

# **Análise de Risco aplicada a navios transportadores de Gás Natural Liquefeito (GNL)**

Nilton Hiroaki Ikeda

Engenheiro Naval e Oceânico

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Universidade de São Paulo

Avenida Dr. Mello Moraes, 2231 Cidade Universitária São Paulo SP

Fone 5511 3091 5340

Fax 5511 3091 5340

E-MAIL [hiroaki.ikeda@usp.br](mailto:hiroaki.ikeda@usp.br)

Marcelo Ramos Martins

Professor Doutor

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

Universidade de São Paulo

Avenida Dr. Mello Moraes, 2231 Cidade Universitária São Paulo SP

Fone 5511 3091 5340

Fax 5511 3091 5340

E-MAIL [mrmartin@usp.br](mailto:mrmartin@usp.br)

## **Resumo**

Tendo em vista a crescente importância do Gás Natural na matriz energética no Brasil, o Gás Natural Liquefeito (GNL) apresenta-se como uma fonte flexível de suprimento para responder à demanda sazonal das usinas termelétricas quando os reservatórios das hidroelétricas se apresentarem em níveis críticos, garantindo maior segurança energética ao Brasil. Além da possibilidade de utilização de utilização do GNL produzido nas plataformas de petróleo da camada Pré Sal. Por estas razões há a tendência de aumento do trânsito de navios transportadores de GNL na Costa Brasileira e, por consequência, da exposição da população aos potenciais riscos.

Embora não se tenha registros de graves acidentes, a cadeia de GNL apresenta grandes riscos. Navios transportadores de GNL representam uma fonte de risco especialmente na aproximação de terminais, não somente em relação à

possibilidade de ocorrência de um acidente marítimo como também pode representar um alvo para ações de sabotagem ou terroristas. Por este motivo, a análise dos riscos associados a tais operações têm sido fonte de preocupação internacional.

O artigo ora proposto analisará os riscos de um vazamento de GNL de um navio transportador na costa brasileira e tem por objetivo identificar as possíveis conseqüências, avaliando-se o impacto de possíveis acidentes na região costeira. Trata-se de uma questão complexa que requer a compreensão do desenvolvimento dos fenômenos físicos envolvidos após o vazamento. Há a necessidade da identificação de muitas variáveis, incluindo as condições atmosféricas e as fontes de ignição a fim de verificar a extensão dos possíveis efeitos em cascata. Atenção será dada às conseqüências para a população sujeita aos efeitos de exposição térmica de possíveis explosões e fogo resultante.

### ***Introdução***

Neste item será feita uma breve apresentação de conceitos referentes a esta análise.

Perigos são eventos e condições que podem resultar em severidade, ou seja, causar significativo dano. (Kristiansen (2005)).

Perigos ou ameaças são condições que podem levar a um evento indesejável e controles são as medidas preventivas tomadas contra esses perigos ou ameaças. [*American Bureau of Shipping (ABS) (2000)*].

Um acidente pode ser definido como um evento indesejável que resulta em danos aos seres humanos, à propriedade e ao meio ambiente. Acidentes que ocorrem no domínio marítimo são fenômenos complexos. (Kristiansen (2005)).

De acordo com a ABS (2000), um evento é uma ocorrência com um efeito (conseqüência) e uma frequência (ou probabilidade de ocorrência) associados. Conseqüência pode ser expressa como o número de pessoas afetadas (feridas ou mortas), propriedade danificada, quantidade vazada, área afetada, tempo de exposição, atraso na missão, perda em valores monetários. Há vários efeitos decorrentes de um evento inicial, que podem variar em severidade de trivial a catastrófica, dependendo de outras condições e eventos adicionais. A frequência

de um potencial evento indesejável, em geral, é expressa em eventos por unidade de tempo, por exemplo, por ano, podendo ser apresentado por ciclo de operações. As frequências podem ser determinadas a partir de banco de dados históricos (eventos ocorridos no passado) ou através de valores obtidos de simulações probabilísticas.

Conforme a The Netherland Organisation TNO (2003), risco é definido como as conseqüências indesejadas de uma atividade em particular em relação à probabilidade que pode ocorrer. Então o risco depende de duas variáveis características: a magnitude das conseqüências e a probabilidade de ocorrência ou segundo a ABS (2000) pelo produto da frequência de ocorrência e conseqüência do efeito do evento.

Risco pode ser definido como um potencial de perda resultante da exposição a um perigo. A análise de risco é executada considerando-se um determinado cenário, sua probabilidade de ocorrência, suas possíveis conseqüências e severidade das mesmas, associadas a uma população exposta ao risco. [Ayyub et al (1998) apud Souza (2009)].

A TNO (2003) detalha métodos para determinar a probabilidade de eventos indesejados, os efeitos causados e quaisquer danos desencadeados por estes efeitos. As técnicas para as análises probabilísticas devem estar intimamente atadas à análise de conseqüências e de efeitos físicos e químicos do fenômeno. Geralmente esses efeitos físicos e químicos são muito complexos não podendo ser matematicamente descritos, mas, quando objetivamente (diretamente) observados, podem ser reproduzidos (e assim equacionados) e tornam-se acessíveis aos cálculos.

