculiaridades dos poços).
- Comunicar – Centralizar a comunicação das manobras operacionais, de forma a não haver sobreposição de informações ou hiato entre os dados. Os fatores que afetam o desempenho são a colaboração da equipe (comunicação interna e externa, mantendo as equipes informadas das atualizações de cenários) e a adequação das interfaces e sistemas (a disponibilidade das IHM e dos aparelhos para comunicação).

4.3. Escolha da fase mais crítica

A escolha da fase mais crítica é baseada no envolvimento da maior quantidade de atividades cognitivas x CCD realizadas para a execução do serviço, conforme pode ser observado no Quadro 2. Esse quantitativo será essencial para a mensuração da demanda cognitiva.

Quadro 2: Quantidade de atividades cognitivas no processo

Atividades cognitivas	**P4**	**P3**	**P2**	**P1**
Identificar	1	1	1	1
Regular	1	2	1	1
Executar	1	1		
Manter		1		
Monitorar		1	1	1
Revisar		1		
Diagnosticar		2		
Verificar		1		
Comunicar		3	1	1
Planejar		1		
Avaliar		3		

Como pode ser observado através do Quadro 2, a quantidade de atividades cognitivas observadas na P3 é muito superior as demais áreas e devido a isso, essa é a razão da análise ser feita nas manobras envolvendo essa fase do processo.

4.4. Identificação do modo de desempenho na fase crítica

Os modos de controle são determinados por um conjunto de fatores chamados de Condições Comuns de Desempenho (CCD) (HOLLNAGEL, 1998). De acordo com o que é observado no processo, avalia- se o CCD e o Quadro 3 relaciona os efeitos esperados para um determinado CCD em relação ao resultado da descrição das atividades cognitivas (HOLLNAGEL, 1998).

Quadro 3 – Fatores que estabelecem as CCD. Fonte: Hollnagel 1998 Adaptado

CCD	Descrição	Efeito esperado
Adequação da organização	Muito eficiente	Aumenta
	Eficiente	Não significante
	Ineficiente	Reduz
	Deficiente	Reduz
Condição de trabalho	Vantajoso	Aumenta
	Compatível	Não significante
	Incompatível	Reduz
Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Favorável	Aumenta
	Adequado	Não significante
	Tolerável	Não significante
	Inapropriado	Reduz
Disponibilidade de procedimentos	Apropriado	Aumenta
	Aceitável	Não significante
	Inapropriado	Reduz
Número de objetivos simultâneos	Menor do que a capacidade	Não significante
	De acordo com a capacidade	Não significante
	Maior do que a capacidade	Reduz
Tempo disponível	Adequado	Aumenta
	Temporariamente inadequado	Não significante
	Continuamente inadequado	Reduz
Ritmo circadiano	Ajustado	Não significante
	Desajustado	Reduz
Adequação de treinamento	Adequado, muita experiência	Aumenta
	Adequado, limitada experiência	Não significante
	Inadequado	Reduz
Colaboração da equipe	Muito eficiente	Aumenta
	Eficiente	Não significante
	Ineficiente	Não significante
	Deficiente	Reduz

As operações observadas ocorrem em UPM com cerca de 15 anos de produção, dessa forma, mesmo havendo o rodízio da equipe, as manobras encontram- se mapeadas e com isso, há existência de procedimentos que abrangem as tarefas contempladas. Também foi possível observar que as principais ferramentas necessárias para a execução das tarefas estavam disponíveis e operacionais.

Cada técnico de operação possui seu rádio de comunicação, assim como os aparelhos telefônicos para ligações internas e as IHM estavam todos operacionais. Diante do expostos, as CCD adequação das interfaces e sistemas de suporte, disponibilidade dos procedimentos são consideradas Apropriadas.

Baseado nos dados do Quadro 3 e nas informações descritas nas fases anteriores pode- se elaborar o Quadro 4 e o Quadro 5 com as análises dos fatores que estabelecem as CCD nas manobras realizadas na P3. É importante esclarecer a razão da avaliação dos CCD para que seja entendido com clareza.

