

Congresso ABRISCO 2017

Avaliação de riscos associados a aproximação descontrolada de uma plataforma semissubmersível equipada com posicionamento dinâmico a uma unidade Flutuante de Gás Natural Liquefeito

Maria Valentina Clavijo Mesa^a – valentina.clavijo@usp.br

Victor Rafael Lima Souza^a – victorlsouza@usp.br

Jocyr Sanchez de Almeida^b – jocyrsa@gmail.com

Adriana Miralles Schleder^c – adrianamiralles@usp.br

Marcelo Ramos Martins^a – mrmartin@usp.br

^aLabRisco - Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

^bEngenheiro Mecânico

^cDepartamento de Engenharia de Produção – UNESP – Universidade Estadual Paulista

“Júlio Mesquita Filho”

1. INTRODUÇÃO

No Brasil mais de 75% de todas as reservas de petróleo encontram-se em águas profundas e ultra profundas [1]. Para a exploração nestes ambientes é comum o uso de sondas equipadas com sistemas de posicionamento dinâmico (DP), os quais mantêm sua posição (localização fixa ou percurso predeterminado) automática e exclusivamente por meio de força propulsora [2].

Como existem diversos equipamentos e plataformas instalados no mar, os campos estão cada vez mais congestionados, de modo que uma deriva descontrolada de uma embarcação pode levar a uma colisão com outra unidade, cujas consequências seriam potencialmente catastróficas, tanto em termos materiais e ambientais quanto em termos humanos [3].

Este artigo apresenta uma avaliação qualitativa e quantitativa dos riscos associados à perda de posição de uma plataforma semissubmersível equipada com um sistema DP classe 2 (DP2) e uma análise das consequências no caso em que a deriva da plataforma leve a uma colisão com uma unidade Flutuante de Gás Natural Liquefeito (FLNG), que encontra-se operando a 1400 metros da posição original da plataforma.

Na avaliação qualitativa os autores apresentam um diagrama unifilar e uma árvore funcional do sistema DP2, a fim de contextualizar o leitor. Ao final desta avaliação o leitor conhecerá os principais resultados obtidos na análise de modos e efeitos de falha (FMEA) do sistema DP2 da plataforma, junto com a matriz qualitativa de risco.

Para a avaliação quantitativa os autores desenvolveram uma árvore de falhas com os eventos de perigo identificados na FMEA, além de gerar o diagrama de restrição da plataforma a fim de conhecer a probabilidade de a plataforma ocupar determinadas posições ao redor de sua posição inicial.

Finalmente, o artigo apresenta uma análise das consequências para o pior caso no qual a plataforma apresenta perda de posição e colide com uma unidade Flutuante de Gás Natural Liquefeito (FLNG) que se encontra a 1400 metros da posição original da plataforma.

Assim, a fim de sintetizar esta informação o arquivo está dividido em cinco seções, na primeira são apresentados os objetivos do estudo e as hipóteses usadas, da segunda seção à quarta são apresentados a metodologia usada e os resultados obtidos na avaliação qualitativa, quantitativa e a análise de consequências, respectivamente; finalmente a sexta seção traz as conclusões do estudo.

2. OBJETIVOS DO ESTUDO

O estudo procurou cumprir dois objetivos principais: avaliar os riscos associados à perda de posicionamento dinâmico de uma Plataforma Semissubmersível (SS) que se encontra em operações offshore a 1400 metros de uma unidade Flutuante de Gás Natural Liquefeito (FLNG); e analisar as possíveis consequências de uma colisão entre a plataforma e a unidade FLNG.

A fim de cumprir os objetivos foi necessário gerar algumas hipóteses e estabelecer as principais características de operação da plataforma e da unidade, nas quais foi desenvolvido o estudo.

2.1 Escopo do estudo

O estudo considera uma SS que possui um sistema DP classe 2, isto é, a perda de posição da plataforma não deve ocorrer no evento de falha única de nenhum componente ativo do sistema (geradores, propulsores, quadros de distribuição, entre outros). Este sistema DP opera com seis conjuntos moto-geradores para fornecer energia ao sistema DP e a oito propulsores. A unidade FLNG por sua vez tem capacidade de armazenamento de até 100 mil toneladas (220.000 m^3) de GNL, possuindo 488 metros de comprimento, 74 metros de boca e 105 metros de altura [4].

A Figura 1 apresenta uma plataforma SS (lado esquerdo) e uma unidade FLNG (lado direito), a fim de dar um contexto.



Figura 1 - Plataforma SS (lado esquerdo) e unidade FLNG (lado direito); [3] e [5].

2.2 Hipóteses

A seguir são mencionadas as hipóteses sobre as quais o estudo foi desenvolvido:

- ❖ Para as duas embarcações o estudo considera procedimentos operacionais e de manutenção usuais.
- ❖ Exceto pelo risco para o meio ambiente, não há exposição do público externo; a exposição é limitada aos funcionários e às instalações (SS e FLNG).
- ❖ Considera-se que após a perda de posição a desconexão do poço é realizada com sucesso.
- ❖ Não são consideradas medidas mitigadoras ou de contingências adicionais.
- ❖ As consequências são mensuradas apenas pelo número de fatalidades, e para isso considera-se que a plataforma opera com 120 funcionários enquanto a unidade FLNG opera com 280.
- ❖ O critério de tolerabilidade usado é que a probabilidade individual de uma pessoa morrer em um acidente durante um ano não deve exceder 0,1%, isto é, o número esperado de mortes em 100 milhões de horas expostas deve ser inferior a 10 para todo o pessoal na instalação [6].
- ❖

3. AVALIAÇÃO QUALITATIVA

O objetivo nesta etapa do trabalho foi identificar os perigos associados à operação de uma plataforma SS sujeita à perda de controle da posição quando se encontra operando a 1400 metros de uma unidade FLNG. Inicialmente avaliou-se o evento iniciador, que é a perda de controle da posição da plataforma SS. A seguir é apresentado um diagrama unifilar do sistema DP2 que é o responsável por contrapor a resultante de força ambiental que age sobre a embarcação de modo a mantê-la em posição para a realização de diversas operações offshore.

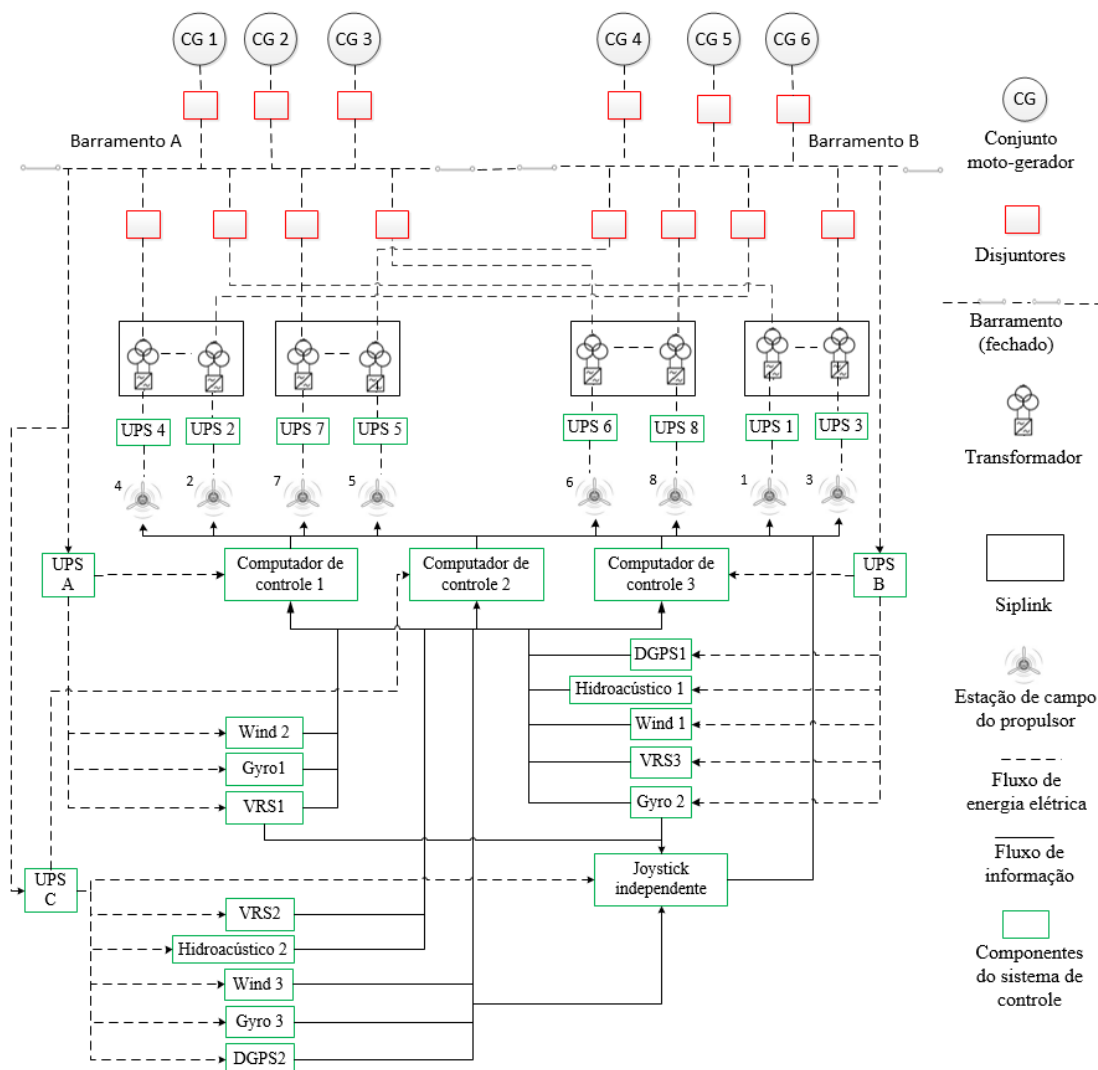


Figura 2 - Composição geral do sistema DP do estudo do caso.