De acordo com Natacci e Martins (2009), a análise probabilística de risco é um método de análise sistemático, lógico e estruturado, focando na identificação e assessoramento dos riscos em sistemas tecnologicamente complexos, com o propósito de melhorar a segurança e o desempenho com o melhor custo efetivo. Está associada à impossibilidade de uma avaliação determinística associada em função da complexidade do problema (muitos eventos de perigo ou incerteza a respeito da sua ocorrência).

### ***Análise de Conseqüências***

A elaboração de análises quantitativas de consequência constitui um passo necessário na quantificação do risco inerente a operações que envolvam materiais perigosos. Especificamente para o transporte de GNL essa análise mostra-se fundamental, uma vez que permite avaliar as áreas de influência sujeitas às consequências de possíveis eventos indesejáveis, como por exemplo, vazamentos com desdobramento em incêndio e explosão. Por meio da quantificação das consequências, é possível estimar danos à propriedade, ao meio ambiente e, principalmente, a indivíduos.

Algumas etapas devem ser seguidas de forma a embasar o processo de análise. O primeiro passo deve ser o levantamento histórico exaustivo de acidentes envolvendo os eventos de risco em análise. A seguir, devem ser identificados os modelos existentes para análise quantitativa de consequências aplicáveis a tais eventos. O passo seguinte envolve a utilização dos modelos analisados para análise de consequências dos eventos de interesse.

Em função da análise dos resultados obtidos, deve-se avaliar a possibilidade de implementação de medidas mitigadoras para a minimização de consequências inaceitáveis e a elaboração de procedimentos para planejamento de emergência.

### ***Análise Preliminar de Perigos***

A metodologia sugerida pela International Maritime Organization (IMO 2002), intitulada: Formal Safety Assessment (FSA) apresenta as diretrizes para a aplicação da análise de riscos no setor naval. Uma das etapas desse processo racional e sistemático é a Análise Preliminar de Perigos (APP), com o objetivo de identificar, de forma estruturada, todos os potenciais perigos e eventos iniciadores de acidentes que possam resultar em consequências a indivíduos, (ferimentos e fatalidades); ao meio ambiente (poluição); e à propriedade (danos econômicos). A APP determina o direcionamento da análise de riscos e consequências. [(IMO 2002, IMO 2007, CETESB 2003)].

A APP - Análise Preliminar de Perigos (Preliminar Hazard Analysis – PHA) é uma das técnicas mais importantes das etapas de Análise de Riscos e

Consequências pelo fato de ser um dos passos iniciais da análise, onde omissões podem levar ao comprometimento de resultados finais (Martins e Natacci, 2009). É precedida da elaboração de uma análise histórica de acidentes (DNV (2001), CETESB (2003)). A APP é uma etapa de busca exaustiva de identificação de perigos, devendo ser o mais abrangente e detalhista possível, e demandam razoável tempo, determinação e conhecimento por parte dos analistas. [IMO(2007), Cabrillo(2006)].

Trata-se de uma técnica estruturada, tendo como objetivo a identificação dos perigos potenciais (Hazard Identification – HAZID) presentes numa instalação, que podem ser ocasionadas por eventos associados indesejáveis que podem resultar em riscos inaceitáveis. [IMO(2002), DNV(2002)].

### ***Gás Natural Liquefeito GNL***

De acordo com a Petrobras (2009), Gás Natural Liquefeito (GNL) é o gás natural resfriado a temperaturas inferiores a  $-160^{\circ}\text{C}$  para fins de transferência e de estocagem como líquido.

Conforme a Petrobras GasLocal (2006), “o GNL é produzido através de um processo criogênico, no qual o gás natural é resfriado à temperatura de  $-162^{\circ}\text{C}$  e tem seu volume reduzido em aproximadamente 600 vezes”.

O Gás Natural Liquefeito (GNL) é produzido por processo de liquefação do Gás Natural (GN), resultando praticamente em uma mistura de gás metano liquefeito, sendo um modo econômico de transportar grandes quantidades de gás natural sendo o transporte e armazenamento realizado à pressão praticamente atmosférica. [SANDIA National Laboratories (2004) e Vanen et al (2008)].

O GNL é inodoro, atóxico, não corrosivo e menos denso que a água. Vapores de GNL (basicamente metano) são mais difíceis de entrar em ignição que outros líquidos combustíveis inflamáveis. [Vanen et al (2008), Foss (2003) e Alderman (2005)].

O vapor de GNL também é incolor, inodoro, não corrosivo e não tóxico e sua liberação tipicamente é percebida como uma nuvem branca visível, devido à baixa temperatura que condensa o vapor d'água presente na atmosfera. [Sandia National Laboratories (2004)].

De acordo com Foss (2003), acima de  $-110^{\circ}\text{C}$ , o vapor de GNL se torna mais leve que o ar, e conforme Ivings et al (2009), rapidamente se dispersa.

