



MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA DURAÇÃO DAS PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO DE DESCOMISSIONAMENTO DE UM FPSO

Laura Antonioli Meirim Coutinho (150.392.887-00)

Examinada por:

Prof. Jean David Job Emmanuel Marie Caprace (CPF: 061.280.307-42)

Prof. Marcelo Igor Lourenço de Souza (CPF: 044.444.707-55)

Prof. Ilson Paranhos Pasqualino (CPF: 955.118.817-91)

Rio de Janeiro, Setembro de 2019

1. RESUMO

Com as Unidades Estacionárias de Produção encerrando suas atividades em quantidade cada vez maior, a indústria nacional vive um cenário de novos desafios para os próximos anos quanto ao descomissionamento de navios e plataformas que chegam ao fim de sua vida útil. Muitos esforços têm sido dispendidos no desenvolvimento de tecnologias para consolidar um mercado de descomissionamento padronizado que seja seguro, sustentável e financeiramente atrativo. Nesse contexto, este projeto de graduação objetiva mapear as principais etapas do processo de descomissionamento de uma Unidade tipo FPSO, muito utilizada na indústria do pré-sal do Brasil, e realizar uma avaliação preliminar da duração de tais etapas. Os principais processos realizados e recursos utilizados são identificados em um fluxograma e discutidos, buscando evidenciar a relação entre eles. Além disso, propõe-se um método para avaliar de forma preliminar o tempo de duração de cada etapa, baseado em um estudo de caso de um FPSO em operação no Brasil.

2. PALAVRAS-CHAVE

Descomissionamento de FPSO, Descomissionamento no Brasil, Estaleiros de Reciclagem, Desmonte de plataformas, Regulamento Europeu 1257/2013.

3. INTRODUÇÃO

Em grande parte dos processos industriais, a destinação de resíduos representa um desafio para a sociedade. Na indústria de Exploração e Produção de óleo e gás não é diferente. O ciclo de exploração e produção offshore pode ser sintetizado através das etapas reunidas na Figura 1.



Figura 1 – Principais Etapas da Exploração e Produção de Óleo e Gás Offshore

A última etapa, que será o objeto de estudo deste projeto de graduação, tem seu início após a parada de produção da Unidade e consiste no conjunto de ações a serem tomadas para remoção da Unidade do local de operação e sua destinação, através de um programa de desativação, e devolução da área à ANP. Esta fase é chamada descomissionamento, desmonte ou desmantelamento.

Como sugerido em [1], o escopo do descomissionamento pode ser separado em três grupos distintos – Plataforma, Sistemas Submarinos e Poço, de modo a aumentar a segurança das operações e enfatizar os aspectos específicos de cada projeto durante seu detalhamento. Dessa forma, ressalta-se que será tratado neste projeto de graduação o descomissionamento de plataformas, especificamente do tipo FPSO.

4. OBJETIVO

Dois terços dos navios sucateados atualmente são vendidos para serem desmantelados em praias com pouca ou nenhuma regulamentação ambiental ou trabalhista [2], gerando inúmeros problemas de poluição, saúde e segurança. A migração desse mercado para venda a estaleiros que realizem a atividade de forma padronizada, regulamentada e segura requer, entre outros aspectos, especialização técnica das partes envolvidas no processo. Para isso, é essencial o entendimento das atividades e recursos envolvidos no descomissionamento do navio ou plataforma.

Muitos esforços têm sido dispendidos no desenvolvimento de tecnologias para a indústria naval no que diz respeito à construção de um mercado de descomissionamento padronizado que seja seguro, sustentável e financeiramente atrativo. No contexto de projeto de graduação, identificar e discutir os principais processos e recursos envolvidos no descomissionamento de um FPSO (o modelo de Unidade Flutuante mais recorrente na indústria do pré-sal do Brasil) de forma regulamentada e segura certamente será útil dentro de uma sociedade que no futuro próximo demandará profissionais competentes na indústria de reciclagem de navios.

O principal objetivo deste projeto de graduação é mapear as principais etapas do processo de descomissionamento de uma Unidade Flutuante do tipo FPSO, identificando as principais atividades realizadas e recursos utilizados, buscando evidenciar a relação entre eles. Também faz parte do escopo deste trabalho realizar uma avaliação preliminar da duração de cada etapa mapeada, através de um método proposto para estimar os tempos necessários ao cumprimento das principais atividades identificadas.

Espera-se obter uma estrutura de fluxo com as principais etapas do descomissionamento de uma Unidade Flutuante do tipo FPSO. Espera-se expor as principais atividades e recursos que compõem o processo de descomissionamento de um FPSO a partir do entendimento destes, e realizar uma estimativa de duração do processo através da avaliação preliminar dos tempos gastos nas principais etapas que o caracterizam, identificando as etapas que mais influenciam no tempo total do processo.

5. JUSTIFICATIVA

Perante a crise econômica que afeta a indústria de Construção Naval e Offshore no Brasil, os estaleiros brasileiros se encontram ociosos devido às baixas demandas por novos projetos de construção. Neste cenário - somado ao conjunto de plataformas com mais de 25 anos de operação no país - o descomissionamento de navios e plataformas, mesmo sendo uma atividade nova para o mercado brasileiro, surge como uma possibilidade de alternativa no horizonte da indústria nacional.

De acordo com o levantamento da ANP [3], as plataformas do tipo FPSO representam o segundo maior conjunto de Unidades instaladas em operação no Brasil hoje. De outro modo, o potencial ainda não explorado de campos *offshore*, especialmente na região do pré-sal, coloca em vista um crescimento ainda maior deste tipo de plataforma no mercado brasileiro; devido à sua vantagem em regiões ultraprofundas e distantes da costa. Neste cenário, destaca-se todo o potencial petrolífero brasileiro ainda não explorado, onde menos de 5% da área sedimentar se encontra sob contrato, e somente 30.000 poços de petróleo foram perfurados, contra 60 mil na Argentina e 4 milhões nos Estados Unidos, por exemplo [4]. Sendo assim, é possível esperar que o descomissionamento de FPSOs no futuro seja uma importante temática para a indústria naval brasileira.

Segundo levantamento da ANP de 2018 [3], 41% das instalações de produção no Brasil já ultrapassam os 25 anos de operação offshore. As Figuras 2 e 3 abaixo ilustram, respectivamente, as idades e os tipos de plataformas em operação no Brasil, evidenciando a relevância do FPSO no contexto do descomissionamento de plataformas no cenário brasileiro.

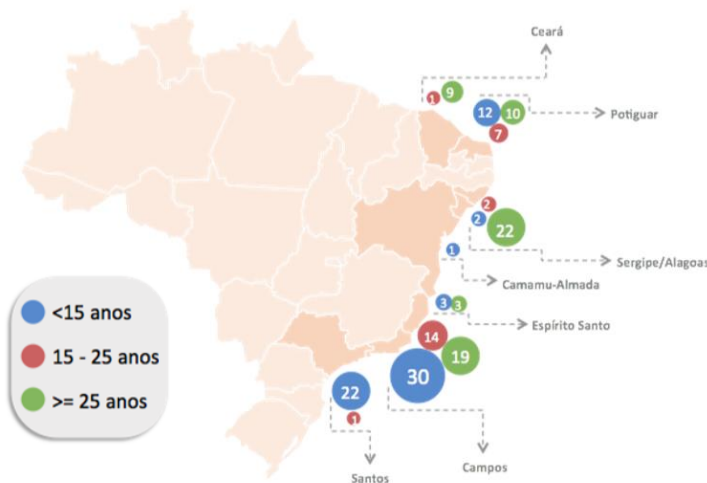


Figura 2 - Idade das Plataformas do Brasil. Retirado de [5]

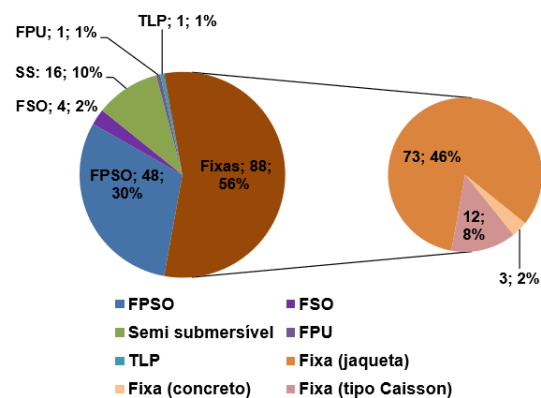


Figura 3 - Quantitativo de plataformas em operação no Brasil por tipologia. Retirado de [3]

6. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste projeto de graduação consiste no modelo *Bottom-Up*, que propõe a quebra de um problema complexo em diversas partes menores, permitindo assim uma análise de Engenharia de um processo através da agregação das análises individuais das pequenas etapas que o compõem [6]. A metodologia *Bottom-Up*, por ser sensível a detalhes do projeto, possibilita a avaliação de indicadores de novos desafios do mesmo, ainda que sem base histórica para comparação [5]. Sendo assim é uma metodologia apropriada para processos produtivos que não estejam completamente bem estabelecidos, como é o caso do descomissionamento de plataformas tipo FPSO.

A metodologia será aplicada como subsídio para uma avaliação preliminar do tempo necessário para execução das principais etapas do processo de descomissionamento de um FPSO. Evidencia-se a complexidade do assunto posto que se trata de uma atividade pouco conhecida por estaleiros brasileiros, e carece de diversas padronizações e ajustes que sustentariam a tomada de decisão ao longo do trabalho.

Entende-se a complexidade de fatores envolvidos no processo de descomissionamento de plataformas, como diversas limitações logísticas, ou políticas. Porém, para a elaboração desta avaliação preliminar, foi mantido o foco nas etapas técnicas necessárias e seus principais desafios. Além disso, foram mapeados os principais processos necessários para cumprir o escopo do descomissionamento de forma segura.

Cabe ressaltar também o desafio da aplicação da metodologia *Bottom-Up* em conjunto com um fluxograma preliminar, posto que cada etapa mapeada pode ainda na prática ser vista como um subprocesso a ser detalhado em menores partes, até o nível das menores tarefas a serem realizadas. Deste modo, são necessárias diversas simplificações para obtenção de um primeiro mapeamento das principais etapas do processo, como será exposto ao longo deste trabalho.