Quadro 4: Análise dos fatores que estabelecem as CCD na P3.

Principais ações realizadas	**CCD**	**Avaliação dos CCD**	**Confiabilidade operacional**
Ajuste de vazão dos HC	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência	Não significante
	Disponibilidade de tempo	Temporariamente inadequada	Não significante
Desobstrução de um equipamento	Disponibilidade de tempo	Temporariamente inadequada	Não significante
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência	Não significante
	Adequação da organização	Eficiente	Não significante
	Disponibilidade dos procedimentos	Apropriado	Aumenta
	Colaboração da equipe	Eficiente	Não significante
	Condições de Trabalho	Compatível	Não significante
	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante

Quadro 5: Análise dos fatores que estabelecem as CCD na P3.

Principais ações realizadas	**CCD**	**Avaliação dos CCD**	**Confiabilidade operacional**
Desobstrução simultânea de vários equipamentos	Disponibilidade de tempo	Temporariamente inadequada	Não significante
	Disponibilidade de procedimentos	Apropriado	Aumenta
	Adequação da organização	Eficiente	Não significante
	Colaboração da equipe	Eficiente	Não significante
	Condições de Trabalho	Incompatível	Reduz
	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência.	Não significante
	Disponibilidade dos procedimentos	Apropriado	Aumenta
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência.	Não significante
	Ritmo circadiano	Desajustado	Reduz
	Colaboração da equipe	Eficiente	Não significante
	Número de objetivos simultâneos	Maior que a capacidade	Reduz
	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante
Retorno de equipamento	Disponibilidade de procedimentos	Apropriado	Aumenta
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência.	Não significante
	Colaboração da equipe	Eficiente	Não significante
	Adequação de treinamento	Adequado, limitada experiência.	Não significante
	Colaboração da equipe	Eficiente	Não significante
	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante
	Adequação das interfaces e sistemas de suporte	Adequado	Não significante

No Quadro 5 pode-se observar que os CCD condições de trabalho, ritmo circadiano e número de objetivos impactaram negativamente na análise. Em relação as condições de trabalho, a realização de múltiplas tarefas com indivíduos em espaços restritos justificam esse resultado.

No que refere- se ao ritmo circadiano pesa a longa duração das manobras em turnos alternados de dia e noite. No que tange ao número de objetivos simultâneos, a quantidade de informações processadas concomitantemente e o número de IHM para serem monitoradas por um indíviduo são fatores determinantes na avaliação.

A Figura 6 irá auxiliar na definição do modo de controle. Essa definição ocorrerá baseada na quantidade de avaliações positivas e negativas obtidas no objeto em estudo. Dessa forma, os Quadros 4 e 5 demonstram que, nesse estudo, quatro fatores que aumentam a confiabilidade e três que reduzem foram detectados, assim, o ponto em destaque em vermelho define o modo de controle como tácito.