Caso ocorra um vazamento de GNL, se a mistura inflamável resultante de ar e vapor não encontrar uma fonte de ignição, ela aquecerá, subirá e se dissipará na atmosfera. No entanto Ivings et al (2009), o metano na temperatura do ponto de ebulição é significativamente mais denso sendo propenso a ocorrer densas nuvens de vapor de GNL em situações de vazamentos. [Foss (2003)].

Conforme a CETESB (2003), Limite Inferior de Inflamabilidade – LII, *Lower Flammability Limit* (LFL) é a “mínima concentração de gás capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição”. Concentrações abaixo do LFL não são combustíveis pois, nesta condição tem-se excesso de oxigênio e pequena quantidade do produto para a queima. Esta condição é denominada de “mistura pobre”. E o Limite Superior de Inflamabilidade – LSI, *Upper Flammability Level* (UFL) é a máxima concentração de gás para que a combustão ocorra, condição denominada de “mistura rica”.

O vapor de GNL dentro dos limites de inflamabilidade (LFL e UFL) pode entrar em combustão caso haja contato com uma fonte de ignição tal como chamas, faíscas ou superfícies aquecidas (fontes de calor). Para uma mistura de 10% de gás Metano e ar, a temperatura de auto ignição é de  $540^{\circ}\text{C}$ . [IMO(2007), ABS(2004)].

Segundo Foss (2003) os potenciais perigos associados ao GNL incluem:

- *Incêndio em poça (Pool Fire)* - Caso o vazamento ocorra perto de uma fonte de ignição e a mistura de vapor e ar estiver dentro dos limites de inflamabilidade, esta mistura queimará sobre a poça de GNL. Estas poças não se extinguem até que todo o GNL seja consumido. A radiação térmica produzida pelo incêndio em poça pode atingir pessoas desprotegidas e danificar propriedades a uma distância considerável da fonte das chamas.

- *Incêndio em Nuvem (Flash Fire)* pela formação de nuvens de vapor. Caso não ocorra uma ignição imediata, o vapor e o gás natural evaporado podem formar uma nuvem de vapor e derivar a certa distância do local de vazamento. Esta nuvem poderá entrar em ignição caso encontre uma fonte de ignição e esteja

dentro da faixa de inflamabilidade, e gradualmente queimará em seu caminho de volta até a fonte do derramamento para continuar queimando na forma de um incêndio em poça.

- As *temperaturas criogênicas* podem ocasionar danos materiais e estruturais tais como trincas, fraturas, fragilização de equipamentos, superfícies ou objetos não preparados para estas temperaturas. Os danos pelo contato direto com o GNL podem ser fatais pela possibilidade de congelamento e danosa à pele além do vapor de GNL ser asfixiante, pela ausência de Oxigênio.

- *Rollover* - Este fenômeno ocorre quando se utiliza vários fornecedores de GNL, com suprimentos de diferentes densidades que não se misturam, a priori, formando várias camadas dentro do tanque. Repentinamente e espontaneamente estas camadas começam a se estabilizar e entrando em movimento, criando sobre pressões dentro do tanque de armazenamento. Nos padrões e normas de construção dos tanques estas sobre pressões estão previstas.

- *Transição Rápida de Fase (Rapid Phase Transition - RPT)* Como o GNL é menos denso que a água, flutua sobre ela e vaporiza enquanto estiver em contato. Quando o GNL for despejado sobre a água a alta vazão uma transição rápida de fase ocorrerá. Esta RPT tem o potencial de quebrar janelas e vidros em suas proximidades.

- *Explosão* - No estado líquido o GNL não é explosivo, e o vapor de GNL somente explodirá caso esteja dentro da faixa de inflamabilidade e dentro de um espaço confinado ou semi confinado.

O GNL por evaporar e não ser tóxico, na ocorrência de vazamentos indesejáveis causará mínimos danos e poluição ao ambiente marinho.

A ocorrência de *BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosions)* está associada com líquidos pressurizados. Os tanques de GNL não são projetados para pressão e possivelmente não se pressurizariam a ponto de causar um sério evento de BLEVE.

### ***Cenários de acidentes***

Os principais cenários citados pela bibliografia para o transporte naval envolvem rompimento do casco e tanque devido à colisão ou encalhe,

abalroamento, fogo a bordo ou explosão e incidentes na operação de carga/descarga. Pelos levantamentos históricos de acidentes relacionados ao transporte marítimo de GNL nenhuma fatalidade diretamente relacionada ao transporte pelos navios transportadores de GNL. [ABS (2004), Hightower et al. (2004)].

Para os eventos de riscos de incêndio e explosão na operação de um navio tipo GNL, as fontes de liberações envolvem geralmente os seguintes modelos: incêndio em nuvem (“flash fire”) e incêndio em poça (“pool fire”).

Pelo glossário de termos da CETESB (2003), incêndio em nuvem (“flash fire”) é o incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida e o seu grau de confinamento não seria o suficiente para atingir o estado de explosão.