7. CONTEXTO REGULATÓRIO

Em junho de 2017 o mercado de reciclagem de navios e plataformas passou a ser reconhecido pelas autoridades nacionais através da Portaria nº 790 do Ministério do Trabalho, que alterou a NR34 acerca da indústria de construção e reparo naval. A seguir são expostas as principais legislações internacionais que atualmente regem a atividade do descomissionamento:

a Convenção de Basiléia, a Convenção de Hong Kong e o Regulamento Europeu 1257/2013.

7.1. Convenção de Basiléia (CB)

A Convenção de Basiléia foi adotada em 1989 pela UNEP e trata do controle da movimentação entre países de materiais perigosos e sua disposição. Entrou em vigor em 1992 e está centrada no controle de todo tipo de material perigoso, independente da origem; apesar disso, em 2002, a CB publicou especificamente um Guia Técnico para Gestão do Desmantelamento Sustentável Total ou Parcial de Navios [7], com o objetivo de orientar países que almejem estabelecer instalações aptas para o desmantelamento de navios em seus territórios. Acredita-se que tais diretrizes são relevantes no contexto do descomissionamento seguro, mas existem críticas quanto à orientação da gestão de materiais durante o processo da reciclagem, e de fiscalização destes ao final do processo [8].

7.2. Convenção de Hong Kong (HKC)

Em maio de 2009, a IMO adotou a Convenção de Hong Kong [9] exclusivamente para a indústria de reciclagem de navios, com o objetivo de procedimentar e padronizar o processo de reciclagem com foco na segurança, incorporando requisitos e certificações que atentam para todo o ciclo de vida do navio. Em linhas gerais, a ação do armador de enviar a Unidade para ser reciclada em um dado Estaleiro deve ser validada pelo Estado de Bandeira através do **DASR** (*Document of Authorization to conduct Ship Recycling*). Este documento atesta que o estaleiro está autorizado a conduzir a reciclagem de navios e para ser emitido, o estaleiro deve cumprir com uma série de requerimentos estabelecidos na Convenção. Entre eles destacam-se o **SRFP** (*Ship Recycling Facility Plan*) e o **SRP** (*Ship Recycling Plan*), que devem ser elaborados pelo estaleiro e validados pela Autoridade Local. Além disso, a Convenção estabelece que toda Unidade a ser reciclada deve possuir um **IHM** (*Inventory of Hazardous Materials*).

O Plano da Instalação para Reciclagem de Navios (**SRFP**) é um documento do estaleiro que deve descrever a metodologia e os processos técnicos adotados no estaleiro necessários a uma reciclagem sustentável, de forma alinhada com a gestão de materiais perigosos. O Inventário de Materiais Perigosos (**IHM**) de uma Unidade descreve os materiais por sua natureza, classificação e localização no navio, garantindo a rastreabilidade destes durante a execução dos procedimentos contidos no Plano de Reciclagem do Navio (**SRP**). O SRP é o plano específico para uma dada Unidade que inclui a sequência de descontaminação e remoção

de materiais e líquidos pré-corte e a sequência de corte em si, de maneira prática e segura, além da separação, quantificação e disposição dos materiais previamente mapeados no IHM [10].

Para que a Convenção entre em vigor, ao mínimo 15 países precisam ratificar a Convenção, tal que suas frotas combinadas representem 40% da arqueação bruta da frota mundial; mais ainda, a arqueação bruta somada dos navios reciclados por esses países precisa ser ao menos 3% da frota total desses países. Até o momento (Agosto de 2019), a Convenção ainda não entrou em vigor, pois apenas 13 países a ratificaram, representando 29,42% da arqueação bruta mundial [11].

7.3. Regulamento Europeu 1257/2013

Como uma tentativa de evitar que navios de bandeira europeia sejam enviados para desmantelamento em praias asiáticas, o regulamento europeu para reciclagem de navios nº 1257/2013 foi criado, entrando em vigor em 30 de dezembro de 2013 e tendo a maior parte de suas disposições aplicáveis desde 31 de dezembro de 2018. O regulamento determina requerimentos aplicáveis durante todo ciclo de vida útil do navio, até a sua reciclagem, estabelecendo parâmetros para proteção ao meio ambiente e saúde ocupacional. Suas duas áreas de foco principais são: a gestão de materiais perigosos a bordo dos navios sob bandeira europeia, e requerimentos para a reciclagem sustentável e segura dos mesmos [12].

Ele incorpora a convenção de Hong Kong na gestão de materiais perigosos, indo além ao estabelecer critérios mais restritivos para a seleção do estaleiro que realizará a reciclagem, pois torna inelegíveis para certificação as instalações que realizam a prática de desmonte de navios em praias, o que não é vetado de acordo com os critérios exclusivamente da Convenção de Hong Kong [13].

A União Europeia mantém uma lista de estaleiros aprovados para a atividade em todo mundo, e navios de bandeira europeia somente devem ser enviados para tais instalações aprovadas e certificadas. Tal restrição poderia representar uma oportunidade para estaleiros do Brasil de se adequarem à atividade e entrarem na lista de instalações certificadas, como uma alternativa para reaquecer o mercado nacional.

Para estaleiros localizados fora da União Europeia, essa inclusão é feita através de uma aplicação submetida à Comissão Europeia. Essa aplicação é composta de: um formulário de aplicação, uma cópia da certificação do estaleiro emitida por um Verificador Independente e uma cópia do SRF [12]. Os Estados Membros da UE que participam do Comitê do Regulamento Europeu para Reciclagem de Navios então votam pela inclusão ou não do

Estaleiro analisado pela Comissão Europeia. As etapas do processo de verificação dos estaleiros de reciclagem localizados fora da UE são descritas na Figura 4 a seguir.

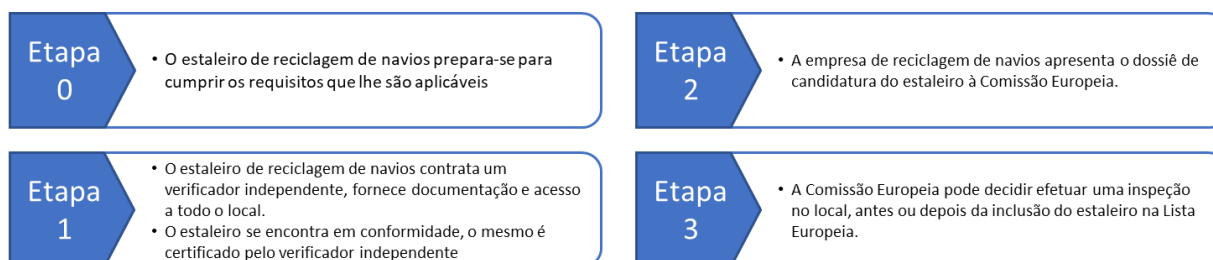


Figura 4 - Etapas do Processo de Verificação de Estaleiros de Reciclagem Localizados fora da UE. Adaptada de [14]

O verificador independente deve ser autorizado de acordo com a legislação nacional do país que opera. No contexto brasileiro, a Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre) é o órgão responsável pela acreditação de verificadores independentes, intitulados Organismos de Avaliação da Conformidade (OACs), segundo os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17020:2012 [15], mas existe uma lacuna a ser preenchida em relação a acreditação de organismos que realizam inspeções na área de estaleiros de reciclagem.

8. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO

8.1. Características do FPSO do estudo de caso

O estudo de caso será uma Unidade Flutuante tipo FPSO convertido a partir de um navio petroleiro do tipo VLCC, com capacidade aproximada de 250.000 ton *deadweight*. O FPSO estará localizado a cerca de 100km da costa do Rio de Janeiro, na bacia de Campos (região mais explorada da costa brasileira). A Tabela 1 sumariza as principais características do FPSO deste estudo de caso, relevantes para as análises subsequentes.

Tabela 1 - Principais características do FPSO estudado

Características Principais	
Dimensões principais	Comprimento: 320 m Boca: 54 m Pontal: 30 m
Peso Leve (após conversão)	47000 ton
Quantidade de risers conectados	34 no total, incluindo <i>risers</i> e umbilicais de controle.
Tipo de amarração	Sistema <i>Spread Mooring</i> .

Características Principais	
Quantidade de amarras	18 amarras divididas em: 2 grupos de 4 amarras cada e outros 2 grupos de 5 amarras cada.
Sistema de Offloading	2 estações de offloading (uma na proa e uma na popa), cada uma com uma linha de 20 mangotes, armazenados em carretel.

8.2. Principais desafios para a sustentabilidade no estudo de caso

8.2.1. Bioinvasão por Coral-Sol

As embarcações de modo geral representam vetores não intencionais de introdução de espécies exóticas marinhas através das bioincrustações. Segundo [16], no âmbito regulatório, não existem regulamentos mandatórios internacionais, ou nacionais, especificamente sobre bioinvasão por bioincrustação marinha. No âmbito científico, ainda há lacunas quanto ao conhecimento sobre métodos eficazes para controle e erradicação das bioinvasões. E no âmbito operacional, há uma grande lacuna quanto à técnica para remoção e erradicação eficiente das bioincrustações, e à infraestrutura logística necessária.

No que tange o descomissionamento do FPSO, a Tabela 2 a seguir expõe os desafios que foram identificados durante o estudo de caso, relacionados à bioincrustação e ao risco de bioinvasão de coral-sol nos *habitats* marinhos da costa brasileira.

Tabela 2 – Principais desafios relacionados à bioinvasão por coral-sol no descomissionamento

Desafio	O que poderia ser feito?
Consideração do peso adicional nas fases de reboque para o estaleiro e desmantelamento em si. No caso do transporte oceânico, devem ser consideradas ainda as cargas hidrodinâmicas causadas pela bioincrustação.	Limpeza mecânica com ROVs ou AUVs de novas tecnologias voltadas para limpeza de cascos submersos; eliminando a necessidade de limpeza por mergulhadores, considerada uma atividade de alto risco para o trabalhador e que pode contribuir para a disseminação das espécies se não houver devida contenção.
Caracterização das espécies dominantes na bioincrustação do casco do FPSO, para identificação de espécies bioinvasoras que estariam sendo transportadas.	Filmagem com ROVs e análise das imagens por uma empresa especializada.
Ausência de legislação nacional mandatória específica para o transporte de Unidades Marítimas bioincrustadas na costa brasileira.	Seguir as orientações do Comitê de Proteção ao Meio Ambiente da IMO (MEPC/IMO), especialmente a Resolução MEPC.207(62); e as orientações da IPIECA (Associação global da indústria de óleo e gás para assuntos ambientais), especialmente o Guia para prevenção e gestão de espécies invasoras.