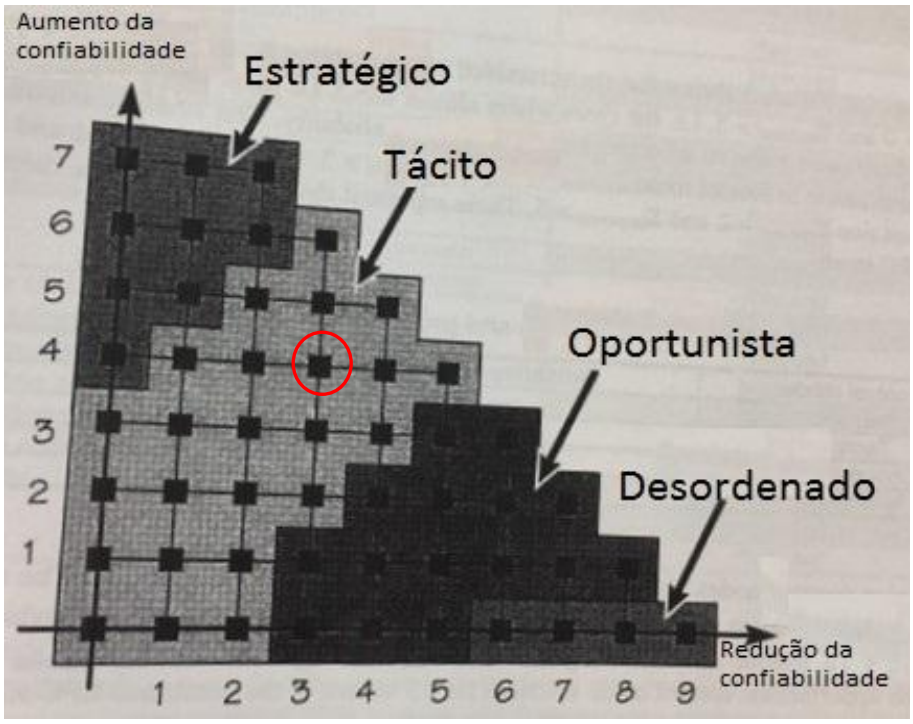

Figura 6 – Relação entre o CCD e o modo de controle. Fonte: Hollnagel 1998 Adaptado

4.5. Identificação das funções cognitivas na fase escolhida

A tomada de decisão é um processo de escolha de uma ação apropriada a ser executada ponderando a interpretação feita a cerca de um problema e o planejamento da ação a ser executada. É um processo relacionado a um modelo simples de cognição que compreende a identificação, a decisão e a ação (HOLLNAGEL 1998).

No que concerne ao CREAM a decomposição da função cognitiva resulta em na identificação do problema, na tomada de decisão e na execução da ação. A identificação do

problema relaciona-se função cognitiva observação, a decisão as funções interpretação e planejamento, e para finalizar, a ação refere-se a função cognitiva execução (HOLLNAGEL 1998).

A Tabela 1 apresenta, percentualmente, como cada função cognitiva contribui para a realização das ações apresentadas e sumarizadas pela distribuição das atividades cognitivas em relação às demandas oferecida no Quadro 01 e no quantitativo de atividades cognitivas na P3 o Quadro 2.

Tabela 1: Cálculo da demanda cognitiva na P3

Tabela da demanda cognitiva				
	Função Cognitiva			
Atividades Cognitivas	**Observação**	**Interpretação**	**Planejamento**	**Execução**
Identificar		1		
Regular	2			2
Executar				1
Manter			1	1
Monitorar	1	1		
Revisar	1			
Diagnosticar		2	2	
Verificar	1	1		
Comunicar				3
Planejar			1	
Avaliar		3	3	
Somatório das colunas	**5**	**8**	**7**	**7**
Percentual das colunas	**18,51%**	**29,63%**	**25,93%**	**25,93%**
Demanda cognitiva		**55,56%**		

A tomada de decisão está relacionada às funções cognitivas da interpretação e planejamento, assim, ao somar os percentuais representados por essas duas funções obtêm-se a Demanda cognitiva das principais manobras realizadas na P3. Diante dessa informação, nota-se que a identificação do problema solicita 18,51%, a execução do serviço 25,93% e a tomada de decisão 55,56%.

5. CONCLUSÃO

A descrição do processo de produção e tratamento de óleo é a primeira fase da estrutura metodológica utilizada, sendo fundamental para ambientação no contexto, com isso, possibilitando a identificação das ações realizadas e as principais atividades cognitivas dos atores envolvidos nas tarefas.

A divisão das etapas da produção e tratamento de óleo respeitou a distribuição das áreas estabelecidas na UMP. Diante dessa divisão, a escolha da fase mais crítica é balizada no estágio onde há o maior número de ações humanas que demandam das atividades cognitivas. Dessa forma, após mensurar as atividades de cada fase identificou- se que a área P3 é a fase mais crítica do processo escolhido.