De acordo com Parfomak (2003), caso o GNL derramado imediatamente não encontrar uma fonte de ignição, o gás natural evaporado formará uma nuvem de vapor que poderá percorrer certa distância em relação ao ponto de derramamento. Se, em um determinado momento, esta nuvem encontrar uma fonte de ignição, porções da nuvem com a concentração de combustível gás-ar entre 5% e 15 % entrarão em combustão. O fogo ocasionado pode provocar consideráveis danos, mas a nuvem não explode como um todo. Uma nuvem de vapor de GNL queimaria gradualmente percorrendo o caminho de volta, retornando à fonte do derramamento onde os vapores se originaram e poderia continuar queimando como um incêndio em poça. Conforme define a CETESB (2003), incêndio em poça (“pool fire”) é o fenômeno que ocorre quando há a combustão do produto evaporado da camada de líquido inflamável junto à base do fogo.

A radiação térmica do incêndio em nuvem avança com muita velocidade e provoca queimaduras letais aos indivíduos dentro desta nuvem. De acordo com Sandia (2004), o valor de 5 KW/m<sup>2</sup> foi estimado como o suficiente para o indivíduo perceber o calor e poder se abrigar a tempo (20 s), até que comece a sentir as dores decorrentes de queimaduras.

Se um tanque de GNL vazar devido à colisão provocada ou ataque, o evento falha por si mesmo poderia ser fonte de ignição do incêndio em poça bem antes da formação de uma grande nuvem de vapor. Em razão disso, [Parfomak

(2003)], concluiu-se que grandes nuvens inflamáveis de vapor têm menor probabilidade de ocorrer do que os incêndios de poça instantâneos.

Se o derramamento de GNL ocorrer próximo a uma fonte de ignição, o gás evaporado em concentração de combustível gás-ar de 5% a 15 % queimará sobre uma poça de GNL. [Sandia (2004), Parfomak (2003)]. O incêndio em poça resultante pode se espalhar o tanto quanto a poça de GNL se espalhar e continuar evaporando. A radiação proveniente dos incêndios em poça de GNL é intensa, queimando mais rápido e com maior temperatura que o óleo ou gasolina. Não podem ser totalmente extintas até que todo o GNL seja consumido. Pela alta temperatura das poças de fogo de GNL, a radiação térmica provocada pode ferir pessoas e destruir bens a uma distância considerável da fonte térmica. Um incêndio em poça, especialmente sobre a água, devido aos seus efeitos térmicos é considerado o mais sério perigo do GNL.

Quando o derramamento for sobre a água, haverá uma troca de calor transmitida pela água. A poça de GNL flutuará e vaporizará rapidamente até que a poça de GNL evapore completamente. Os vapores de GNL espalham-se rapidamente, podendo percorrer uma razoável distância até se diluir abaixo do limite inferior de inflamabilidade. [ABS (2004), Hightower et al., (2004)].

### ***Navios transportadores de Gás Natural Liquefeito***

Os Navios transportadores de Gás Natural Liquefeito (LNG Carriers) são considerados entre os mais seguros navios em navegação, e esta reputação decorre de serem cuidadosamente projetados, construídos, com constantes manutenções, manejados e operados com foco em segurança em todos os aspectos. Por estes motivos, estatísticas de acidentes fatais ou acidentes envolvendo grandes descargas acidentais não ocorreram nos últimos 30 anos no transporte marítimo de GNL [IMO-FSA-MS83-INF3 (2007)]. As normas de construção de navios são regidas pelas sociedades classificadoras e as normas de segurança de transporte de GNL são sugeridas pela International Maritime Organization (IMO) e aplicadas ao transporte de produtos perigosos em normas e regras pelos países. Além das regras e regulamentos aplicados a construção de todos os tipos navios, os navios transportadores de GNL ficam submetida às

regras IGC (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) e pelas regras da Convenção SOLAS.

Os navios transportadores de GNL são navios providos de duplo casco e duplo fundo, sendo especialmente projetados para lidar com a baixa temperatura do produto. Devido aos perigos inerentes a produtos inflamáveis, respeitam a rígidas normas de construção e de segurança. [Foss (2003)].

Conforme Vanen et al. (2008) e Hightower (2004) a cadeia de transporte de GNL está passando por mudanças consideráveis, com uma expectativa de dobrar de tamanho no período de uma década, pela construção de embarcações cada vez maiores, com a utilização de sistemas de propulsão alternativos, utilização de novas rotas de comércio, operações de produção Offshore e possível falta de tripulação qualificada e bem treinada num futuro próximo. Este desenvolvimento na Indústria do GNL pode trazer um aumento no nível de risco num futuro próximo.

### ***Modelos de dispersão de GNL***

Para a modelagem de um derramamento de produtos voláteis como o GNL, considera-se primeiramente qual a fonte de vazamento, quantidade (volume) derramado, ou a vazão do derramamento; no caso do GNL, o vazamento de líquido e sua subsequente evaporação. Para a dispersão dos vapores e gases, devem ser considerados os dados relacionados ao ambiente em que ocorre o vazamento, tais como a localização, magnitude e duração das concentrações de gás e ar, salientando novamente estar dentro dos limites de inflamabilidade. [AIChE CCPS (1996)].