Sabe ainda comentar o desafio da seleção do estaleiro para envio do FPSO a ser reciclado no que tange à contaminação por coral-sol. Existe atualmente um debate quanto à possibilidade de enviar navios contaminados com coral-sol para locais sem a presença da espécie invasora. Ou seja, a necessidade de preservação da área ainda não contaminada pode inviabilizar a escolha do estaleiro para desmonte. Tal requisito ainda está em discussão entre autoridades brasileiras, mas certamente é um desafio para estaleiros que queiram se especializar em desmonte de plataformas no Brasil.

8.2.2. NORMs – Materiais com ocorrência natural de radioatividade

Os resíduos NORM são os materiais remanescentes do processo industrial do FPSO contaminados por radionuclídeos de origem natural que estão presentes nas incrustações e borra de alguns equipamentos, tubulações e tanques. Durante o descomissionamento, surge a necessidade de gerir resíduos NORM, classificados perigosos (Classe I, segundo a NBR 10.004). Quando não está mais prevista qualquer utilização para esse material radioativo, ele é considerado rejeito NORM. A lei federal 10.308 (2001) suportada pela Norma CNEN 8.02 estabelece as normas para a destinação do rejeito NORM, e define os tipos de depósitos entre inicial, intermediário e final.

Atualmente, o fluxo de gerenciamento desse resíduo contendo NORM ainda não está completamente normatizado pela CNEN, o que representa um desafio para o descomissionamento. Todavia, serão abordados alguns processos críticos para a elaboração de um Plano de Gerência de Rejeitos Radioativos. Para tal, são considerados os processos apresentados em [17], as diretrizes da Norma CNEN NN 8.01 [18] e conversas com especialistas da CNEN:

Em primeiro lugar, fornecedores qualificados creditados pelo CNEN identificam os itens contaminados, avaliam os níveis de radiação e contaminação. Então as áreas podem ser classificadas de acordo com a Norma CNEN 3.01. Em seguida é feita a limpeza desse material. Devem ser considerados os casos de borra em tanques de rejeitos ou de água produzida contendo NORM e incrustações contendo NORM em equipamentos, válvulas ou tubulações. Existe uma etapa de limpeza *offshore*, com acompanhamento de um supervisor de proteção radiológica certificado pela CNEN, e outra durante a remoção de materiais perigosos no estaleiro.

No caso de limpeza *offshore*, o material deve ser acondicionado em tambores e enviado para um porto receptor. A infraestrutura do porto selecionado deve conter licenciamento

ambiental específico IBAMA e licenciamento CNEN para realizar os serviços de segregação, armazenamento temporário, transporte e destinação para um depósito especializado [17].

No caso da limpeza e descontaminação feitas no estaleiro, o serviço deve ser realizado por uma empresa licenciada pela CNEN. Os equipamentos serão avaliados segundo os níveis estabelecidos no Anexo V da Norma CNEN 8.01, abaixo do qual o material pode ser descontaminado e reaproveitado, e acima do qual a contaminação radioativa não é removível e o mesmo deve ser tratado como rejeito [18].

Posteriormente é feita a segregação que, a depender do caso, pode ser feita pelo porto receptor do material ou pelo estaleiro, levando em conta o estado físico e características do material. Uma vez segregado, deve ser feito o armazenamento temporário em uma área exclusiva, devidamente isolada, sinalizada e monitorada.

Enfim, é feito o transporte para o local de destinação. Os meios de transporte devem estar em conformidade com a Norma CNEN 5.01 (Transporte de Material Radioativo). Os rejeitos contendo NORM podem ser dispensados no sistema de coleta de resíduo urbano, a depender do nível de contaminação, ou depositados em depósitos licenciados, que podem ser superficiais ou subsuperficiais (cuja profundidade fica a cargo de uma análise de segurança). Por último, ressalta-se que em 2019 foi licenciado o primeiro depósito final de rejeitos contendo NORM no Brasil, através da empresa prestadora de serviços em radioproteção LINCE [19].

O Porto Receptor selecionado para o estudo de caso, que atende os requisitos mínimos para implementação de um Plano de Gerência de Rejeitos Radioativos é a Base Brasco Caju, no Rio de Janeiro. A base conta com 65 mil m² de área total, 508 m de comprimento de cais linear e uma Central de Resíduos com área contida [17].

9. RESULTADO DO MAPEAMENTO DAS ETAPAS

O fluxograma apresentado na **Figura** Figura 5 a seguir compreende as principais atividades do processo de descomissionamento do FPSO desse estudo de caso. Estas estão separadas em pré e pós remoção do local de operação para o estaleiro. Em seguida, as etapas serão explicadas através de uma análise qualitativa. Será abordada posteriormente uma avaliação preliminar do tempo de execução de cada etapa.

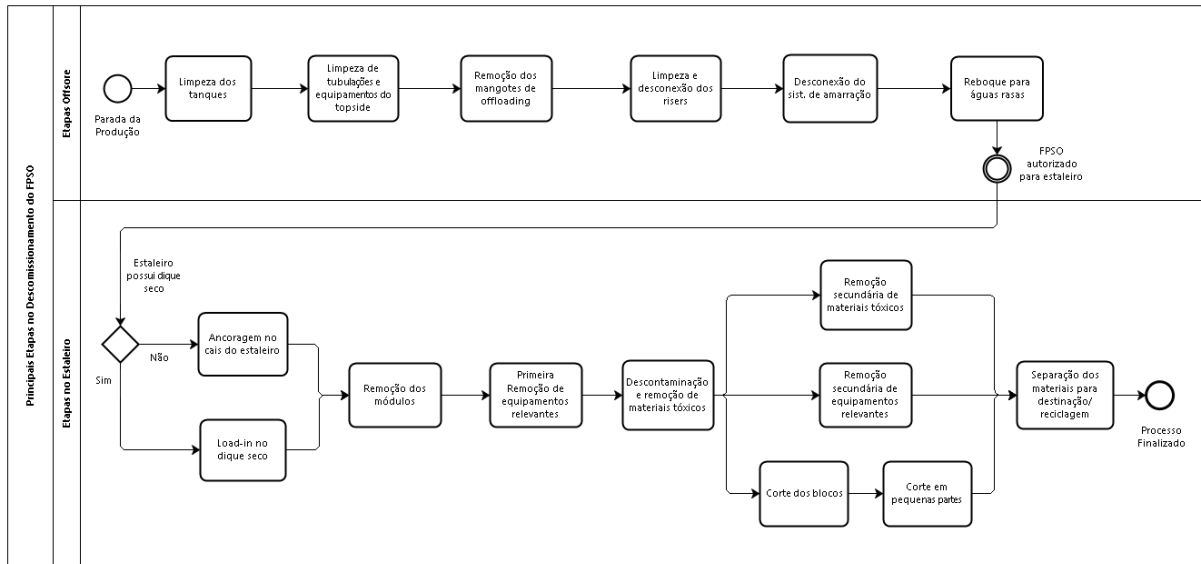


Figura 5 - Principais Etapas no Descomissionamento do FPSO do Estudo de Caso

9.1. Etapas Pré Remoção do Local

9.1.1. Limpeza dos Tanques

Deve ser feita previamente à chegada do FPSO ao estaleiro uma limpeza dos tanques, para remoção de borra e resíduos a serem devidamente tratados e descartados.

Nos tanques de carga, é feita primeiro a lavagem com óleo cru (COW – *Crude Oil Washing*) para remoção de resíduos do óleo produzido fixados nas anteparas e estruturas do tanque, compostos de substâncias hidrofóbicas (necessitam de lavagem com óleo cru). Em seguida é feita a lavagem com água, geralmente com água produzida, proveniente do processamento do óleo advindo dos reservatórios, ou com água do mar e até da chuva. Durante a operação (tanto de lavagem com água quanto com COW), o sistema de gás inerte é essencial, para manter o teor de oxigênio abaixo de 8% e a pressão positiva dentro do tanque, impedindo a formação de uma atmosfera inflamável [20]. O rejeito da lavagem dos tanques de carga é enviado para o tanque de rejeitos sujos através da bomba de carga, e depois descarregado para um navio aliviador.

Após a limpeza, o tanque precisa passar por um processo de purga (*purge*) e por fim ventilação. A purga consiste em injetar gás inerte no tanque até que o teor de hidrocarbonetos seja menor que 2% para que, na ventilação subsequente, não haja a criação de uma atmosfera inflamável no tanque. Logo após a purga, o tanque é ventilado através de um sistema fixo ou ventiladores portáteis (o tanque precisa estar completamente isolado dos outros tanques nessa etapa), até que a condição “livre de gás” seja atingida: pelo menos 21% de oxigênio e no máximo 1% LFL (indicador de gás inflamável) [20]. A partir dessa condição, a entrada nos

tanques é permitida. Neste ponto, pode existir uma etapa adicional de remoção manual de borra com jatos d'água.

9.1.2. Limpeza do Topside

As áreas do topside – tubulações, equipamentos, vasos etc – classificadas como contendo hidrocarbonetos devem ser lavadas para a remoção de hidrocarbonetos residuais, visando eliminar o risco de explosões e incêndios, principalmente na fase de corte com trabalho a quente. Etapas consideradas padrão na indústria para a limpeza dos itens do *topside* são [21]:

- Despressurização: liberação de gases de hidrocarbonetos através do sistema do *flare*, ou enviados para o sistema de gás combustível. Após a despressurização, os sistemas são isolados e bloqueados.
- Drenagem: antes do isolamento de equipamentos com acúmulo de hidrocarbonetos, eles devem passar por um processo de drenagem para remoção desses resíduos contendo hidrocarbonetos.
- Lavagem e purga: a lavagem em geral é feita num primeiro estágio com água, e em alguns casos pode ser seguida de lavagem com vapores; posteriormente é feita a purga com gás inerte.

Os seguintes equipamentos devem ser considerados como potenciais para localização de hidrocarbonetos residuais [21]: transformadores, resfriadores, separadores, trocadores de calor, embalagens de armazenamento de biocidas e tintas, bombas, geradores, motores e coletores de óleo.

9.1.3. Remoção dos Mangotes de Offloading

O sistema de *offloading* é dotado de duas estações, uma na proa e outra na popa. Essa configuração é motivada pela segurança e continuidade operacional [22]. Cada estação conta com uma linha de mangotes flutuantes armazenados em carretel e um cabo de arranjo específico denominado *hawser*, para amarração do FPSO com o navio aliviador.