A energia utilizada pelo sistema DP é gerada nos seis conjuntos moto-geradores (motor diesel e gerador elétrico), esta energia passa por disjuntores antes de alimentar as seções “switchboard” (também chamadas quadros de distribuição); uma vez que a embarcação possui duas “switchboard”, o circuito elétrico do sistema DP é dividido em dois (lado A e lado B) e cada lado possui um barramento.

Normalmente a embarcação opera com barramento fechado, sendo assim, a análise foi efetuada assumindo esta condição de operação; isto é, que é possível o transporte de corrente entre barramentos [7].

As duas “switchboard’s” fornecem energia ao sistema de propulsão e ao sistema de controle. A energia fornecida ao sistema de propulsão alimenta os siplinks de cada par de propulsores onde os transformadores diminuem a voltagem e fornecem energia a cada UPS (Uninterruptible Power Supply Systems), responsável por abastecer de energia aos componentes eletrônicos em cada propulsor. Têm se ainda que a energia fornecida ao sistema de controle é filtrada por três UPS.

A Tabela 1 apresenta os componentes a que cada UPS fornece energia.

Tabela 1 - Distribuição da energia fornecida ao sistema de controle pelas UPS.

UPS A	UPS B	UPS C
Computador de controle 1	Computador de controle 3	Computador de controle 2
Sensor de referência vertical 1	Sensor de referência vertical 3	Sensor de referência vertical 2
Wind 2	Wind 1	Wind 3
Gyro 1	Gyro 2	Gyro 3
	Hidroacústico 1	Hidroacústico 2
	DGPS 1	DGPS 2
		Sistema Joystick independente (IJS)

Por fim todos os sensores (Gyro, Wind e Sensor de Referência Vertical-VRS) e os sistemas de referência de posição (PRS) enviam informações aos três computadores de controle e alguns repetem esta informação para o joystick independente (habilitando o sistema para operar como um sistema DP *simplex*, no caso de falha dos controladores principais). Vale ressaltar que os três computadores de controle recebem informações e geram comandos para os propulsores, estes comandos são comparados pelo computador “mestre” e o valor mediano é selecionado para ser o resultado final, enquanto o sistema joystick independente (IJS) no caso de ser habilitado como sistema DP, envia sinais análogas isolados aos propulsores, a fim de não compartilhar a conexão com os computadores de controle [8].

Depois de construir o diagrama unifilar e compreender como são as conexões entre os componentes do sistema de controle DP2, foi construída uma árvore funcional, a fim de identificar a estrutura hierárquica conforme a interligação funcional dos componentes que formam o sistema DP2.

Quando foi construída a árvore funcional, identificaram-se alguns sistemas auxiliares que são necessários para a operação do sistema DP2 e por isso, a árvore funcional é composta por quatro ramos principais.

- ❖ O primeiro ramo corresponde ao **sistema de energia**, o qual é responsável por fornecer energia elétrica ao sistema DP e composto por: conjunto moto-gerador (motor diesel e gerador elétrico muitas vezes chamado de alternador), sistema de gerenciamento de energia (*Power Management System* - PMS), seção “*switchboard*” (composta por disjuntores, barramentos e dispositivos de controle e monitoramento) e sistema de distribuição [2], [10]-[11].
- ❖ O segundo ramo é o **sistema de propulsão**, responsável por fornecer empuxo ao sistema DP e composto por propulsores (no estudo de caso são considerados oito propulsores azimutais), controle manual dos propulsores e controle eletrônico do sistema de propulsão [2], [10]-[11].
- ❖ O terceiro ramo apresenta o **sistema de controle**, responsável por determinar a posição atual da embarcação, compará-la com a posição alvo e comandar o sistema de propulsão, efetuando as correções necessárias para restabelecer a posição; é composto por computadores de controle, sensores giroscópios (“*gyro*”), sensores para direção e velocidade de vento (“*Wind*”), sensores de referência vertical (VRS), sistemas de referência de posição (PRS), UPS e joystick independente [2], [10]-[11].
- ❖ O quarto ramo corresponde aos sistemas auxiliares que apoiam a operação do sistema de energia e do sistema de propulsão, estes sistemas são o sistema de ventilação, sistema de ar comprimido, sistema de lubrificação, sistema de refrigeração, sistema de combustível, tubulação, roteamento de cabo e cabeamento [2], [10]-[11].

A Figura 3 apresenta a árvore funcional do sistema DP2 em estudo.

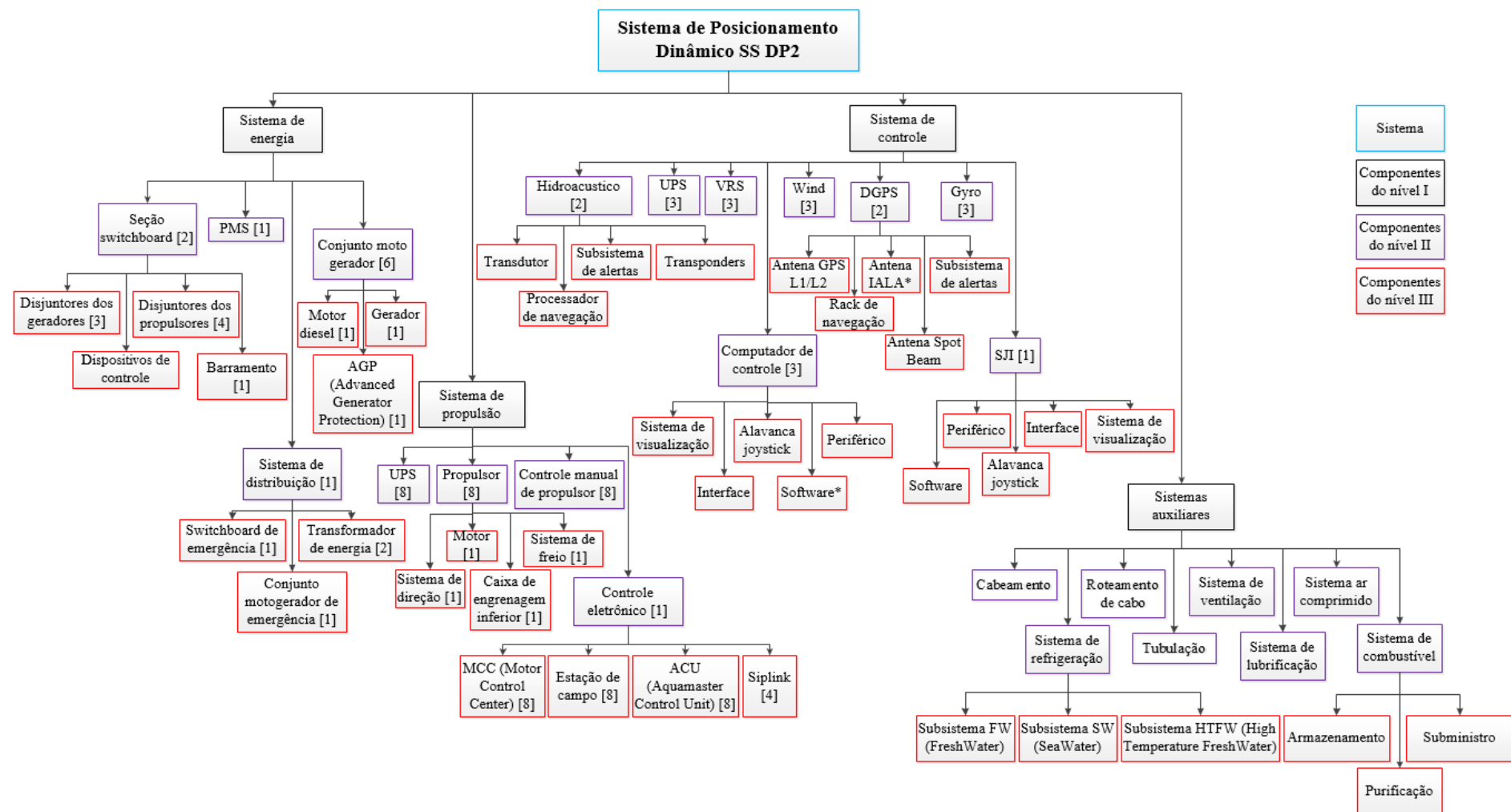


Figura 3 - Árvore funcional do sistema DP2.