Para a descrição de um evento e suas conseqüências, a AIChE CCPS (1996) propõe o seguinte procedimento, envolvendo os passos: descrição dos cenários, definição de parâmetros de entrada, definição do modelo fonte, definição do modelo de dispersão de vapor e dos modelos de concentração de gás/ar.

### ***Descrição do cenário***

### ***Modelagem da fonte de emissão, cenário e tipo de descarregamento***

No caso de derramamento/vazamento de GNL, o cenário mais provável seria o de descarga de líquido, com formação de poça e formação de vapor. Haveria também a formação de vapor proveniente do jato líquido contínuo fluindo pela brecha/furo aberto no costado e tanque do navio, devendo-se estimar os valores da vazão para o espalhamento da poça. O modelo da DNV-PHAST considera também a formação de gotículas logo após o furo/brecha como um fator de aumento da poça e a nuvem de vapor formada no fluxo pelo orifício/furo/brecha aumentando a dispersão da nuvem de vapor.

Caso ocorresse um descarregamento de grande volume ou um vazamento catastrófico, como por exemplo, devido a uma colisão, a energia liberada pela colisão seria suficiente para ser a fonte de ignição. No entanto, o vapor de GNL deve estar com a concentração dentro dos limites de inflamabilidade. [SANDIA (2004)].

As propriedades do ambiente em que ocorre o evento, também são parâmetros de entrada: a temperatura do ar, velocidade do vento, umidade, estabilidade, altura da mistura de ar/gás, radiação solar; temperatura da água ou solo onde ocorre o derramamento/vazamento tão como a sua composição, condutividade e porosidade. A rugosidade da superfície também deve ser considerada como também as obstruções por edificações e pela variação de altura do terreno.

#### ***Modelo de fonte de emissão***

O modelo chama-se ruptura catastrófica do tanque, quando se considera todo conteúdo liberado. [AIChE CCPS (1996, 1999)]. Considera-se para o GNL também o modelo de formação de poça, de espalhamento de poça e da dispersão de nuvem de vapor.

#### ***Modelo de dispersão da nuvem de vapor***

São parâmetros de entrada para o modelo, a forma (jato, gás denso, gás flutuando, gás neutro, ou passivo), os parâmetros termodinâmicos (troca de calor com o meio ambiente, condensação e vaporização, trocas de calor devido a reações químicas).

#### **Dados de entrada.**

Para quaisquer modelos adotados, os dados do material, os tipos de fontes de emissão, as condições meteorológicas, as características do local e os dados das localizações ao alcance devem ser previamente determinados com o intuito de assegurar resultados conservadores (a favor da segurança).

De acordo com Carson e Munford (2002), o GNL é predominantemente Metano. As propriedades do Metano são:

Temperatura de Ebulição:  $-162^{\circ}\text{C}$

Temperatura Crítica:  $-82^{\circ}\text{C}$

Pressão Crítica: 45.7 atm

Densidade à Temperatura de Ebulição: 424 Kg/m<sup>3</sup>

Temperatura de Ignição:  $537^{\circ}\text{C}$

Limites de inflamabilidade: 5 % a 15 %

Os dados das tabelas termodinâmicas fazem parte dos bancos de dados termodinâmicos em várias condições (temperatura, pressão) dos programas computacionais.

O resultado destes programas são as tabelas ou gráficos de concentração com o alcance em distância da radiação em calor para os locais atingidos, as alturas, distâncias, concentrações e os tempos de exposição.

### ***Características do local***

As características do local, e a localização da embarcação e posições de construções, estradas e locais habitados devem ser incluídas nos dados de análise. A rugosidade da superfície do local do vazamento influencia na intensidade da turbulência do ar ambiente. A existência de barreiras de contenção, tais como diques, sua dimensão e características do meio onde ocorre o derramamento são parâmetros adicionais para o modelo.

### ***Dados meteorológicos***

Dados meteorológicos locais são importantes parâmetros de entrada para os programas computacionais. Geralmente são provenientes de banco de dados históricos. Com estes dados meteorológicos obtêm-se as classes de estabilidade,

que são parâmetros de entrada para vários programas computacionais e correspondem a valores mais facilmente identificáveis (Classes de estabilidade Pasquill-Gifford A,B,C,D,E,F) conforme a AICHE CCPS (1996, 1999).

O vapor de GNL, por ser mais denso que o ar, flutuará sobre a superfície resultando numa nuvem achatada próxima ao solo/água. Com o aumento da sua temperatura se torna mais leve e dissipa no ambiente. O alcance desta mistura gás/ar nas concentrações de gás/ar para inflamabilidade é então verificado. [Luketa Hanlim (2006)].

Os cálculos de dispersão dos vapores são realizados dentro de condições onde a turbulência do ar do meio ambiente não é preponderante, utilizando-se das classes de estabilidade para estes cálculos. [AICHE CCPS (1996)].