Inicialmente é preciso desconectar a linha de mangotes de offloading de óleo que está armazenada em carretel no FPSO, que pode ser reaproveitada. Essa operação é usual durante a fase de produção da Unidade, posto que periodicamente os mangotes devem ser inspecionados em terra. O processo é realizado com o auxílio de uma embarcação de apoio do tipo AHTS (*Anchor Handling Thug Supply*), que possui em seu convés uma infraestrutura para o manuseio, desconexão das seções e acondicionamento apropriado. Outros recursos utilizados nessa etapa

são: pau de carga, cabo mensageiro, flanges cegos para vedar os mangotes das extremidades da linha, cintas de carga, cabos de aço e manilhas de conexão.

9.1.4. Limpeza e Desconexão dos Risers

O FPSO analisado precisa ser desconectado de seus dutos (contando *risers*, umbilicais de controle etc.) que passarão pelo seu próprio projeto de descomissionamento, que não será tratado dentro do escopo da Unidade, como ressaltado no Capítulo 1. Antes da desconexão, os dutos passam por um processo de inspeção e em seguida limpeza [23]. A inspeção externa é feita por mergulhadores, até uma determinada profundidade (cerca de 50m) e a partir daí, por veículos de operação remota chamados ROVs. Para inspeção interna e identificação dos resíduos incrustados, são utilizados dispositivos de intervenção de dutos chamados PIGs.

A limpeza interna é feita de forma mecanizada com uso de PIGs ou com agentes limpantes/neutralizadores. Tal processo é necessário devido às parafinas e hidratos depositados nas paredes dos dutos de produção [24]. Após a limpeza, é feita a lavagem dos dutos, com água do mar tratada ou outro fluido inerte, até que o duto atinja o requerimento mínimo de 30ppm de óleo em seu conteúdo [23]. O conteúdo residual, dependendo de sua natureza, pode ser reinjetado no reservatório, recolhido no FPSO para ser disposto em terra, ou ainda ser tratado na própria Unidade, nos casos em que a planta de processo inclui este tipo de operação.

O método de desconexão após a limpeza dos dutos pode ser feito com uma embarcação de apoio offshore do tipo PLSV, para receber os *risers* e umbilicais que serão desconectados do FPSO. Porém, devido aos custos de afretamento de embarcações desse porte, também pode ser utilizada a embarcação do tipo AHTS. Outros recursos utilizados na operação são: guincho de *pull-out* do FPSO, cabos de aço do guincho principal e auxiliar, cabo e guincho da embarcação de apoio, cabo mensageiro, câmeras submarinas para monitoramento da operação e uma equipe de mergulho.

9.1.5. Desconexão do Sistema de Amarração

O FPSO possui o sistema de amarração por múltiplos pontos (*Spread Mooring System*). As linhas de ancoragem são compostas por trechos de amarra alternados com trechos de cabos de poliéster. Uma alternativa de desconexão é através do corte das amarras conectadas ao FPSO, na região do poliéster inferior próximo à amarra de fundo. Porém, antes do processo de corte começar, deve ser realizada a inspeção das amarras com um ROV para assegurar a integridade da operação. São necessárias ao menos duas embarcações tipo AHTS para apoio da operação. Um AHTS “principal” para segurar e tensionar a linha a partir da amarra de topo e recolhê-la

em seu convés após o corte, e um AHTS de corte equipado com ROV. Além disso, são necessários até 4 rebocadores, que entrarão em ação quando o número de amarras conectadas for inferior ao necessário para manutenção da posição do FPSO.

9.2. Operações para Autorizar a Entrada do FPSO no Estaleiro

A sequência de atividades necessárias para autorização do envio da Unidade para reciclagem é descrita na Figura 6. A partir dessa estrutura, os Estados Membros podem propor e implementar processos complementares, como é o caso do Regulamento Europeu 1257/2013.

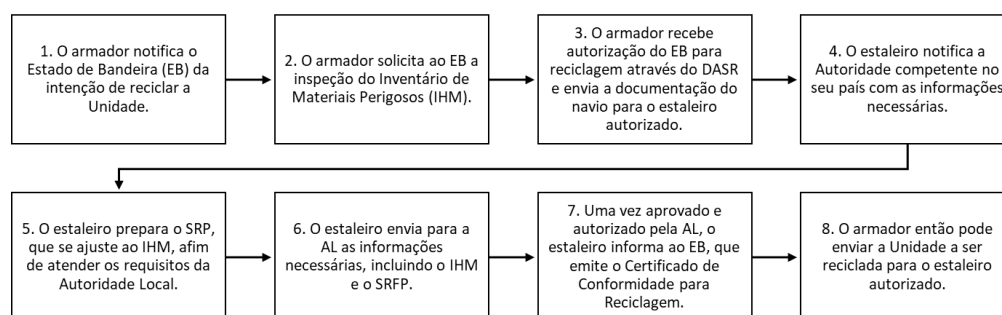


Figura 6 - Atividades para autorizar o envio da Unidade para reciclagem segundo a HKC e [8]

Previamente, o estaleiro deve estar autorizado pelo Estado de Bandeira. Nesta etapa entra em ação o regulamento europeu que, para os Estados de Bandeira da União Europeia, limita a seleção para uma instalação que seja certificada de acordo com os requisitos do Regulamento. O estaleiro por sua vez deve aceitar as Unidades que atendam os requisitos da HKC e que contem com a documentação prévia necessária para reciclagem especificada na Convenção. Dessa forma, o processo é validado tanto pelo Estado de Bandeira, quanto pela Administração Local que autoriza o estaleiro. Os documentos principais que regem o processo (DASR, IHM, SRFP e SRP) e principalmente a certificação do estaleiro frente à Comissão Europeia garantem que o projeto seja feito de maneira sustentável.

9.3. Etapas Pós Remoção do Local

Antes da operação de reboque oceânico para o estaleiro de reciclagem, as seguintes decisões e atividades devem ser realizadas como preparação para a viagem [25]: verificação da integridade dos cabos de reboque e demais equipamentos para amarração da Unidade nos rebocadores, verificação das luzes de navegação, possível reforço estrutural de tanques de carga e reparo de guinchos. Além disso, deve ser elaborado um plano de reboque, incluindo a quantidade de barcos de apoio, a rota, velocidade de navegação e *bollard pull* necessário. A

prática mais comum de mercado envolve que o plano seja elaborado de acordo com Guias Internacionais de referência - sendo inclusive uma exigência por parte de seguradoras - como o Guia da Sociedade Classificadora DNV GL: DNVGL-ST-N001 – Sec.11 - Sea Voyages.

Também de acordo com [25], cerca de 1 a 2 meses de antecedência à viagem deve ser realizado um encontro com as principais partes interessadas, incluindo operadores e clientes, para identificação de riscos e garantia da segurança do processo de reboque para o estaleiro de reciclagem. Requerimentos legais para a autorização da viagem pela Autoridade Local e o Estado de Bandeira também devem ser acessados com antecedência.

9.3.1. Chegada no Estaleiro e Remoção dos Módulos

Após a chegada ao estaleiro, foram abordadas para este estudo de caso duas locações no Brasil cuja capacidade seja suficiente para receber o FPSO:

O primeiro estaleiro selecionado é o **Atlântico Sul**, localizado no Complexo Industrial Portuário de Suape, município de Ipojuca, em Pernambuco. O estaleiro conta com capacidade de processamento de 160 mil toneladas de aço/ano, 1,62 milhão m² de terreno, área industrial coberta de 130 mil m² e um dique seco de 400 m de extensão, 73 m de largura e 12 m de profundidade. O dique é servido por dois pórticos de 1.500 ton/cada, dois guindastes de 50 ton/cada e dois de 35 ton/cada [26].

O FPSO é levado até o dique fechado e alagado, cuja água é posteriormente bombeada para fora, onde são removidos primeiro os módulos da planta de processo. Uma vez no dique seco, o FPSO pode então ser desmantelado em blocos, com o uso dos pórticos e guindastes do estaleiro, em uma área completamente contida minimizando o risco de poluição ambiental.

O segundo estaleiro selecionado foi o **Estaleiro Jurong Aracruz** (EJA), no Espírito Santo, estado do Sudeste brasileiro. O empreendimento é capaz de processar 4 mil ton/mês de aço e conta com uma área total de 825 mil m² e um cais de 740 m de extensão [27], apropriado para o método de descomissionamento denominado pela Comissão Europeia *Alongside* (“lado a lado” em tradução livre), por ser resistente e extenso. Neste método, o FPSO é atracado em um cais em águas abrigadas e desmontado de cima para baixo com guindastes, a partir de cortes mecânicos verticais, sem que as áreas de corte entrem em contato com a água do mar. As atividades de corte são tomadas até que a estrutura remanescente do casco possa ser içada de uma vez [10].

O estaleiro dispõe de 2 guindastes de 50 t cada, localizados sobre trilhos ao longo do seu cais, uma cábria com capacidade de içamento de até 3600 t e um pórtico paralelo ao cais com 150 m de extensão e capacidade de 300t de içamento, em uma área de montagem de blocos

capaz de dar suporte à remoção dos módulos da planta de processo, ao desmonte das estruturas e separação de materiais. O calado limite na região do cais é de 15,5 m e não representa uma limitação para o FPSO estudado.

9.3.1. Remoção de Equipamentos Relevantes

O FPSO, em seu *topside*, apresenta um vasto aparato necessário para o processamento primário da produção, que consiste essencialmente em receber a mistura proveniente dos poços produtores, processar e estabilizar o óleo cru, e separá-lo da água produzida e do gás natural. O óleo produzido é armazenado em tanques de carga e depois transferido para os navios aliviadores; a água produzida é descartada após tratamento até as especificações requeridas; o gás natural é comprimido, tratado e utilizado como gás combustível ou *gas-lift* para os poços de produção, ou exportado via gasoduto.

A prática de mercado mais comum é a de aproveitamento do máximo de equipamentos instalados possível, após avaliadas as condições de depreciação e possível contaminação deles. Além disso, são aproveitados os sobressalentes (peças e equipamentos) que compõem o almoxarifado da Unidade. Em seguida, é feita a venda do navio para os chamados *scrapbuyers*, que fazem a análise de depreciação e aproveitam os equipamentos, para posteriormente vender o navio como sucata para estaleiros com pouca ou nenhuma infraestrutura. A Figura 7 a seguir apresenta as opções para destinação de tubulações e equipamentos, após a avaliação dos mesmos, de acordo com [21].