Finalmente, após utilizar as técnicas de suporte (diagrama unifilar e árvore funcional), foi efetuada uma análise de modos e efeitos de falha (“*Failure Mode Effects Analysis*” – FMEA em inglês), a fim de identificar os perigos associados à falha do sistema DP2 da plataforma semissubmersível.

Com o propósito de respeitar a confidencialidade dos dados compartilhados pelos operadores da embarcação não será exposta a Tabela da FMEA, mas serão apresentadas as Tabelas de severidade, ocorrência e detecção usadas bem como a matriz qualitativa do risco que é um dos resultados da análise. As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as categorias que os autores usaram para avaliar cada modo de falha.

Tabela 2 - Categorias de severidade usadas na análise de modos e efeitos da falha [9].

Severidade		
IV	Catastrófico	Perda de propulsão controlada. Não há equipamentos on-line nos sistemas. Possíveis danos à embarcações, danos a sonda, fatalidade, poluição.
III	Crítica	O sistema DP se degradou significativamente. As operações de DP devem parar. A operação segura não é possível.
II	Maior	Pode afetar o sistema de posicionamento. As operações DP podem continuar por um período limitado.
I	Menor	Não afeta significativamente os sistemas de posicionamento. Não há efeito na redundância do DP. A operação ainda é segura por não afetar o pessoal da embarcação.

Tabela 3 - Categorias de ocorrência usadas na análise de modos e efeitos da falha [9].

Ocorrência			
A	Frequente	Mais de 1 por ano	É provável que ocorra com frequência.
B	Provável	Mais de 1 em 10 anos	Pode ocorrer várias vezes na vida de um item.
C	Ocasionalmente	Mais de 1 em 30 anos	Pode ocorrer algum tempo na vida de um item.
D	Remoto	Mais de 1 em 1.000 anos	Improvável que ocorra, mas possível.
E	Improvável	Mais de 1 em 100.000 anos	É improvável que ocorra.

Tabela 4 - Categorias de detecção usadas na análise de modos e efeitos da falha [9].

Detecção		
1	Fácil detecção	É provável que a detecção ocorra com frequência.
2	Provável	Pode ocorrer várias vezes na vida de um item.
3	Ocasionalmente	Pode ocorrer algum tempo na vida de um item.
4	Remoto	Improvável que ocorra, mas possível.
5	Difícil detecção	É improvável que ocorra.

No total forem identificados 113 modos de falha, nos quais 78,76% encontram-se no nível de risco tolerável e 14,16% estão na zona ALARP (“*As Low As Reasonably Practicable*”, em inglês); enquanto existem oito modos de falha que se encontram na zona não tolerável, seis estão associados à falha do sistema de energia e dois à falha do sistema de combustível (sistema auxiliar).

A Figura 4 apresenta a Matriz qualitativa de risco.

		Categorias de severidade			
		I	II	III	IV
Categorias de frequência	A	0	0	0	0
	B	4	0	0	0
	C	64	6	1	1
	D	13	7	10	6
	E	0	0	1	0

Figura 4 - Matriz qualitativa de risco.

O efeito de cada modo de falha foi avaliado para a redundância, o sistema, a posição e a plataforma; assim os componentes que no caso de falha causariam uma deriva livre (perda total do controle da posição) da plataforma foram selecionados para serem avaliados quantitativamente, como é apresentado na seção a seguir.

4. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

A avaliação quantitativa de risco foi composta por uma análise dos eventos de perigo (eventos identificados na FMEA, onde o efeito da falha na posição é uma deriva livre) através do desenvolvimento de uma árvore de falha e a construção de um diagrama de restrição, a fim de conhecer a probabilidade de a embarcação atingir a unidade FLNG operando a uma distância de 1400 metros de seu ponto de origem, dado que houve um evento de deriva descontrolada livre.

4.1 Árvore de falha

Conforme a análise de modos e efeitos da falha (FMEA) para que a embarcação perca o controle da propulsão deverá acontecer ao menos uma falha em algum dos sistemas principais do sistema DP (energia, propulsão e controle) ou uma falha em algum sistema auxiliar crítico.

Estes sistemas auxiliares críticos correspondem ao sistema de refrigeração e ao sistema de combustível; pois conforme a FMEA os modos de falha dos sistemas de ventilação, ar comprimido e lubrificação não afetam a posição; enquanto os modos de falha dos sistemas de refrigeração e combustível podem levar a perda de até três motores dos conjuntos moto-geradores ou quatro propulsores, levando a perda de propulsão controlada, causando a deriva livre [9].

A seguir serão apresentadas as árvores de falha e a explicação para cada situação.

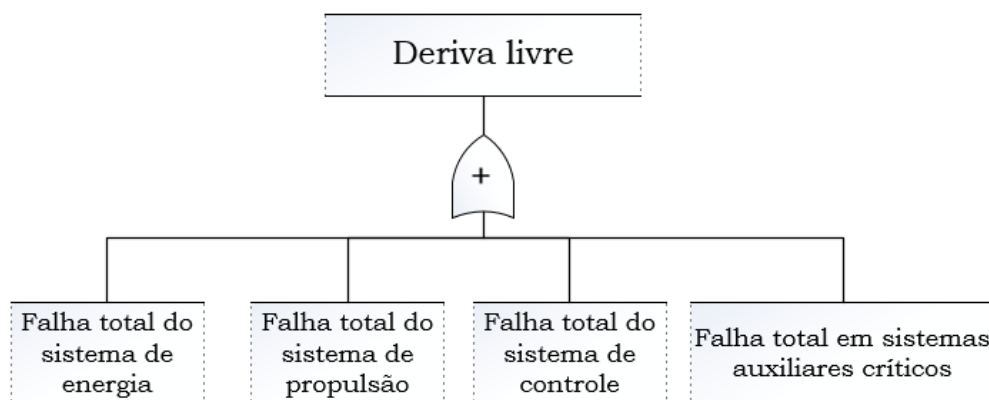


Figura 5 - Árvore de falha de deriva livre.

A Figura 5 apresenta uma árvore de falha macro, a qual será detalhada através do desenvolvimento de cada um dos eventos base (falha total dos sistemas principais e os sistemas auxiliares críticos do sistema DP2).

4.1.1 Falha total do sistema de energia

Quando se trata a falha do sistema de energia, pode se construir a árvore da Figura 6, na qual nota-se que o sistema apresenta uma falha total se ocorrer alguma das falhas a seguir:

- I. Falha na geração de energia: ocorre quando todos os conjuntos moto-geradores do circuito elétrico (lado A e lado B) e os componentes de emergência não consegue fornecer energia pois pelo menos um de seus componentes está em falha (conjunto moto-gerador, *switchboard* ou barramento). Isto resultaria na perda de posição da embarcação por falta de energia. Ainda que seja possível que as UPS forneçam energia para os componentes eletrônicos do propulsor, os motores elétricos do propulsor precisam de fornecimento de energia desde os *siplinks*.
- II. Falha do PMS: embora a *switchboard* possa ser ativada de forma manual na ocorrência de falha do PMS, na árvore são consideradas falhas do PMS que gerem falsas demandas em ambos os lados da embarcação.
- III. Falha das *switchboard* e os componentes de emergência (conjunto moto-gerador, *switchboard* ou barramento).
- IV. Falha dos barramentos: Ocorre quando o sistema de energia perde os dois barramentos principais e o barramento de emergência, causando assim a interrupção do fornecimento de energia para o sistema de controle e propulsão.