### ***Dados adicionais dos modelos***

Conforme AICHE CCPS (1996), para a geometria dos tanques ou tubulações, leva-se em conta a geometria da fonte, as dimensões do tanque ou tubulação, e as características do orifício, pois um orifício pode representar um vazamento contínuo como um enorme orifício ou brecha, pode ser considerado como uma descarga instantânea ou catastrófica. A localização acima ou abaixo da superfície em que ocorre o vazamento também é um fator importante.

O conhecimento dos procedimentos operacionais das plantas em questão, tais como procedimentos de segurança que influenciam na taxa de descarga da fonte, tais como válvulas automáticas de segurança, métodos e equipamentos de mitigação tais como cortinas de jatos de água e barreiras de vapor. O tempo de duração da descarga depende da máxima taxa de emissão.

### ***Resultados da Análises de Conseqüências***

O alcance dos impactos (conseqüências) relacionados depende dos fatores atmosféricos da região. A estabilidade atmosférica faz com que o alcance seja maior quanto menor for a turbulência do ambiente. O cenário (conseqüência) mais catastrófico é um incêndio em nuvem, devido à dispersão dos gases, com alcance delimitado pelo Limite Inferior de Inflamabilidade, (conservativamente considera-se metade deste valor), e o limite superior de inflamabilidade. (DNV PHAST

RISK). Ocorrendo o incêndio em nuvem, e incêndio da nuvem de vapor ocorre dentro desta envoltória estudo do fenômeno.

As distâncias ou alcance dos impactos decorrentes de vazamentos de um navio GNL na região das nuvens refere-se ao alcance das radiações de calor até  $5\text{KW/m}^2$  do incêndio em poça e do alcance das nuvens de vapor de GNL, nos intervalos de limite de inflamabilidade são os resultados esperados de programas computacionais como do DNV PHAST RISK, disponível comercialmente, adotado e validado experimentalmente.

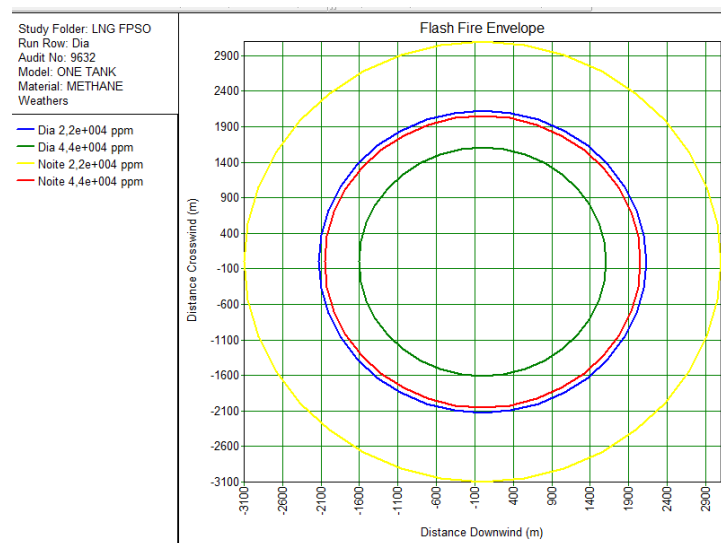


Figura 1 Alcance do Incêndio em Nuvem (Resultado do DNV PHAST RISK 6.54)

Para a ruptura de um tanque de um Navio Transportador de GNL, com  $26.000\text{ m}^3$ , o alcance dos efeitos de um incêndio em poça seriam de 2.650m o alcance dos efeitos do incêndio em nuvem de aproximadamente 3.100 m. Para os eventos ocorrendo de dia, o alcance atingiria 2,100m ( $\frac{1}{2}$ LFL) e para eventos ocorrendo à noite atingiria 3.100m ( $\frac{1}{2}$ LFL) como visto na figura. Esta variação de dia para a noite depende das condições de estabilidade atmosféricas. Durante a noite, devido aos ventos, as nuvens se dispersam vagarosamente, e podem atingir maiores distâncias.

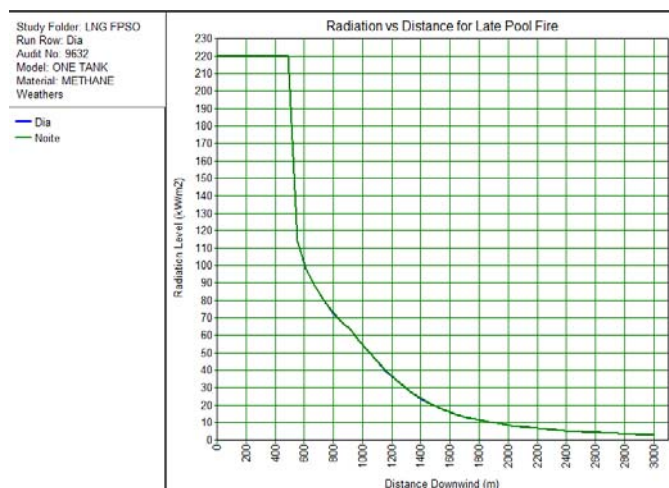


Figura 2 Alcance do Incêndio em Poça (Resultado do DNV PHAST RISK 6.54)

### ***Medidas Preventivas que são adotadas para o manuseio do GNL:***

Os navios transportadores e os terminais de carga/descarga devem estar situados em localizações distantes em relação a regiões povoadas ou industriais.