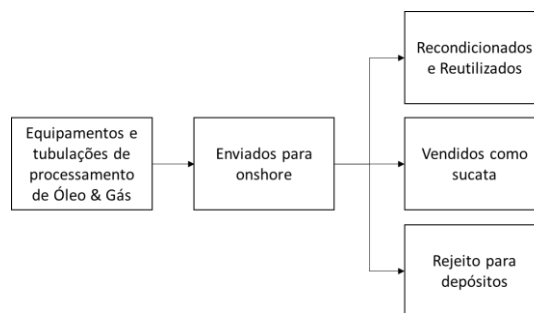


Figura 7 - Destinação de equipamentos relevantes e tubulações do topside. Adaptado de [21]

9.3.1. Descontaminação e Remoção de Materiais Perigosos

A Tabela 3 abaixo apresenta os materiais que merecem destaque durante a etapa de remoção de materiais perigosos pré-corte, de acordo com [7] e [28], bem como seus desafios e o que precisa ser feito pelo estaleiro em cada caso.

Tabela 3 – Materiais perigosos e seus desafios para reciclagem de navios

Materiais	Desafio	O que precisa ser feito
Amianto e materiais contendo amianto	Quando materiais contendo amianto são desintegrados, o mineral se fragmenta em fibras muito finas, às vezes invisíveis aos olhos, que ao serem inaladas representam sérios riscos à saúde do trabalhador, incluindo a possibilidade de câncer de pulmão e outras doenças.	O estaleiro deve proporcionar o isolamento destas regiões para remoção apropriada, com sistema de ventilação, monitoramento do ar, EPIs específicos e hermeticamente fechados para os trabalhadores e embalagens próprias para esse resíduo. Além disso, áreas de descontaminação para as roupas e ferramentas devem ser fornecidas nas instalações do estaleiro.
PCBs (bifenilas Policloradas)	PCBs são compostos utilizados principalmente na fabricação de líquidos isolantes térmicos. No Brasil, sua fabricação, comércio e importações são proibidos desde 1981, mas podem ser encontrados em diversos materiais e equipamentos a bordo de navios no fim da vida útil, como transformadores, capacitores, materiais isolantes etc.	Os PCBs devem ser removidos com o uso de EPI adequado para evitar o contato com a pele ou inalação. O armazenamento temporário desse resíduo no estaleiro deve ser estanque, separado de outros materiais perigosos e devidamente sinalizado. Para os equipamentos contendo PCBs, deve ser avaliada a possibilidade de descontaminação ou necessidade de descarte.
Óleos e combustíveis	Os principais riscos associados a esses materiais são incêndios e explosões, mas também devem ser considerados vazamentos ou intoxicação de trabalhadores.	O estaleiro deve possuir um plano de resposta de emergência e de prevenção para o caso de incêndios ou vazamentos. Outros recursos disponíveis: tambores específicos para armazenamento, sistemas de drenagem, de contenção, separadores de óleo e água, solventes limpaantes e dispersantes.
NORMs	Abordados na Seção 6.2.2	Descontaminação de tubulações e componentes metálicos que podem conter NORMs na forma de incrustações ou contaminações de chumbo. É avaliada a possibilidade de reaproveitamento dos mesmos, ou necessidade de descarte em depósitos específicos.
Pinturas e revestimentos	Tintas e revestimentos contendo componentes metálicos para prevenir corrosão e anti-incrustantes são frequentemente usados e pode ser necessário removê-los antes da fase de corte em superfícies pintadas, se forem altamente inflamáveis ou tóxicos.	A remoção, quando necessária, é feita de uma das três maneiras a seguir: Remoção mecânica, remoção química (com aplicação de solventes) ou jateamento de material abrasivo (por exemplo finas lâminas de aço) em alta pressão. Os flocos removidos contendo metais pesados devem ser armazenados sem possibilidade de dispersão.
Materiais contendo SDOs	SDOs são substâncias químicas destruidoras da camada de ozônio, como HCFCs e CFCs, sendo o consumo deste último completamente eliminado no Brasil em 2010. As SDOs podem estar presentes na fabricação de espumas para extinção de incêndio e em fluidos de refrigeração.	Materiais contendo SDOs devem ser retirados em contêineres hermeticamente fechados.
Água de lastro e esgoto oleoso	Água de lastro e de esgoto oleoso remanescentes, se não forem retiradas previamente através de sistemas de bombeamento, podem representar risco de vazamento e contaminação durante a fase de corte.	O estaleiro deve providenciar tanques para armazenamento apropriado deste resíduo. Desinfetantes e locais de evaporação também podem ser fornecidos como uma alternativa para o tratamento da água de lastro residual retirada.

9.3.2. Fase de Corte e Separação dos Materiais para Destinação

Durante esta etapa do processo de reciclagem do FPSO no estaleiro, a gestão dos materiais inclui: corte da Unidade em blocos, corte dos blocos em pequenas partes, separação dos materiais, fornecimento e manutenção de áreas para armazenamento temporário dos diferentes materiais e transporte dentro do estaleiro.

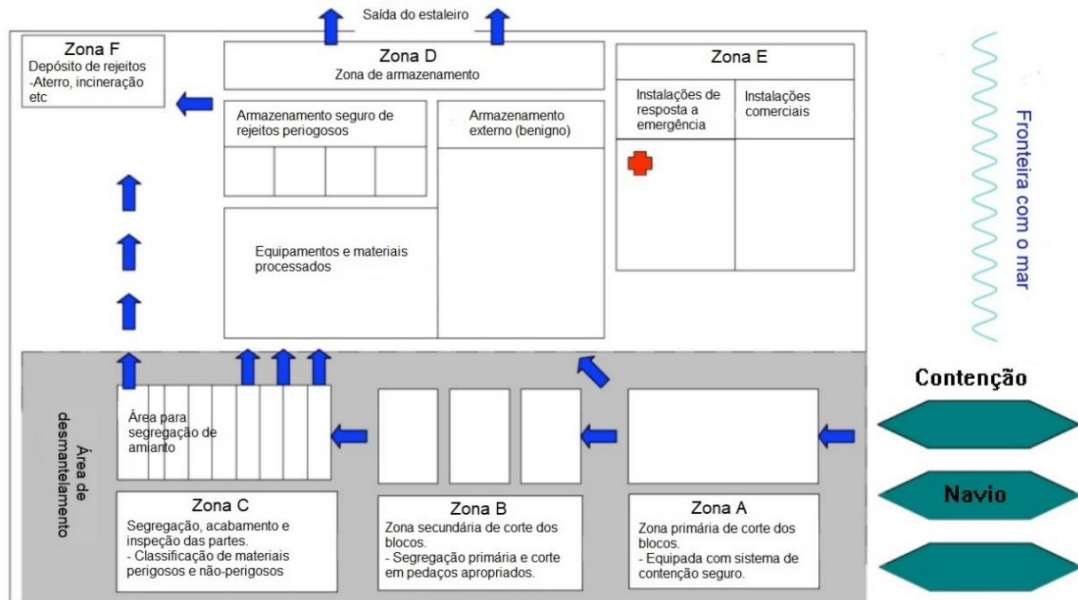


Figura 8 - Layout padrão de estaleiro para reciclagem. Adaptado de [7]

A Figura 8 acima ilustra o *layout* de um estaleiro padrão apto para a reciclagem de navios. Com destaque para a Zona A, de corte primário dos blocos, que pode ser o **dique seco** ou o **cais abrigado** onde o desmonte é feito, respectivamente, com pórtico ou cábria de grande porte.

Outros recursos e equipamentos relevantes nesta etapa são: máquinas de corte hidráulico (amplamente utilizadas na indústria de demolição), empilhadeiras, guinchos, transportadores modulares (SPMTs), detectores de gás e de teor de O₂, guindastes, equipamentos de içamento de cargas em geral, transformadores, ventiladores portáteis, alarmes sonoros, visuais e sistemas de comunicação em geral, equipamentos de primeiros socorros, EPIs, aparelhos respiratórios, equipamentos de resposta a vazamentos e contêineres para armazenamento temporário dos materiais recicláveis.

Um estudo da DNV [29] sobre a divisão de materiais encontrados em navios no fim de sua vida útil foi utilizado como referência para o cálculo da porcentagem de sucata que pode ser alcançada após o desmonte do FPSO do estudo de caso, conforme proposto em [30]. O fator de proporcionalidade utilizado para adequar os valores obtidos em [30] ao FPSO analisado

neste estudo de caso foi o peso leve de ambas as embarcações após a conversão (considerando os módulos das respectivas plantas de processamento). O resultado é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantificação dos materiais após o desmonte do FPSO do estudo de caso

Código	Tipo de Material	% do Peso Leve	LDT [ton]
W01	Sucata ferrosa	78,0%	36667,1
W02	Sucata não ferrosa	10,1%	4756,0
W03	Maquinário	7,7%	3609,5
W04	Equipamentos elétricos e eletrônicos	0,6%	268,3
W05	Minerais	1,8%	826,2
W06	Plásticos	0,3%	128,4
W07	Líquidos, Gases e Produtos Químicos	-	-
W08	Marcenaria	0,4%	193,3
W09	Diversos	1,2%	551,2
Total de sucata obtida [ton]			41423,1

A sucata obtida pode ser enviada para uma siderúrgica que atua com sua reciclagem como matéria prima. Próximo aos dois estaleiros selecionados no estudo de caso, as empresas ArcelorMittal e Gerdau, no Espírito Santo e Pernambuco respectivamente, são opções reais para o envio da sucata gerada com a reciclagem do FPSO.

Após o corte em pequenas partes, parte dos materiais recicláveis e não recicláveis ainda não se encontram completamente separados. Um triturador industrial e sistemas de separação magnética não são considerados investimentos viáveis para um estaleiro [10], sendo assim, considera-se que a sucata, junto aos demais resíduos do processo, são enviados a uma empresa gerenciadora de resíduos. Tal empresa é responsável pela coleta e transporte dos mesmos, comercialização e destinação, a depender do tipo de resíduo segundo a NBR 10.004. Para o presente estudo de caso, a empresa Vitoria Ambiental, no Espírito Santo, e a empresa AFC Soluções Ambientais, em Pernambuco, se apresentam como opções para a separação dos materiais e o gerenciamento dos resíduos sólidos e efluentes industriais gerados, desde os recicláveis até os determinados perigosos Classe I.