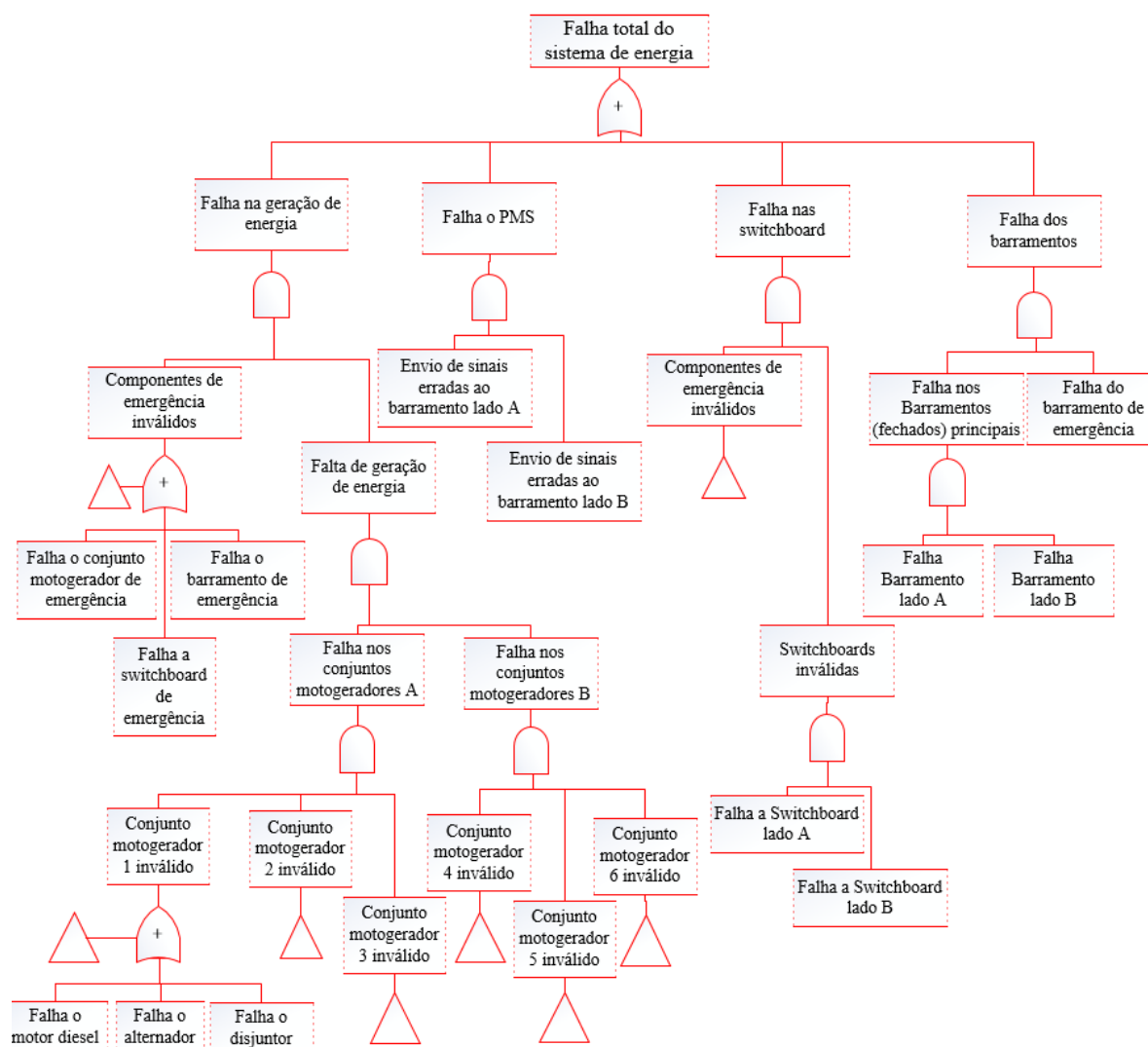


Figura 6 - Árvores de falha do sistema de energia.

4.1.2 Falha total do sistema de propulsão

Quanto ao sistema de propulsão, a deriva livre é causada pela falha dos propulsores nos dois bordos da embarcação, perdendo assim toda a força de empouço e torque da plataforma (Figura 7).

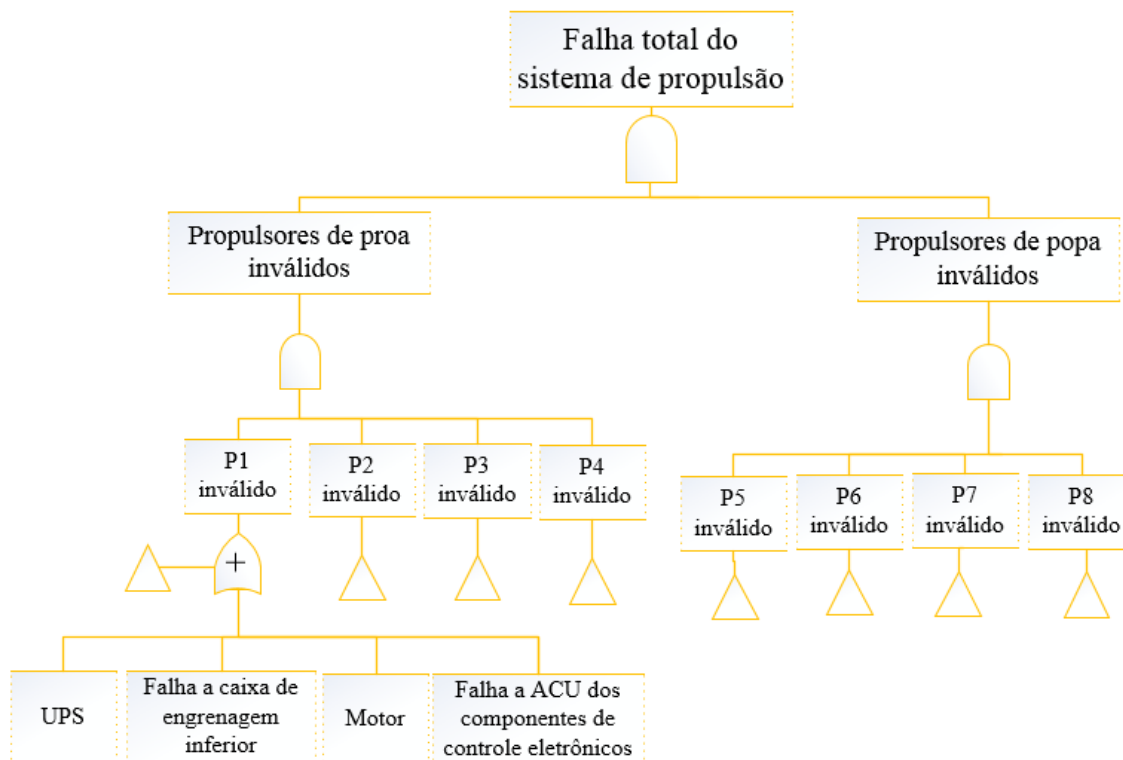


Figura 7 - Árvore de falha do sistema de propulsão.

4.1.3 Falha total do sistema de controle

A falha do sistema de controle acontecerá quando houver falha de todos os controladores do sistema (computadores de controle e IJS) ou quando houver falha das UPS críticas, isto é, seguindo a estrutura apresentada na Figura 2, as UPS B e C são críticas pois quando as duas falham o sistema DP perde dois computadores de controle, o IJS, alguns sensores (VRS2, VRS3, Wind1, Wind3, Gyro2 e Gyro3) e os quatro PRS (Hidroacústico1, Hidracústico2, DGPS1 e DGPS2); enquanto a UPS A, fornece energia ao computador de controle 1 e a sensores, apresentando redundância para sensores, mas, não para PRS. Têm se ainda que quando a UPS A opera e as UPS críticas falham o sistema DP perde o controle, pois não dispõe de informações dos PRS.

A Figura 8 apresenta a árvore de falhas do sistema de controle.

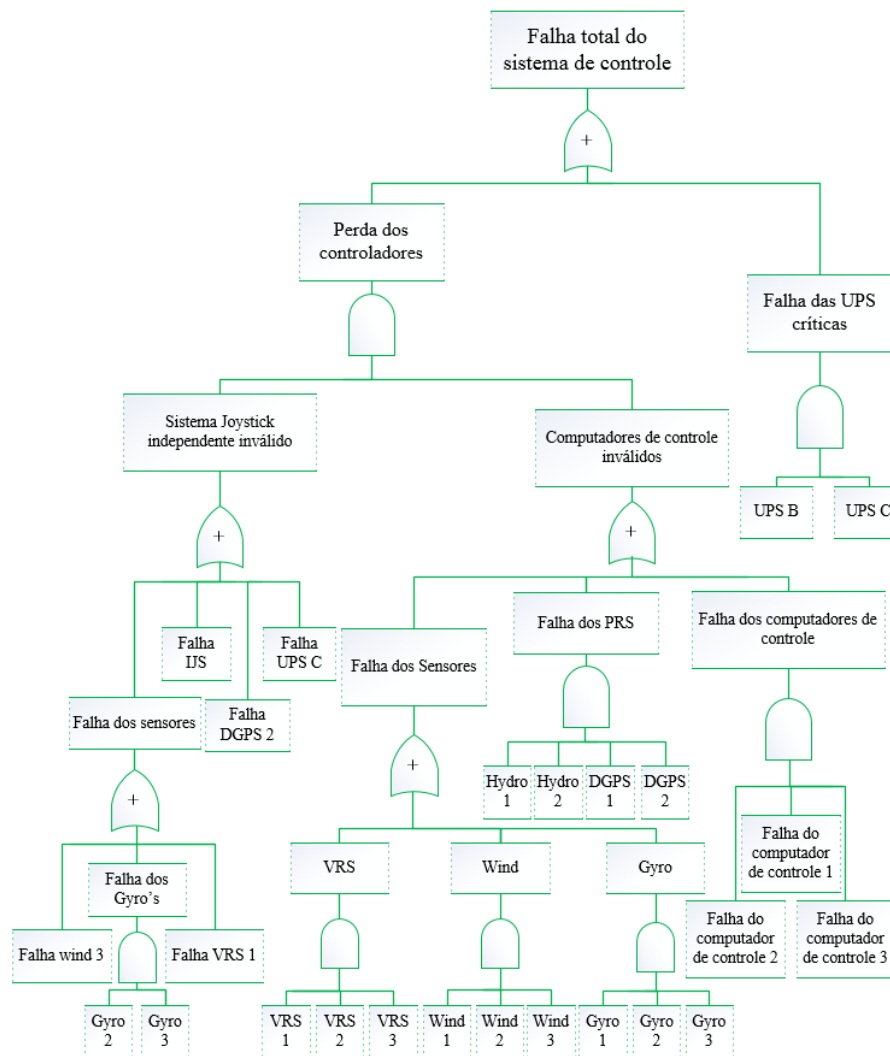


Figura 8 - Árvore de falha do sistema de controle.