Os modos de controle são classificados em quatro categorias que servem de parâmetro para definir o nível de ponderações à cerca das falhas associadas às tarefas, à organização, ao planejamento, às habilidades de compreensão e execução dos atores envolvidos nas tarefas.

Os serviços realizados no processo são orientados por procedimentos disponíveis à força de trabalho, o que na análise é um dado que aumenta a confiabilidade. Por essa razão, as operações realizadas no objeto em estudo enquadra-se no segundo melhor modo de controle, o tácito. Esse é um bom modo de desempenho e as operações observadas não figuram no melhor modo unicamente pela restrição de tempo disponível para o planejamento das tarefas.

Tendo em vista que as funções cognitivas Interpretação e Planejamento influenciam no processo de tomada de decisão, a última fase da metodologia é o fator que possibilita calcular a demanda cognitiva. Dessa forma, através da identificação das funções cognitivas na fase mais crítica, foi possível quantificar que 55,56% das ações na P3 dependem de demandas cognitivas.

Com o exposto, verifica-se que a atividade escolhida se mostrou adequada para o estudo, apresentou grande demanda cognitiva, fato que pode contribuir com a probabilidade de falha humana e foi possível pontuar os aspectos que podem culminar no melhor desempenho humano como os CCD Condições de trabalho e Tempo disponível.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2018. **Petróleo e derivados/ DUM**. Disponível em: http://www.anp.gov.br/. Acesso em junho de 2018.

BEARE, A.N. et al. **A simulator-based study of human erros in nuclear power plant control room tasks (NUREG-CR-3309).** Washington, DC:US. Nuclear Regulatory Commission, 1984.

DOMECH, J. M. **Aplicação da Lógica Fuzzy na Avaliação da Confiabilidade Humana nos Ensaios Não Destrutivos por ultra-som.** 2004. 178p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

DOUGHERTY, E. M., **Human reliability analysis – where shouldst thou turn?** Reliability Engineering & System Safety, Vol. 29, pp 283-299, 1990.

FRANÇA, J.E.M., **Alocação de fatores humanos no gerenciamento de riscos de sistemas complexos offshore**. 2014. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GERHART, B., et al**. The SAGE Handbook of Human Resource Management.** London: SAGE. 2009.

GETEMAN, D.I.; BLACKMAN, H.S. **Human reliability & safety analysis data handbook**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1994.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. Editora Atlas, 4ª Ed,São Paulo, 2002.

HOLLNAGEL, E. **Cognitive Reliability and Error Analysis Method,** Elsevier Science, Oxford, England, 1998.

HOLLNAGEL, E. FRAM: **The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems.** Ashgate Publishing Ltd. 2012.

KANTOWITZ, B. H.; SORKIN, R.D. **Human Factors: Understanding People System Relationships.** New York: Wiley, 1983.

KIM, I. S. **Human reliability analysis in the man-machine interface design revie.** Annals of Nuclear Energy, Vol. 28, p. 1069-1081. 2001.

KIRWAN, B. **A Human Error Analysis Toolkit for Complex Systems. Fourth Cognitive Science Approaches to Process Control Conference.** August, Copenhagen, Denmark. 1993.

LEOCÁDIO, T. **Tratamento de água produzida.** UN-RIO, ATP-MLS, OP-P51, Petrobras, 2003.

LUQUETTI, I. J. A; CARVALHO, P. V. R; GRECCO, C. H. **Human Reliability Analysis of Control Room Operators**. In: Proceedings of the Rio Pipeline International Conference, Rio Janeiro, Brazil. 2005.

LUQUETTI, I.J. A. **Metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos responsáveis pela retirada dos trabalhadores de instalações industriais, em situações de emergência**. In: Anais do XV SIMPEPUNESP/BAURU, Rio Janeiro, Brazil, 2008.

MEISTER, D., **Human Factors in Reliability**, New York, Mc Graw Hill, 1976.