10. RESULTADO DA ANÁLISE PRELIMINAR DOS TEMPOS

10.1. Hipóteses e premissas para a avaliação preliminar dos tempos

- A estimativa para o tempo de limpeza dos tanques do FPSO é tomada a partir dos tanques de carga e rejeito, que somam 13 tanques no total, envolvem processos mais complexos e representam mais de 70% da região de carga; além disso, para o somatório do tempo

total de limpeza, considera-se que a operação pode ocorrer em 2 tanques simultaneamente;

- O tempo de limpeza do *topside* é aproximado pelo tempo de limpeza de equipamentos e tubulações do mesmo durante o *shutdown* regular de manutenção da plataforma, até a condição de “livre de gás”;
- O tempo médio de remoção da linha de *offloading* já considera o tempo de mobilização da equipe que embarcará para realizar a operação; também se considera que o AHTS de apoio possui carretel em seu convés, não havendo necessidade de desmontar as sessões da linha durante a retirada;
- O tempo estimado para desconexão das amarras é o tempo médio para operação de conexão acrescido de 50% como contingência, por ser a conexão uma operação mais bem estabelecida e com duração aproximada conhecida;
- Foi adotado 1,5 nós como velocidade média de reboque, valor recorrente na indústria;
- A taxa média de quantidade de semanas gastas por módulo a ser removido do FPSO no estaleiro já considera o tempo de preparação necessário pré e pós a realização de cada içamento;
- Foi adotada a hipótese de 45 dias (ou 1 mês e meio) para o período de remoção de equipamentos relevantes, o que corresponde a cerca de 10% do tempo total da fase pós remoção da Unidade do local de operação. O período foi dividido em 80% do trabalho passível de ser feito antes de iniciar a fase de corte, e 20% após a mesma, que corresponde à remoção de equipamentos inacessíveis antes do corte dos blocos;
- A duração da etapa de remoção de materiais tóxicos foi aproximada para o tempo gasto na remoção de amianto, por ser o elemento da lista levantada que exige ação mais complexa;
- A hipótese para quantidade de amianto encontrada no FPSO do estudo de caso é de 1 ton. Para o tempo de preparação da área pré e pós remoção, 2 dias. Para a divisão entre as fases de remoção primária e secundária, foi adotada a hipótese de 2/3 da quantidade total passível de ser removida antes de se iniciar o corte da Unidade, e 1/3 após o mesmo, que corresponde à remoção de amianto em regiões inacessíveis antes do corte dos blocos;
- A espessura de chapa única considerada para o cálculo da velocidade do oxicorte é 15mm, espessura encontrada na maior parte do navio, nas chapas do casco. Foi considerada 1 máquina de oxicorte disponível para a atividade, e 8h de trabalho de corte por dia. Além

disso, considera-se 20% de adicional no tempo de corte, como tempo de mobilização e desmobilização para realização da operação;

- Considera-se que não há projetos ocorrendo em paralelo no estaleiro, sendo assim, o tempo de corte não considera intervalos de espera para disponibilidade de área. Tanto para o corte dos blocos na Zona A, quanto para o corte em pequenas partes na Zona B;
- Considerou-se a hipótese de 3 tesouras de demolição hidráulicas disponíveis no estaleiro, cada uma com a capacidade de processamento de sucata estimada a partir de casos reais;
- Considera-se 100% de disponibilidade em relação à capacidade da frota de caminhões para transporte dos materiais para destinação, ou seja, foi estimado o tempo de trajeto para uma viagem única. Além disso, acrescentou-se o período de 2 dias correspondente ao carregamento e descarregamento dos caminhões;

Na Tabela 5 a seguir é possível ver as premissas empregadas para a estimativa de duração de cada etapa mapeada no processo de descomissionamento. Foram levantados os tempos de execução de acordo com práticas da indústria, conversas com especialistas e, para algumas etapas sem base histórica de comparação, como abordado na Metodologia deste estudo de caso, foram propostas funções objetivo baseadas na quebra do tempo de execução da etapa completa em tempos unitários, ou taxas representativas.

Tabela 5 - Método utilizado para a avaliação preliminar dos tempos de execução por etapa

#	Etapa	Tempo estimado para realização	Variáveis
1	Limpeza dos Tanques (carga e rejeito)	$T_{limp_{tanques}} = \frac{N_{tanques}}{2} * T_{media}$	$N_{tanques}$ = quantidade de tanques de carga + rejeito; T_{media} = Tempo médio de limpeza de 1 tanque [dias/tanque]; $T_{limp_{tanques}}$ = tempo total de limpeza dos tanques de carga e rejeito [dias];
2	Limpeza de tubulações e equipamentos no Topside	$T_{limp_{topside}}$	$T_{limp_{topside}}$ = taxa média de tempo de limpeza de tubulações e equipamentos do topside [dias];
3	Remoção dos mangotes de offloading	$T_{rem_{offloading}}$	$T_{rem_{offloading}}$ = tempo médio de remoção de uma linha de offloading de cerca de 20 mangotes [dias];

#	Etapa	Tempo estimado para realização	Variáveis
4.1	Limpeza dos risers	$T_{limp\ risers} = N_{riserProd} * T_{limpProd} + N_{riserExp} * T_{limpExp}$	<p>$N_{riserProd}$ = número de risers de produção a serem limpos;</p> <p>$N_{riserExp}$ = número de risers de exportação a serem limpos;</p> <p>$T_{limpProd}$ = tempo médio para limpar um riser de produção [dias];</p> <p>$T_{limpExp}$ = tempo médio para limpar um riser de exportação [dias];</p> <p>$T_{limp\ risers}$ = tempo total para limpar todos os risers [dias];</p>
4.2	Desconexão dos risers	$T_{desc\ risers} = T_{trocas} + T_{Mob\&\ Demob} + \sum_{i=1}^{n_{riser}} T_{desc_i}$	<p>T_{trocas} = tempo considerado para troca de equipes a cada 15 dias [dias];</p> <p>$T_{Mob\&\ Demob}$ = Tempo de preparação para a atividade (mobilização e desmobilização) [dias];</p> <p>n_{riser} = número de risers a serem desconectados;</p> <p>T_{desc_i} = Tempo necessário para desconectar o riser i [dias];</p> <p>$T_{desc\ risers}$ = Tempo total para desconectar todos os risers [dias];</p>
5	Desconexão das amarras	$T_{desc\ amarras} = T_{trocas} + T_{prep} + \sum_{i=1}^{n_{amarras}} T_{desc_i}$	<p>T_{trocas} = tempo considerado para troca de equipes a cada 15 dias [dias];</p> <p>T_{prep} = Tempo de preparação para apoio à atividade [dias];</p> <p>$n_{amarras}$ = número de amarras a serem desconectadas;</p> <p>T_{desc_i} = tempo para desconectar a amarra i [dias];</p> <p>$T_{desc\ amarras}$ = Tempo total para desconectar todas as amarras [dias];</p>
6	Reboque para o estaleiro	$T_{nav} = \frac{1}{24} * \frac{dn}{V_{reb}}$	<p>dn = distância do local de operação até o estaleiro selecionado [mn];</p> <p>V_{reb} = Velocidade média de reboque [nós];</p> <p>T_{nav} = tempo total de transporte até o estaleiro selecionado [dias];</p>
7.1	Ancoragem no cais	$T_{ancora_{medio}}$	<p>$T_{ancora_{medio}}$ = tempo médio da operação de ancoragem no cais [dias];</p>
7.2	Entrada no dique	$T_{dique_{medio}}$	<p>$T_{dique_{medio}}$ = tempo médio da operação de entrada no dique seco [dias];</p>

#	Etapa	Tempo estimado para realização	Variáveis
8	Remoção dos módulos	$Trem_{módulos} = 7 * Q_{total} * t_{módulo}$	<p>Q_{total} = quantidade total de módulos a serem içados;</p> <p>$t_{módulo}$ = taxa média de semanas gastas por módulo a ser içado [semanas/módulo];</p> <p>$Trem_{módulos}$ = tempo total para remover todos os módulos [dias];</p>
9.1	Remoção primária de equipamentos relevantes	$0,8 * Trem_{equip}$	$Trem_{equip}$ = tempo total de remoção dos equipamentos relevantes para reaproveitamento [dias];
9.2	Remoção secundária de equipamentos relevantes	$0,2 * Trem_{equip}$	$Trem_{equip}$ = tempo total de remoção dos equipamentos relevantes para reaproveitamento [dias];
10.1	Remoção primária de materiais tóxicos	$\frac{2}{3} * Trem_{HM}$ $Trem_{HM} = Tprep + (Qmt * Vproc)$	<p>$Tprep$ = tempo de preparação para a atividade [dias];</p> <p>Qmt = quantidade de amianto [ton];</p> <p>$Vproc$ = taxa de processamento do estaleiro para remover o amianto [dias/ton];</p> <p>$Trem_{HM}$ = tempo total de remoção de materiais perigosos [dias];</p>
10.2	Remoção secundária de materiais tóxicos	$\frac{1}{3} * Trem_{HM}$	$Trem_{HM}$ = tempo total de remoção de materiais perigosos [dias];
11	Corte dos blocos	$T_{corte_{blocos}} =$ $t_{prep} * \left(\frac{1}{8 * 60} * \frac{L_{total}}{V_{oxicorte} * Q_{máqs}} \right)$	<p>L_{total} = Comp total de chapa a ser cortado [m];</p> <p>$V_{oxicorte}$ = velocidade do oxicorte para a espessura considerada [m/min];</p> <p>$Q_{máqs}$ = Quantidade de máquinas de corte disponíveis no estaleiro;</p> <p>t_{prep} = percentual adicional que considera o tempo de preparação para a atividade [%];</p> <p>$T_{corte_{blocos}}$ = tempo total de corte dos blocos [dias];</p>
12	Corte da sucata em pequenas partes	$T_{corte_{pp}} = \frac{P_{sucata}}{Q_{máqs} * C_{máq}}$	<p>$C_{máqs}$ = capacidade de processamento da máquina hidráulica de corte [ton/mês];</p> <p>$Q_{máqs}$ = Quantidade de máquinas de corte disponíveis no estaleiro;</p> <p>P_{sucata} = quantidade de sucata a ser cortada [ton];</p> <p>$T_{corte_{pp}}$ = tempo total de corte em pequenas partes [meses];</p>

#	Etapa	Tempo estimado para realização	Variáveis
13	Separação dos materiais para destinação	$T_{médio\ viagem\ i} = T_{carga\&\ desc} + \frac{Dist\ t_i}{V_{rodovia}}$	<p>$T_{médio\ viagem\ i}$ = tempo médio total de viagem para o local i de destinação dos materiais [h];</p> <p>$T_{carga\&\ desc}$ = tempo considerado para carregamento e descarregamento dos caminhões [h];</p> <p>$Dist\ t_i$ = distância até o centro gerenciador de resíduos selecionado [km];</p> <p>$V_{rodovia}$ = velocidade média de percurso até o CGR [km/h];</p>

10.2. Resumo dos resultados obtidos em etapa

A Tabela 6 apresenta um resumo dos resultados encontrados para a estimativa dos tempos por etapa.