4.1.4 Falha nos sistemas auxiliares

Finalmente, existem dois sistemas auxiliares que se falharem podem levar à perda de propulsores e/ou conjuntos moto-geradores, e por isso são considerados na árvore de deriva livre (Figura 5).

Estes sistemas auxiliares são:

- ❖ Sistema de refrigeração, o qual é composto por três subsistemas: subsistema de água doce (“*Fresh Water*” – FW), subsistema de água do mar (“*Sea Water*” – SW) e subsistema de água doce de alta temperatura (“*High Temperature Freshwater*” – HTFW). A falha total do sistema de refrigeração ocorre quando falham as oito bombas do subsistema SW invalidando assim todos os propulsores, ou quando falham os oito circuitos de refrigeração do subsistema HTFW.
- ❖ Sistema de combustível que fornece combustível aos motores dos conjuntos moto-geradores, este sistema falhará quando houver a falha das duas bombas (principal e reserva) do subsistema de armazenamento ou quando houver falha dos quatro purificadores do subsistema de purificação.

A Figura 9 apresenta a árvore de falhas dos sistemas auxiliares críticos.

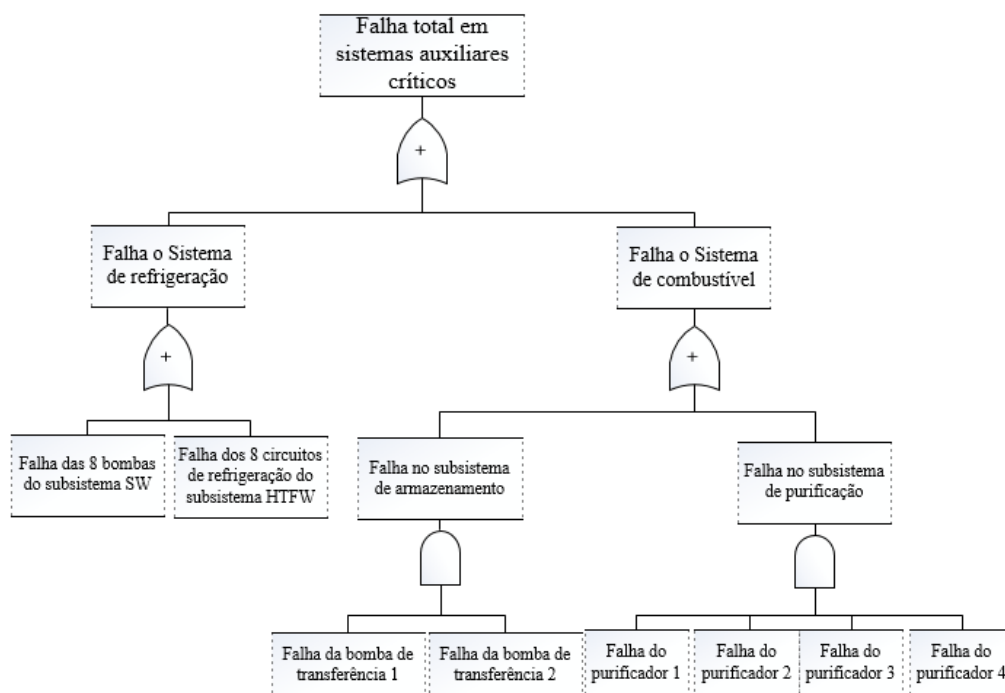


Figura 9 - Árvore de falha dos sistemas auxiliares críticos.

4.1.5 Cálculo das probabilidades dos eventos topo

Depois de desenvolver as árvores de falha, foram compiladas as informações sobre as taxas de falha dos principais componentes, com a finalidade de obter a probabilidade dos eventos topos em cada árvore e, finalmente, conhecer a probabilidade da plataforma SS apresentar uma deriva livre. A Tabela 5 apresenta as taxas de falha dos componentes e subsistemas usados nas árvores, assim como as fontes dos dados.

Tabela 5 - Taxas de falha dos componentes e subsistemas do sistema DP2 [13]-[21].

	Item	Taxa de falha [falhas/h]	Fonte
Sistema de energia	Motor diesel	$5,49 \times 10^{-5}$	OREDA (2015)
	Gerador	$4,16 \times 10^{-5}$	OREDA (2015)
	Disjuntor	$2,10 \times 10^{-6}$	IEEE (2007)
	PMS	$1,74 \times 10^{-5}$	OREDA (2009)
	Barramento	$1,70 \times 10^{-6}$	IEEE (2007)
	Switchboard	$9,49 \times 10^{-6}$	IEEE (2007)
	Motor diesel (emergência)	$5,46 \times 10^{-6}$	OREDA (2015)
	Gerador (emergência)	$3,58 \times 10^{-5}$	OREDA (2015)
	Barramento (emergência)	$1,70 \times 10^{-6}$	IEEE (2007)
	Switchboard (emergência)	$2,20 \times 10^{-6}$	IEEE (2007)
Sistema de propulsão	UPS	$6,36 \times 10^{-5}$	NIOT (2015)
	Caixa de engrenagem inferior	$1,61 \times 10^{-6}$	IEEE (1997)
	Motor	$1,25 \times 10^{-5}$	OREDA (2009)
	ACU	$8,80 \times 10^{-6}$	Vedachalam et al. (2013)
Sistema de controle	Computador de controle	$1,74 \times 10^{-5}$	OREDA (2009)
	VRS	$1,13 \times 10^{-5}$	NIOT (2016)

	Wind	$5,15 \times 10^{-5}$	NIOT (2016)
	Gyro	$3,33 \times 10^{-5}$	NIOT (2013)
	Hydro	$2,85 \times 10^{-5}$	NIOT (2016)
	DGPS	$1,02 \times 10^{-5}$	Novatel (2017)
	UPS	$6,36 \times 10^{-5}$	NIOT (2015)
	IJS	$1,74 \times 10^{-5}$	OREDA (2009)
Sistemas auxiliares	Bomba do subsistema SW	$6,15 \times 10^{-6}$	OREDA (2015)
	Circuito de refrigeração HTFW	$4,03 \times 10^{-6}$	OREDA (2015)
	Bomba de transferência	$1,93 \times 10^{-5}$	OREDA (2015)
	Purificador	$7,20 \times 10^{-5}$	OREDA (2015)

No software SAPHIRE 8 foram desenvolvidas as quatro árvores de falha (Figuras 6, 7, 8 e 9), que alimentadas com os dados da Tabela 5 permitiram o cálculo das probabilidades de falha dos sistemas principais, para um tempo de operação de um ano (8760 horas):

- ❖ Falha do sistema de energia: 0,0632
- ❖ Falha do sistema de propulsão: 0,0214
- ❖ Falha do sistema de controle: 0,2375

Enquanto a probabilidade de falha dos sistemas auxiliares críticos é 0,0711.

Finalmente foi desenvolvida no software SAPHIRE 8 a árvore da Figura 5, concluindo que a probabilidade da plataforma SS apresentar uma deriva livre é 0,3507 no período de um ano de operação.

Com esta informação foi possível a construção do diagrama de restrição das próximas seções, para conhecer a probabilidade a embarcação ocupar uma locação próxima a unidade FLNG.

4.2 Diagrama de restrição

Um Diagrama de restrição (DR) consiste em representações gráficas polares que indicam as mínimas distâncias entre um obstáculo e a sonda DP, de acordo com uma determinada probabilidade-alvo de colisão. O diagrama é centrado na sonda com sistema DP e a partir de cálculos probabilísticos determina áreas onde não pode haver nenhum obstáculo de acordo com direções e condições ambientais [22].

A Figura 10 apresenta o diagrama de restrição (DR) para a plataforma SS, construído utilizando-se os dados de aproximadamente 15.000 simulações, as quais consideram condições ambientais – correnteza, vento, ondas – na Baía de Santos, além dos dados da plataforma (intervalo esperado entre blackouts, duração média de um blackout, dimensões).

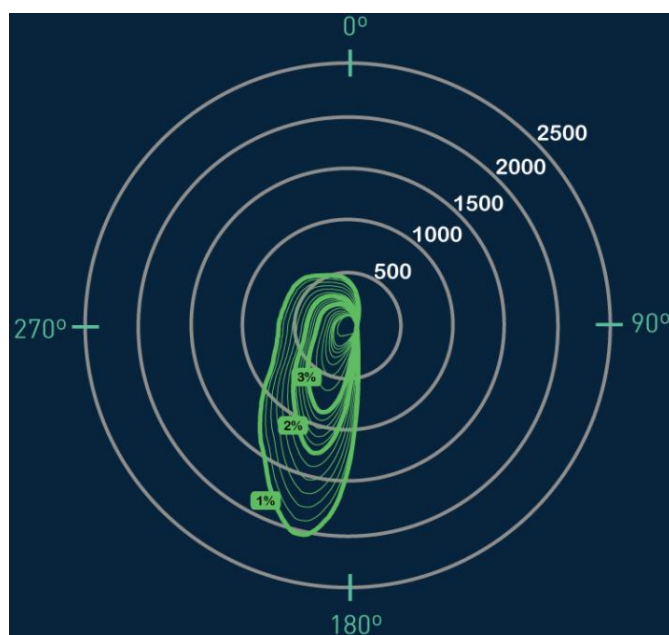


Figura 10 - Diagrama de restrição da plataforma SS.