Os processos de carga e descarga do GNL devem respeitar rígidas regras devido ao perigo inerente devido ao risco de fogo e explosão e o risco devido à criogenia do GNL. Seguem-se rigorosamente as regras da SIGTTO, para os procedimentos de transferência tanto de carga como de descarga. [The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Ltd. SIGTTO (2000, 2004), Central Commission for the Navigation of the Rhine – CCNR (2010)].

De acordo com a Transpetro, (2008), procedimentos de segurança devem ser seguidos para a descarga do GNL. De modo simplificado, segue o processo operacional de transferência de carga: antes da chegada, embarcações que não satisfaçam condições de segurança são afastadas do terminal. O tempo estimado de chegada do navio transportador de GNL deve ser avisado com 72, 48, 24 e 4 horas de antecedência. Após o procedimento de aproximação o navio atraca e são verificadas as linhas de amarração. Condições atmosféricas devem ser respeitadas, para a realização do descarregamento. Procedimentos de segurança para o desembarque da tripulação devem ser seguidos, e roupas especiais são obrigatórias. Antes da transferência de carga, o aterramento elétrico é verificado, as conexões dos sensores eletrônicos também são conectadas e o retorno de vapor é o primeiro braço a ser conectado. Uma checagem de procedimentos (“check-list”) deve ser checada e preenchida. Proibições de procedimentos de

manutenção de vários itens da embarcação enquanto estiver descarregando, proibição de pequenas embarcações não autorizadas na proximidade, não autorização de movimentação de hélices dos navios próximos ancorados, sendo cabível responsabilidade pelas conseqüências. A taxa de transferência de carga é monitorada e registrada tão como as pressões e temperaturas durante o processo de transferência de carga, hora após hora. Não se permite a realização de reparos ou manutenção de qualquer ordem, pois envolve o risco de produção de faíscas ou outras fontes de ignição. A interrupção do processo de carga ou descarga pode ocorrer em caso de situação perigosa tanto para o navio quanto para o terminal, ou em caso de não conformidade com regras e normas referentes a procedimentos de segurança internacionalmente aceitos e adotados no transporte marítimo. Em situações de emergência, o terminal pode interromper as operações focando o uso de todos os seus recursos para a mitigação de um acidente.

Pelos resultados obtidos nas análises de Cabrillo Port (2006), salvaguardas e planos de segurança e ações de proteção devem ser adotados para mitigar ameaças, podendo ser:

- Investigação sobre antecedentes dos funcionários (temporários e permanentes), equipe de serviço e manutenção e operadores que acessem o terminal;
- Inspeção (vistoria ou revista) física para todos os indivíduos que forem admitidos nas embarcações;
- Acesso restrito e monitorado das áreas sensíveis;
- Treinamento dos tripulantes da embarcação e dos funcionários responsáveis pela segurança em cuidados e prevenção.
- Estabelecer reações premeditadas de segurança abordo e do pessoal de suporte em terra;
- Planejamento e coordenação de exercícios com a Polícia Marítima e Bombeiros, com acordos de responsabilidade para cada um dos órgãos envolvidos;

- Assegurar constante inspeção dos rebocadores e do terminal de docagem a fim de evitar a implantação de cargas explosivas;

- Monitoração das comunicações de segurança.

Ações protetivas para mitigar as ameaças podem ser:

- Estabelecimento de áreas de exclusão e de área a ser evitada;

- Utilização de redes de comunicação internacionalmente conhecidas para notificar as embarcações de manutenção ou construção sobre quaisquer atividades, a localização destas e qual duração da atividade. Estas embarcações são instruídas para contactar a embarcação periodicamente.

- Rebocadores nas proximidades para eventuais perigos de colisão, sendo que qualquer embarcação que se aproximar sem aviso seria interceptada pelos rebocadores.

- Utilização de monitoramento ininterrupto 24h, tais como radar, sonar e observação visual;

- Estabelecer procedimentos para prevenir contra a intrusão de pequenas embarcações;

- Conduzir periodicamente exercícios de emergência contra fogo, descargas de produtos, acidentes, e incidentes terroristas.

Em relação aos sistemas de prevenção de segurança devem ser adotados os seguintes:

- Monitoramento de espaço aéreo (radar e visual);

- Restringir a área de pouso de helicóptero somente para uso autorizado;

- Instalação de sistemas automáticos de proteção e de combate a incêndio (fogo) sistemas com desligamento automático

- Sistemas de monitoramento de descargas com sistemas automáticos de retenção;

- Proteção adicional das tubulações (dutos - *pipelines*)

- Sistema de contenção de vapores com cortinas de jatos de água.

- Sistema de contenção (evitar maior espalhamento da poça).