Tabela 6 - Resumo dos resultados obtidos para duração de cada etapa do descomissionamento do FPSO estudado

#	Etapa	Duração EJA (dias)	Duração EAS (dias)
1	Limpeza dos Tanques (carga e rejeito)	104	104
2	Limpeza do Toppide	4	4
3	Remoção dos mangotes de offloading	2	2
4.1	Limpeza dos risers	5	5
4.2	Desconexão dos risers	54	54
5	Desconexão das amarras	29,5	29,5
6	Reboque para o estaleiro	5,6	29,4
7.1	Ancoragem no cais	0,5	x
7.2	Entrada no dique	x	2
8	Remoção dos módulos	133	133
9	Remoção dos equipamentos relevantes	45	45
10	Remoção de materiais tóxicos	3	3
11	Corte de blocos	11	27
12	Corte da sucata em pequenas partes	230,1	230,1
13	Separação dos materiais para destinação	2,2	0,9

10.3. Discussão dos resultados

Durante o mapeamento dos processos, elaboração do fluxograma de atividades e a realização das estimativas preliminares de tempo, foram identificadas as atividades consideradas mais críticas, discutidas a seguir:

O tempo para **limpeza de tanques** é o primeiro processo crítico. Um dia a mais de diferença para limpeza com o sistema fixo de óleo, ou no tempo de preparação da equipe de operação, podem refletir em até um mês de atraso na partida do FPSO para o estaleiro.

A **desconexão das amarras** do FPSO, do ponto de vista operacional e logístico, é um dos maiores desafios dentro do projeto. Um dos motivos é a necessidade de recondicionar equipamentos por muitos anos sem operação, como guinchos e polias. Outro fator diz respeito às técnicas de remoção, que ainda não estão completamente consolidadas, e novos métodos vem sendo desenvolvidos e realizados de forma pioneira. Outro ponto crítico nesta etapa é a garantia da posição do FPSO enquanto se dão as atividades de corte, por ser uma operação que envolve interface com diversas embarcações (de 3 a 4 rebocadores além dos AHTS de apoio).

Ao final da etapa *offshore* do descomissionamento, ressalta-se como etapa crítica o **recondicionamento dos equipamentos de reboque** (guinchos, cabos de reboque, manilhas, conexões etc.), que podem necessitar de reparo ou até substituição, a depender da rotina de manutenção e devido ao tempo de inatividade. Destaca-se também nessa fase a influência da distância ao estaleiro de reciclagem, que chega a ocasionar quase 1 mês de discrepância entre os dois cenários do estudo de caso, mesmo sendo ambas localizadas na costa brasileira. Isso aponta para a vantagem estratégica do Brasil em relação às plataformas nas bacias de Campos e Santos que precisarão ser descomissionadas nos próximos anos.

O gráfico da Figura 9 a seguir reflete a participação de cada etapa na fase *offshore* de preparação do FPSO para partida, com os tempos acumulados. A legenda no eixo X reflete a numeração das etapas, de acordo com a Tabela 6.

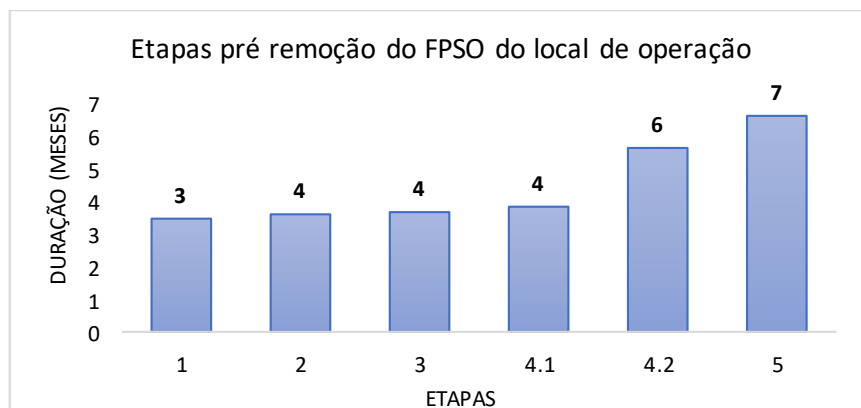


Figura 9 - Gráfico com a duração acumulada por etapa da fase *offshore*

Após a chegada do FPSO no estaleiro, tem início o desmonte e reciclagem da Unidade, a fase mais longa do descomissionamento, cuja duração estimada nesta avaliação preliminar é de **14 a 15 meses**, aproximadamente.

A primeira atividade crítica no estaleiro é a **remoção dos módulos da planta de processo**. A avaliação do tempo para remoção total destes foi feita a partir da hipótese de um tempo médio por módulo discutida com profissionais da área. Uma limitação do estudo foi não captar as diferenças operacionais entre o içamento dos módulos com a cábria posicionada próximo ao cais, ou com o pórtico do dique seco, que podem refletir em discrepâncias entre os 2 métodos. Ainda assim, é possível captar a influência desta etapa no todo avaliado. Com duração de mais de 4 meses, é a segunda atividade que mais demanda tempo em todo o mapeamento realizado. Além disso, mostra a relevância de um sistema de içamento de grande porte para estaleiros que queiram se adaptar à atividade de reciclagem de plataformas.

Na sequência, foi analisado o processo de **remoção dos equipamentos relevantes** para recondição e reutilização. Devido ao estado da arte ainda pouco aprofundado do desmonte de plantas de processamento, especificamente quanto a análises das alternativas de destinação de seus componentes (reutilização, reciclagem ou descarte), foi adotada uma estimativa para a etapa de remoção dos equipamentos reaproveitáveis ainda grosseira, mas também coerente com práticas semelhantes observadas em estaleiros reais.

Em seguida, destaca-se que alcançar uma precisão maior na localização e volume de **materiais perigosos que devem ser removidos** ainda demanda muitos esforços. Um passo importante nessa direção, identificado nesse estudo de caso, é a ratificação da Convenção de Hong Kong. Outra alternativa é a inspeção no local, feita com empresas especializadas em gestão de materiais perigosos, como já ocorre atualmente como boas práticas para Unidades que não possuem o IHM. Assim, será possível capturar os volumes e a localização desses materiais a bordo, e estabelecer estimativas mais precisas. Tal detalhamento pode, inclusive, capturar a influência do método de descomissionamento (no cais ou no dique seco) no tempo total de remoção desses materiais.

Para a estimativa de **tempo de corte dos blocos**, ressalta-se a relevância da capacidade de içamento disponível no estaleiro (da cábria ou pórtico em questão), que limita a quantidade de blocos a serem cortados nessa avaliação preliminar. Porém, é importante destacar que, em uma estimativa mais precisa, o efeito do cálculo estrutural ou de estabilidade na divisão dos blocos deve ser considerado, principalmente em relação ao método de desmonte do navio atracado no cais. Na prática, o corte realizado com o navio flutuando é uma atividade mais

complexa (quando comparada àquela em que o navio se encontra no dique seco) e que envolve maiores tempos de preparação e desmobilização, o que não foi considerado nesta estimativa.

O **corte dos blocos de sucata em pequenas partes** foi a atividade mais longa entre todo o mapeamento (**7,7 meses de duração**). O resultado já mostra a importância do investimento por parte do estaleiro de reciclagem em máquinas hidráulicas eficientes para demolição de sucata. Para o detalhamento dessa estimativa, recomenda-se considerar a área disponível no estaleiro para os blocos e para a sucata cortada em pequenas partes, que pode significar um tempo de espera até a liberação da área, para então dar continuidade ao processo de corte.

Como discutido na seção 7.3, não só os rejeitos que precisam ser descartados são enviados para o CGR, mas também a sucata e demais resíduos recicláveis, antes de irem para a siderúrgica que os comprará como matéria prima. Isso é feito pois, por mais que haja uma separação prévia no estaleiro, materiais diferentes podem estar misturados à sucata; e máquinas complexas de separação não são consideradas investimentos viáveis em estaleiros devido ao custo, mas são comuns em CGRs.

O gráfico da Figura 10 a seguir reflete os tempos estimados por etapa, nos dois métodos de reciclagem avaliados, a partir do reboque da Unidade para o estaleiro. O eixo X reflete a numeração das etapas, de acordo com a Tabela 6. No eixo Y, a contagem dos meses é acumulada, e já conta com o tempo de duração da etapa *offshore*.

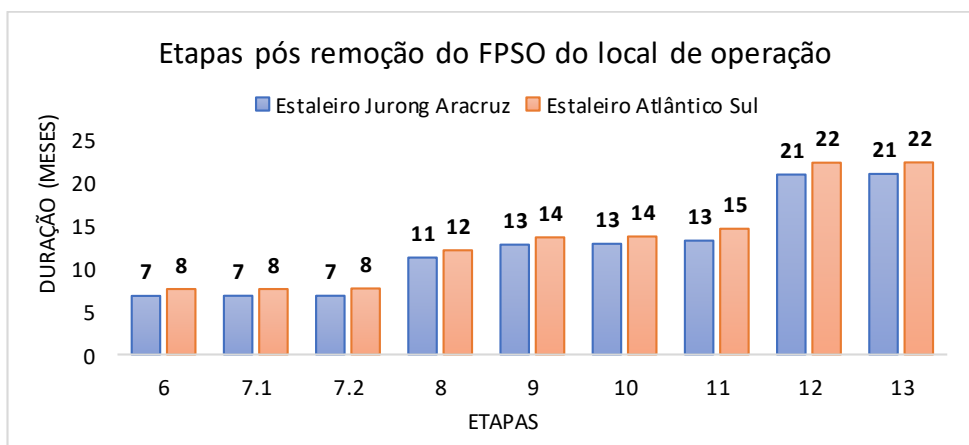


Figura 10 – Gráfico com a duração acumulada por etapa nos 2 métodos avaliados

Como fechamento, destaca-se as duas etapas que mais influenciam na diferença de tempos entre os 2 métodos avaliados: **a distância do estaleiro de reciclagem ao local de operação do FPSO**; e **a capacidade de içamento do estaleiro**. De toda forma, não se percebe grande diferença nessa primeira estimativa entre os métodos avaliados, e o resultado aponta para uma vantagem estratégica, do ponto de vista técnico, dos estaleiros brasileiros para o descomissionamento de plataformas das bacias de Campos e Santos.