O diagrama permite identificar que nas zonas limitadas pelas linhas verdes não deveria haver nenhum obstáculo, porque se a sonda deriva a probabilidade de ela ocupar essas posições é 3%, 2% ou 1% respectivamente; e depois da sonda ocupar essa posição, se houver um obstáculo fixo nesta zona, a probabilidade de ele colidir é 100%.

5. ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS

Depois de conhecer a probabilidade de a plataforma perder propulsão controlada (derivar) e a probabilidade de ela ocupar certas posições perto da sua posição original (com o diagrama de restrição), os autores desenvolveram uma análise das consequências no caso dela derivar e estar a 1400 metros de uma unidade de FLNG.

A unidade FLNG é uma embarcação com capacidade de transformar em líquido o Gás Natural através do resfriamento; para o estudo a unidade considerada têm 488m de comprimento, 74m de boca e 105m de altura. Sua capacidade de armazenamento é 100 mil toneladas de GNL distribuídos em 6 tanques, e vai-se considerar que no caso de abalroamento irá ocorrer o vazamento dos 6 tanques [23].

Vale ressaltar que na atualidade no Brasil não se tem unidades FLNG em operação, mas a fim de dar realidade ao estudo, foram procurados na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível – ANP (2016) a localização da FPSO (em inglês “*Floating Production Storage and Offloading*”) com maior produção de GNL na Bacia de Santos [24].

A unidade FPSO foi substituída pela unidade FLNG, pois o intuito do estudo era o dano catastrófico em vidas humanas (fatalidade) e não no ambiente. Por se tratar de armazenamento de gás e não de óleo, o FLNG não terá um dano ambiental severo a ser considerado.

Na referência [23] também foram identificados 145 poços que estiveram em operação nos últimos três anos na Bacia, e avaliaram-se as latitudes e longitudes de cada poço para escolher os 4 poços mais próximos a unidade FPSO identificada previamente, a Figura 11 apresenta a localização real dos poços considerados no estudo e as distâncias entre os poços e a unidade FLNG.

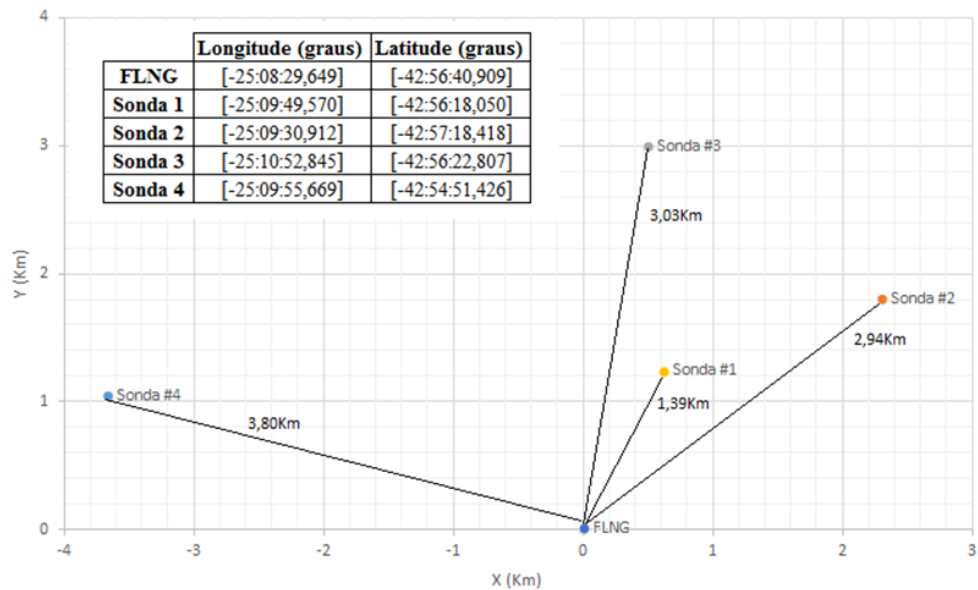


Figura 11 - Localização das sondas nas proximidades da FLNG.

Com as novas considerações das sondas 2, 3 e 4 da Figura 11, foi desenvolvido um novo DR com a inclusão das mesmas.

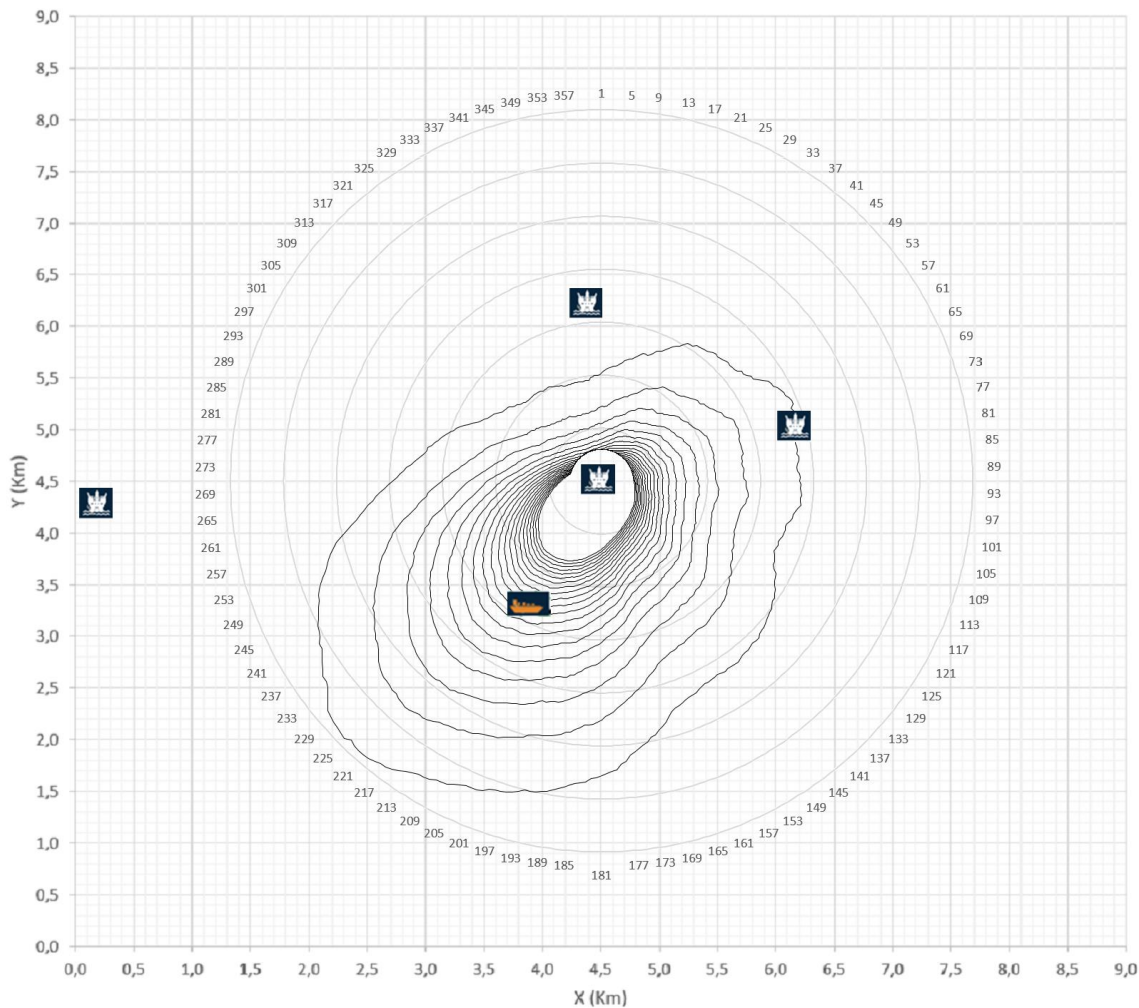


Figura 12 - Diagrama de restrição baseado nas condições da Bacia de Santos com a inclusão de três sondas (plataformas SS).

A Figura 11 apresenta o campo hipotético considerado para gerar o diagrama da Figura 12, e para a análise de consequência é pressuposto que as sondas adicionais são plataformas SS que operam com 120 funcionários cada uma.

Finalmente os autores usaram o software PhastRisk a fim de avaliar as consequências da colisão entre a unidade FLNG e a plataforma SS que originalmente encontra-se na localização da sonda 1, e a incidência deste acidente nas operações das plataformas SS localizadas nas posições das sondas 2, 3 e 4.