### **Conclusão**

Obtêm-se como resultado desta análise as medidas anteriormente citadas, de salvaguarda, segurança e mitigadoras caso o incidente ocorra. No entanto cabe salientar que a não ocorrência de acidentes fatais deve-se aos cuidados adotados pela indústria do GNL. Com a utilização maciça do GNL como combustível em navios, caminhões e ônibus, usinas termoelétricas, além da futura produção de GNL nos trens de produção embarcados nas plataformas oceânicas, o transporte marítimo de GNL aumentará, e conseqüentemente, pode haver a ocorrência de acidentes. Para que isto não ocorra, essas medidas de segurança até hoje utilizadas, devem ser sempre seguidas.

### **Referências Bibliográficas:**

ALDERMAN, JOHN A. "Introduction to LNG Safety" Wiley Interscience Process Safety Progress Vol.24, No. 3, Setembro de 2005.

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS) "Guidance Notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries", Junho de 2000.

ALDERMAN, JOHN A. "Introduction to LNG Safety" Wiley Interscience Process Safety Progress Vol.24, No. 3, Setembro de 2005.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS - CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (AIChE-CCPS) "Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases", 1999.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS - CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (AIChE-CCPS) "Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models", Segunda Edição, 1996.

CABRILLO PORT LNG PROJECT, "Independent Risk Assessment of the Proposed Cabrillo Port Liquefield Natural Gas Deepwater Port Project, Main Report", 2006.

CARSON, PHILLIP; MUNFORD, CLIVE Hazardous Chemicals Handbook Elsevier Science Butterworth-Heinemann Second edition, 2002.

Central Commission for the Navigation of the Rhine – CCNR (2010), “International Safety Guide for Inland Navigation Tank Barge and Terminals – ISGINTT” First Edition, Oil Companies International Marine Forum – OCIMF Central Commission for the Navigation of the Rhine - CCNR, June 2010 679 pp.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO “Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de risco” NORMA TÉCNICA P4.261 122 pag., Maio/2003

DNV - DET NORSKE VERITAS. Marine Risk Assessment. 2002.

HIGHTOWER, M., GRITZO, L., LUKETA-HANLIN, A., COVAN, J., TIESZEN, S., WELLMAN, G., IRWIN, M., KANESHIGE, M., MELOF, C., AND RAGLAND, D. (2004). *Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water*. Sandia National Laboratories Report SAND2004-6258.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), “Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-making Process”. April 2002.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO), 2007, “FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers” MSC\_83-21-1.

IVINGS M.J. JAGGER, S.F. WEBBER D.M. GANT, S.F. LNG source term models for hazard analysis: a review of the state-of-the-art and an approach to model assessment The Fire Protection Research Foundation, Março 2009

KRISTIANSEN, SVEIN “Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis” Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

LUKETA-HANLIN, ANAY, “A Review of Large-scale LNG Spills: Experiments and Modeling”, Journal of Hazardous Materials, Vol. A132, pp. 119 – 140 (2006).

MARTINS, M. R., NATACCI, F. B, “Metodologia para Análise Preliminar de Riscos de um navio de transporte de de Gás Natural Comprimido”, Congresso Panamericano de Ingenieria Naval (COPINAVAL) 2009, disponível em <http://www.programa.copinaval2009.com>

Parfomak, P.W.,” Liquefied Natural Gas (LNG) Infrastructure Security” CRS Report for Congress, September, 9<sup>th</sup> , 2003

PETROBRAS GasLocal, “Gás Natural Liquefeito Mais energia para o seu negócio” Panfleto 2006.

Petrobras TransporteS.A. Transpetro (2008) “Terminal PECÉM 1<sup>st</sup> Edition/2008” Pecem Port Information English Version, 2008, 84 pp.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES,”Sandia Report Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water”, SAND2004-6258, EUA. Dez.,2004.

Souza (2009) Souza, G F M de “Notas de Aula PMR5401”.

THE NETHERLANDS ORGANISATION OF APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH TNO (PGS3) C.J.H. van den Bosch and R.A.P.M Weterings, eds., Guideline for quantitative risk assessment – ‘Purple book’ CPR18E (TNO The Purple Book), TNO, The Hague, The Netherlands, 2005.

THE SOCIETY OF INTERNATIONAL GAS TANKER AND TERMINAL OPERATORS LTD (SIGTTO) Site Selection and Design for LNG Ports and Jetties with views on RISK LIMITATION during PORT NAVIGATION and CARGO OPERATIONS Information Paper No. 14 Worldwide Marine Technology Witherby &Co Ltd August 2000.

THE SOCIETY OF INTERNATIONAL GAS TANKER AND TERMINAL OPERATORS LTD (SIGTTO) e RESOURCE PROTECTION INTERNATIONAL (RPI) ”Liquefied Gas Fire Hazard Management” Witherby &Company Limited, 2004.

VANEN, ERIK; ANTÃO, PEDRO; OSTVIK, IVAN; AND COMAS, FRANCISCO DEL CASTILLO, 2008, “Analysing the Risk of LNG Carrier Operations”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 93, pp. 1328 – 1344.