11. CONCLUSÃO

O mercado de descomissionamento de navios e plataformas, ainda é muito dependente, a nível global, das praias asiáticas, especialmente na Índia, Paquistão e Bangladesh. Ao considerar as condições a que são submetidos os trabalhadores e o meio ambiente nestas instalações, fica evidente o desafio que esta atividade representa para a sociedade. Olhando para o Brasil, como levantado no Capítulo 3, mais de 40% das instalações de produção já ultrapassam os 25 anos de operação. Sendo assim, o estabelecimento de um mercado de descomissionamento sustentável sólido se apresenta não só como uma necessidade global, mas uma oportunidade para os estaleiros brasileiros de superarem as baixas demandas por projetos.

Como visto no Capítulo 5, foram criadas regulamentações internacionais na tentativa de limitar a atividade de forma segura e sustentável, em especial, o Regulamento Europeu 1257/2013. Porém, a capacidade dos estaleiros credenciados atualmente é escassa. Ao se adaptarem às regras do Regulamento Europeu, estarão os estaleiros nacionais se colocando como mais uma alternativa para o destino de navios e plataformas submetidos a ele. Entretanto, percebe-se o processo de certificação de Verificadores Independentes como uma lacuna (do ponto de vista normativo) a ser preenchida pelas autoridades locais neste contexto.

No Capítulo 6, foram discutidas duas questões identificadas como grandes desafios para o descomissionamento sustentável de plataformas no Brasil: a disseminação da espécie invasora coral-sol durante o transporte da Unidade, cujas técnicas de prevenção e mitigação ainda não estão totalmente afirmadas; e a destinação de rejeitos contendo materiais perigosos, especialmente os materiais com ocorrência natural de radioatividade, chamados NORMs.

No Capítulo 7, foram mapeadas as principais etapas (separadas em pré e pós remoção do local de operação para o estaleiro) do descomissionamento de um FPSO da bacia de Campos a partir de um estudo de caso, considerando duas instalações no Brasil como potenciais para se certificarem para a reciclagem de navios frente à União Europeia. E foram discutidas as principais necessidades de infraestrutura para as mesmas se adaptem ao descomissionamento.

Por fim, foi realizada no Capítulo 8 uma estimativa preliminar da duração de cada etapa, levantando-se para cada uma um tempo médio de execução. É necessário destacar que diversos resultados foram obtidos a partir de premissas oriundas de práticas comuns da indústria, porém, algumas hipóteses precisaram ser feitas devido à ausência de históricos reais ou estudos de caso. Ainda assim, a partir deste levantamento, foi possível identificar já numa primeira estimativa, quais são os principais gargalos, ou seja, as etapas mais longas, tal que a direção dos esforços e recursos no sentido de otimizar o processo já toma forma.

Uma primeira proposta de trabalho futuro é a identificação de equipamentos que potencialmente podem ser reaproveitados a partir do desmonte de plataformas de produção de óleo e gás. Outra proposta nesse sentido é o detalhamento da estimativa de tempo de execução de cada atividade, que aliado a um detalhamento do mapeamento de recursos associados, abre portas para estimativas de custos, e planejamento de projetos concretos.

Conclui-se afinal que este projeto de graduação contribui para o debate acerca da afirmação de um mercado de descomissionamento sustentável de navios e plataformas no Brasil: a partir da análise sobre os principais processos e recursos envolvidos em um estudo de caso, da identificação das principais lacunas operacionais e técnicas, da estruturação de uma sequência preliminar de atividades e da avaliação preliminar da duração do processo; que permitiu identificar, entre outros fatores, as etapas que mais contribuem para o tempo total do desmonte de um FPSO ao final de sua vida útil.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Zacaron, E. (2018). *Visão da indústria sobre o descomissionamento de instalações: Necessidades para a regulação da atividade*. VI Workshop de Segurança Operacional e Meio Ambiente (SOMA). Rio de Janeiro: Petrobras.
- [2] *Shipbreaking: A Dirty and Dangerous Industry*. (s.d.). Fonte: NGO Shipbreaking Platform: < <https://www.shipbreakingplatform.org/> >
- [3] Macedo, M. M. (2018). *Descomissionamento de Instalações Marítimas: Perspectivas para o Brasil*. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- [4] Oddone, D. (2018). *Setor de Óleo e Gás no Brasil - Impactos na Economia*. Debates do Brasil - Os caminhos do futuro do Óleo e Gás no país. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- [5] Carrara, J. F. (Março de 2019). *A Logística Integrada do Descomissionamento de Dutos Flexíveis do Campo de Marlim*. Seminário de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica. Rio de Janeiro: COPPE UFRJ
- [6] Caprace, J. D., & Rigo, P. (2009). *Multi-Criteria Decision Support for Cost Assessment Techniques in Shipbuilding Industry*. COMPIT'09, Budapeste, Hungria.
- [7] Basel Convention on Transboundary Movements of Hazardous Wastes. (2003). *Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and*

- Partial Dismantling of Ships*. Genebra, Suíça: UNEP United Nations Environment Programme
- [8] Ocampo, E. S. (2018). *Análise Quali-Quantitativa do Mercado de Reciclagem de Navios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil: UFF Universidade Federal Fluminense.
- [9] Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships. (2009). *International Conference on the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships SR/CONF/45*. IMO International Maritime Organization.
- [10] Litehauz Maritime Environmental Consultancy. (Março de 2013). *Feasibility Study for Environmentally Sound Ship Dismantling*. Estudo encomendado pela UNEP.
- [11] *Sharing ship recycling knowledge and best practices*. (Agosto de 2019). Fonte: IMO Media Centre: < <http://www.imo.org/en/MediaCentre/WhatsNew/Pages/default.aspx> >
- [12] Koller, P. (2019). *The EU approach towards sustainable ship recycling: the EU Ship Recycling Regulation No 1257/2013*. 3º Workshop SOBENA de Descomissionamento de Plataformas Offshore e Reciclagem de Navios. Rio de Janeiro: Comissão Europeia
- [13] Ocampo, E. S. (2018). *Análise Quali-Quantitativa do Mercado de Reciclagem de Navios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil: UFF Universidade Federal Fluminense.
- [14] Comunicação da Comissão Europeia C 128/01. (2016). *Requisitos e procedimento de inclusão de instalações localizadas em países terceiros na Lista Europeia de estaleiros de reciclagem de navios*. Jornal Oficial da União Europeia.
- [15] *Acreditação – Esquemas de Acreditação*. (Agosto de 2019). Fonte: INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia: < <http://www4.inmetro.gov.br/acreditacao/servicos/acreditacao#inspecao> >
- [16] Petrobras. (2016). *Bioinvasão Marinha: Desafios para o Descomissionamento*. Workshop sobre Desativação de Instalações Marítimas.
- [17] Salomão, D. (Julho de 2016). *Destinação de estruturas/instalações removidas e gerenciamento dos resíduos gerados*. Workshop sobre desativação de instalações marítimas. ABESPetro Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Petróleo.
- [18] CNEN Comissão Nacional de Engenharia Nuclear. (Abril de 2014). *Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação*. Norma CNEN NN 8.01. Brasil.
- [19] *LINCE: Serviços em Radioproteção*. Fonte:< [https://linceradio.com.br/servicos-radioprotecao/#!](https://linceradio.com.br/servicos-radioprotecao/#!>)>

- [20] OCIMF Oil Companies International Maritime Forum. (2006). *ISGOTT International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals*. 5ª Edição.
- [21] Prasthofer, P. (1997). *Offshore Production Facilities: Decommissioning of Topside Production Equipment*. Decommissioning and Removal of Oil and Gas Facilities Offshore California Workshop. California: BOEM Bureau of Ocean Energy Management
- [22] Wollner, G. C. (Janeiro de 2016). *Arranjos de convés de FPSOs para operação no pré-sal*. Projeto de Graduação em Engenharia Naval e Oceânica. Rio de Janeiro, Brasil: Escola Politécnica, UFRJ.
- [23] Manouchehri, S. (Junho de 2017). *Subsea Pipelines and Flowlines Decommissioning – What We Should Know for a Rational Approach*. ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Trondheim, Noruega.
- [24] Kjerschow, M. (Junho de 2014). *Development of Heat System for Cleaning of Subsea Pipelines*. Master Thesis, Engineering Design and Materials. The Norwegian University of Science and Technology.
- [25] Junior, S. L., & Souza, R. (2017). *Best Practices for Decommissioning of Floating Production Systems FPS*. Offshore Technology Conference Brazil. Rio de Janeiro
- [26] *Estaleiro Atlântico Sul* (s.d.). Fonte: < <http://www.estaleiroatlanticosul.com.br/>>
- [27] *Estaleiro Jurong Aracruz*. (s.d.). Fonte: < <http://www.jurong.com.br/institucional/estaleiro-jurong-aracruz>>
- [28] Dua, Z., Zhang, S., Zhou, Q., Yuend, K.F., Wongb, Y.D. (2018). *Hazardous materials analysis and disposal procedures during ship recycling*. Resources, Conservation & Recycling – Elsevier, 158-171
- [29] Andersen, A.B., Endersen, O., Hall, S., Jose, P., Kattan, R., Orrick, P., Rydock, A., Sverud, T. *Technological and economic feasibility study of ship scrapping in Europe*. In: Report No. 2000-3527. DNV, Hovik, Norway. 2001
- [30] Jain, K., Prunyn, J., & Hopman, J. (2015). *Quantitative assessment of material composition of end-of-life ships using onboard documentation*. Resources, Conservation & Recycling - Elsevier, 1-9