A Figura 13 apresenta o resultado do Flash Fire, isto é, quando acontece um vazamento de GNL, além da formação da poça, uma nuvem de vapor poderá se formar e dispersar para a atmosfera, logo do início do vazamento. Caso esta nuvem encontre uma fonte de ignição, haverá o chamado incêndio em nuvem (Flash Fire), mas para que isso aconteça se precisa que a concentração da nuvem se encontre entre os limites superior e inferior de flamabilidade do material que a compõe [25]. Este tipo de evento é caracterizado por alta temperatura, curta duração e uma frente de fogo que se move rapidamente.

Assim, para o estudo do caso a Figura 13 representa a área sujeita a um eventual evento indesejado do incêndio e como o software PhastRisk considera dois cenários (noite e dia) a imagem apresenta quatro curvas. As curvas verde e azul apresentam a maior distância percorrida pela fronteira da nuvem, quando a mesma apresenta as concentrações correspondentes ao seu limite inferior de flamabilidade e 50% deste valor, respectivamente, para a condição ambiental no dia. As curvas amarela e vermelha apresentam os mesmos resultados para a noite. Assim, se uma pessoa permanece numa das zonas definidas pelas curvas verde ou vermelha durante 20 segundos ou mais a probabilidade de fatalidade é de 100%; enquanto se a pessoa permanece durante este tempo numa das zonas definidas pelas curvas azul ou amarela, a probabilidade de fatalidade é 54,05% [27].

Normalmente, na noite a nuvem percorre uma maior distância que no dia porque na noite a atmosfera é mais estável [26]. Assim, é comum considerar como região segura, a região fora do círculo que representa a maior distância percorrida pela nuvem.

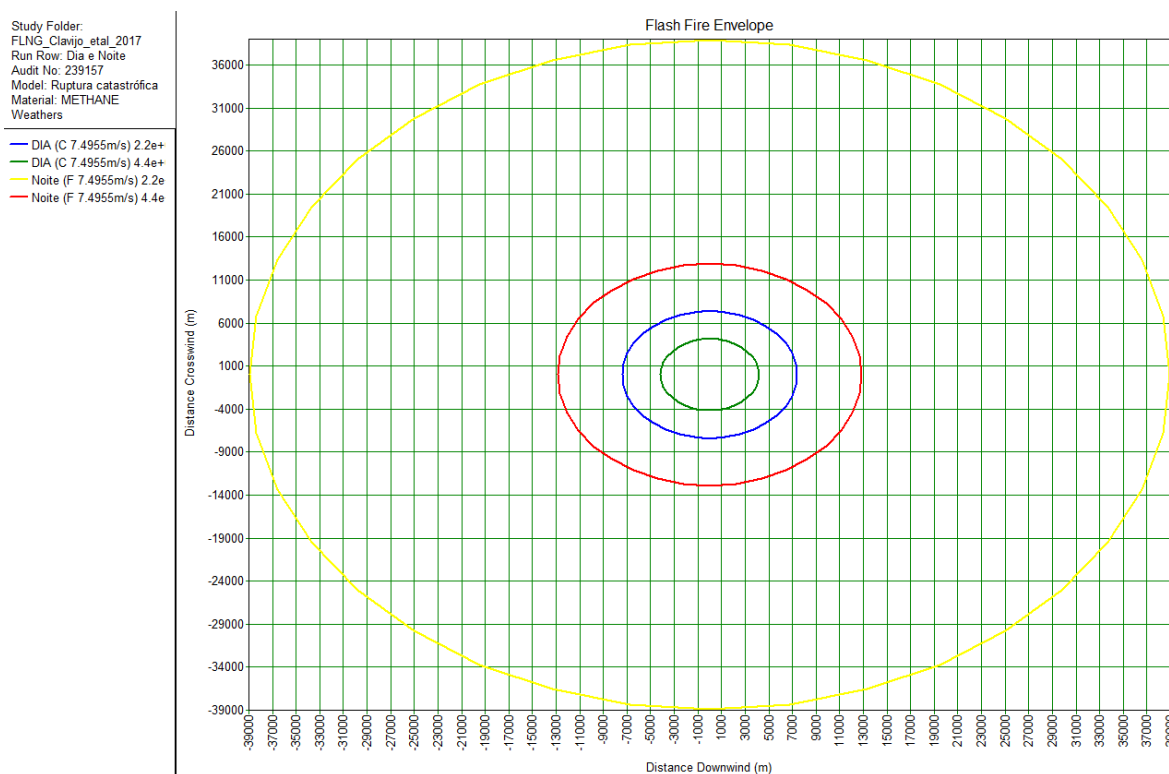


Figura 13 - Resultado do Flash Fire (incêndio em nuvem) no software PhastRisk

A Figura 13 também é um resultado obtido no software PhastRisk. Esta imagem apresenta a curva da radiação, e são importantes os três pontos marcados porque os 1200 metros representam o raio da poça, os 2150 metros representam a distância na qual a intensidade da radiação é de $37,5 \text{ kW/m}^2$, isto é nesta distancia vai se alcançar 50% de fatalidades e os 3300 metros correspondem a distância na qual a intensidade da radiação gera 1% de fatalidades ($12,5 \text{ kW/m}^2$); conforme é estabelecida na Norma Técnica P4.261 de 2011 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [26].

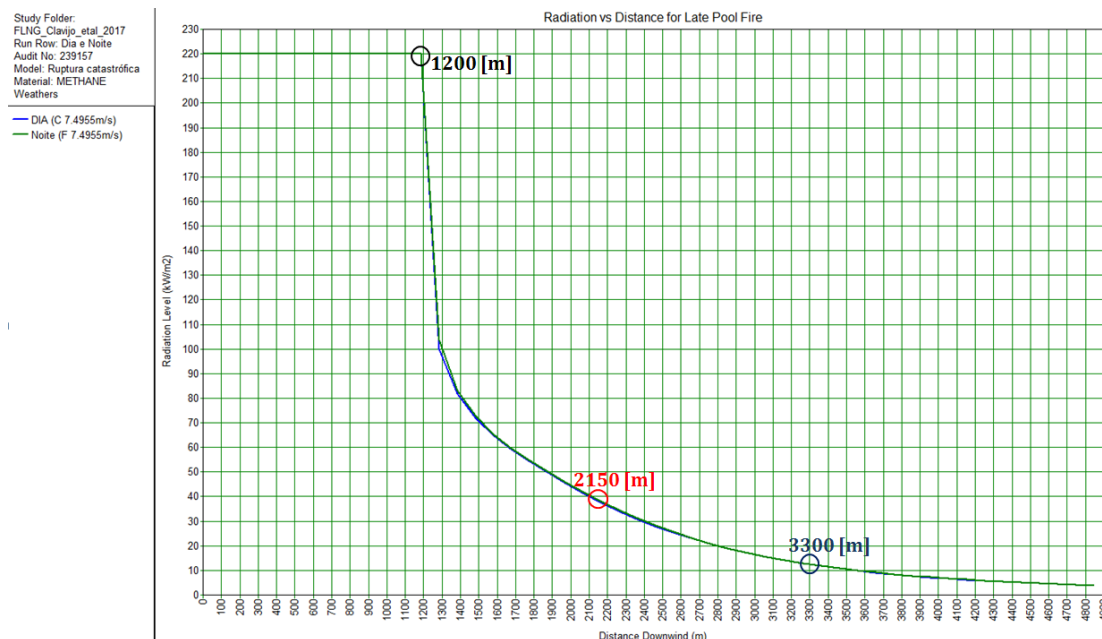


Figura 14 - Curva da radiação em função da distância ao centro da poça para o incêndio em poça

Finalmente, no software PhastRisk os autores obtiveram a Figura 13, na qual é possível identificar que com a informação usada, com exceção da Sonda #2, todas as demais plataformas SS que se encontrem nas imediações do FLNG estão sujeitas a um risco de 0,1%. Na Figura 15 o contorno vermelho corresponde à região cujo risco é de 0,1%, o qual é o valor máximo de risco tolerável.

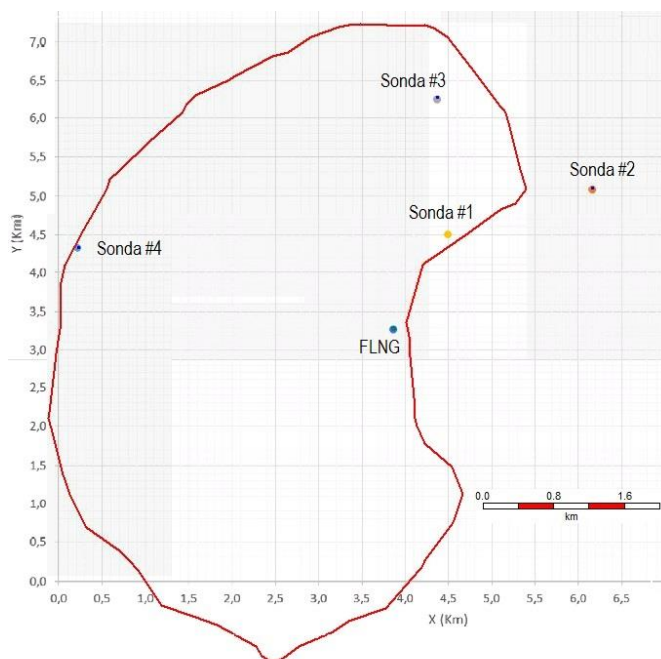


Figura 15 – Nível do risco ao que estão sujeitas as embarcações envolvidas no estudo

6. CONCLUSÕES

Conforme a revisão da literatura, as unidades com sistemas DP2 podem operar com barramentos fechados ou abertos, a principal vantagem de se operar com os barramentos fechados é que proporciona maior carga média nos moto-geradores, possibilitando uma economia de combustível e atenuando efeitos de carbonização nos motores. Enquanto, a vantagem de se operar com os barramentos abertos é que mesmo falhas severas no sistema não causam um blackout total da unidade, já que o funcionamento se dá por meio de barramentos completamente isolados/ilhados. Em geral, esta configuração é recomendada para operações com maiores graus de criticidade.