MENEZES, R.C.S.; DROGUETT, E.L. **Análise da confiabilidade humana via redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão.** Prod., São Paulo, v. 17, n. 1, p. 162-185, Apr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo. php?script= sci_arttext&pid=S0103-65132007000100012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 01 jul. 2016.

PEREIRA, R.F., **Análise do deepwater horizon blowout: aplicação dos métodos FRAM e STAMP**, 2016. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Rio de Janeiro, 2016.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. **Acervo Digital: Dados e Processos.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em <http://www.petrobras.com. br/>. Acesso em: Março de 2018.

RASMUSSEN, J. **The definition of a human error and a taxonomy for technical system design. New Technology and Human Error.** New York, NY: John Wiley & Sons. 1987.

REASON, J., Human Error, Cambridge University, 1994.

SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; GRECCO, C. H. **Metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos responsáveis pela retirada dos trabalhadores de instalações industriais, em situações de emergência.** In: XV Simpósio de Engenharia de Produção, 2008, Bauru / São Paulo. Anais - SIMPEP. Bauru: UNESP / Bauru, v. 1. 2008.

SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; GRECCO, C. H. **Incorporating Emergency Evacuation Planning Through Human Reliability Analysis, in the Risk Management of Industrial Installation.** In: Rio Pipeline 2009 - Brazilian Petroleum, gas and Biofuels Congress, 2009, Rio Janeiro. Rio Pipeline 2009 - Brazilian Petroleum, gas and Biofuels Institute. Rio Janeiro: IBP, v. 1. 2009.

SANTOS, I. J. A. L.; OLIVEIRA, M. M. P.; OLIVEIRA, M. V. **Uso da Ferramenta FMEA (Análise dos modos de falhas e seus efeitos) na Identificação dos Fatores que Afetam o Desempenho Humano, durante o Processo de Retirada de Emergência.** In: IX Simpósio Internacional de Confiabilidade, 2011, Fortaleza. Anais do IX Simpósio Internacional de Confiabilidade. São Paulo: Reliasoft do Brasil, v. 1. 2011.

SHAPPELL, S.; WIEGMANN, D. **The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS).** Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine Report Nº DOT/FAA/AM-00/7. Office of Aviation Medicine. Washington, DC, 2000.

SICILIANO, R.; FERRAZ, F. T. **Análise da confiabilidade humana requer maturidade organizacional na escolha da ferramenta**. In XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca /enegep2010 _tn_sto_127_819_16619.pdf>. Acesso em 15 jan. 2017.

SILVA NETO, R. **Desenvolvimento de Britadeira Móvel Para Reutilização de Resíduos da Extração e da Produção de Rochas Ornamentais (Gnaisses) Como Alternativa de Minimização dos Impactos Ambientais.** 2012. Relatório Técnico Final para FAPERJ - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro.

SILVA NETO, R; SILVESTRE, B.S. **Inovação tecnológica como agente de redução de impactos ambientais da indústria de rochas ornamentais no estado do Rio de Janeiro.** Ambient. constr. vol.13 no.3 Porto Alegre July/Sept. 2013

SWAIN, A.D.; GUTTMAN, H.E. **Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications (NUREG CR-1278).** Washington, DC:NRC. 1983.

THOMAS, J.E. (organizador). **Fundamentos de engenharia do petróleo**. 2 ed. Interciência/PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2004.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. Atlas. São Paulo, 2009.

VIANNA, A.D. **Manual de hidrociclones**. ZIMEC, Rio de Janeiro, 2003.

WILLIAMS, J.C. **Human reliability data – The state of the art and the possibilities.** In Proceedings Reliability'89, United Kingdom, June 14-16, Vol. 1. 1989.

WILMOT, R. D; GALSON, D. A; HORA, S. C. **Expert Judgements in Performance Assessments**. Report of an SKI/SSI Seminar, UK. 2000.

Yin, R.K; trad. Daniel Grassi. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Bookman. Porto Alegre, 2001.