Respeito a avaliação qualitativa, a análise FMEA permitiu identificar 113 modos de falha, nos quais o 78.76% encontram-se no nível de risco tolerável e o 7.08% estão na zona não tolerável. Dos eventos de perigo identificados nesta zona, seis estão associados a falha do sistema de energia, especificamente a seção switchboard, o barramento, o PMS e os disjuntores; e dois a falha do sistema de combustível (sistema auxiliar), especificamente aos tanques de armazenamento do combustível.

Vale ressaltar que nesta avaliação foi possível conhecer que os modos de falha dos sistemas de ventilação, ar comprimido e lubrificação não afetam a posição da plataforma; enquanto os modos de falha dos sistemas de refrigeração e combustível podem levar a perda de até três motores dos conjuntos moto-geradores ou quatro propulsores, levando à deriva livre a plataforma SS.

A avaliação qualitativa mostrou que para a embarcação em estudo (plataforma SS), uma das UPS só apresenta redundância para sensores, mas não para sistemas de referência de posição. Por isso, as UPS B e C são críticas, porque quando as duas falham o sistema DP falha, ainda tendo operável a UPS A. Estes tipos de resultados forem relevantes para a construção das árvores de falha na avaliação quantitativa.

A avaliação quantitativa permite concluir que o sistema de controle apresenta a maior probabilidade de falha de todos os sistemas avaliados (energia, controle, propulsão e auxiliares), seguido pelos sistemas auxiliares críticos com uma probabilidade de falha de 0.0711; enquanto o sistema de propulsão é o sistema que apresenta a menor probabilidade de falha para 8760 de horas de operação.

Uma das possíveis razões para justificar que o sistema de controle é o sistema que apresenta a maior probabilidade de falha é que a operação deste sistema precisa de muitos sensores e um dos componentes mais complexos de gerenciar são os componentes eletrônicos. Por exemplo, se os três sensores gyro falharem o sistema de controle vai falhar porque não tem informação sobre o ângulo de aproamento da unidade em relação ao norte geográfico; e esta informação é necessária para o modelo matemático calcular a posição nos computadores de controle.

Respeito, as probabilidades calculadas no estudo é possível concluir que a probabilidade da plataforma SS apresentar uma deriva livre (perda total do controle da posição) durante um ano de operação é de 35,07%; e a probabilidade de ocorrer uma aproximação descontrolada com possível abalroamento com um FLNG nas proximidades é de 1,2%.

Em relação à análise de consequências é possível concluir que o raio da poça se acontecer a colisão entre a unidade FLNG e a plataforma SS que apresenta previamente uma deriva livre é aproximadamente de 1200 metros. Enquanto, as plataformas que se encontrem nos três poços mais próximos do acidente entre a unidade FLNG e a plataforma SS, não vai ser afetadas pela nuvem e nem pela radiação térmica.

Finalmente, considerando o nível de tolerabilidade sugerido na referência [7], é possível concluir que o nível do risco ao qual os funcionários da unidade FLNG e os funcionários da plataforma SS são submetidos é tolerável.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio concedido por Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS, no fornecimento da informação necessária e sua excelente cooperação.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Ortiz, J., & Dalla, A. (2007). A Petrobrás e a exploração de Petróleo Offshore no Brasil: Um approach evolucionário. *Revista Brasileira de Economia*, 95-109.
- [2] IMO. (1994). Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. Londres: International Maritime Organization-IMO.
- [3] Patino, C. (2012). Avaliação probabilística do risco. *Análise de risco em operações de "offloading" – Um modelo de avaliação probabilística dinâmica para a tomada de decisão* (pp. 8-36). São Paulo: Universidade de São Paulo.
- [4] DOE. (2013). *Liquefied Natural Gas: Understanding the basic facts*. Acesso em 15 de 08 de 2017, de Department of Energy - United States of America Site web: https://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/LNG_primerupd.pdf
- [5] Petrogas. (2011). Tipos de plataformas de petróleo. Acesso em 22 de 05 de 2017, disponível em PetroGasNews: <https://petrogasnews.wordpress.com/2011/03/06/tipos-de-plataformas-de-petroleo/>
- [6] Offshore energy. (2017). Shell's Prelude FLNG finally on the move. Acesso em 25 de 07 de 2017, disponível em Offshore energy today: <http://www.offshoreenergytoday.com/shells-prelude-flng-on-the-move/>
- [7] Aven, T., & Vinnem, J. (2005). On the use of risk acceptance criteria in the offshore oil and gas industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 15-24
- [8] Ferreira, D. (2016). *Confiabilidade de sistemas de geração de energia em sondas de posicionamento* dinâmico por simulação Monte Carlo. Rio de Janeiro: UFRJ.
- [9] TRANSOCEAN. (2009). SEDCO 706 Failure Modes, Effects and Criticality Analysis of the DP System . Brasília: TRANSOCEAN
- [10] DNV. (2011). Dynamic positioning systems. Noruega: Det Norske Veritas - DNV.
- [11] ABS. (2013). Guide for dynamic positioning systems. Houston: American Bureau of Shipping - ABS.
- [12] DNV. (2013). Dynamic Positioning Systems. In: DNV, Rules for classification of Ships, Part 6 chapter 7. (pp. 29-42). Noruega: DET NORSKE VERITAS AS - DNV.
- [13] OREDA. (2009). Offshore Reliability Data. Oslo: Offshore Reliability Data Handbook.
- [14] OREDA (2015). Offshore Reliability Data. Oslo: Offshore Reliability Data Handbook.
- [15] IEEE standard: IEEE recommended practices for the design of reliable industrial and commercial power systems, IAS/PSE- Power System Engineering, 1997.
- [16] IEEE standard: IEEE recommended practices for the design of reliable industrial and commercial power systems, IAS/PSE- Power System Engineering, 2007.
- [17] Naval Surface warfare Center, Handbook for Reliability Prediction of Mechanical Equipment, Caderock Division, 2011
- [18] R. Venkatesan, N. Vedachalam, R. Sundar, M.A. Muthiah, P. Prasad, M.A. Atmanand, Assessment of the reliability of the Indian tsunami buoy system, *Underwater Technol.* 32 (2015) 255–270.
- [19] R. Venkatesan, G. Vengatesan, N. Vedachalam, M.A. Muthiah, R. Lavanya, M.A. Atmanand, Reliability assessment and integrity management of data buoy instruments used for monitoring the Indian Seas, *Appl. Ocean Res.* 54 (2016) 1–11.
- [20] MTBF specifications of GPS receivers, <http://www.novatel.com/support/known-solutions/mtbf-specifications-for-gps-700-series>
- [21] Vedachalam, N., & Ramadass, G. (2017). Reliability assessment of multi-megawatt capacity offshore dynamic positioning systems. Chennai: National Institute of Ocean Technology, Ministry of Earth Sciences
- [22] Oliveira, C. A., Pallaoro, A., Vieira, L., & Jacob, B. (2004). Polar Restriction Diagrams for Dynamically Positioned Units. International Offshore and Polar Engineering Conference (pp. 367-372). Toulon: The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [23] SINCOMAM (15 de 01 de 2015). Shell projeta o maior navio do mundo. Acesso em 04 de 09 de 2017, disponível em SINCOMAM: <http://www.sincomam.com.br/index.php/shell-projeta-o-maior-navio-do-mundo/> .
- [24] ANP. (2016). Dados de E&P. Agosto 30 de 2017, de Agencia Nacional do Petroleo, Gás Natural e Biocombustível Site web: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/exploracao-e-producao-de>

- oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/dados-de-e-p.
- [25] Medeiros, V. e Martins, M. (2015). Methodology for Risk Analysis of an Ammonia Tank Refueling Process in a Uranium Hexafluoride Facility using Bayesian Networks. Agosto 30 de 2017, de Abrisco Sitio web: <http://www.labrisco.usp.br/site/wp-content/uploads/2016/02/Abrisco-Vitor.pdf>
- [26] CETESB. (2014). NORMA TÉCNICA P4.261. Agosto 08 de 2017, de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Sitio web: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/datageofiles/Legislacao/Normas/P4261-revisada.pdf>
- [27] Martins, M. (2017). PNV-Análise de Risco. Junho 2017, de LabRisco Sitio web: <http://www.labrisco.usp.br/~marcelo/PNV5020/PNV5020%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Riscos%202017.pdf>