

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise de Risco de um Terminal Offshore de Gás Natural Liquefeito na Baía de Todos os Santos

AUTORES:

Henrique P. Souza¹, Marilia A. Ramos², Enrique L. Droguett²,
Marcelo R. Martins¹

INSTITUIÇÃO:

¹: Universidade de São Paulo

²: Universidade Federal de Pernambuco

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

**ANÁLISE DE RISCO DE UM TERMINAL OFFSHORE DE GÁS
NATURAL LIQUEFEITO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Abstract

The natural gas has been gaining importance in world energy scene and established itself as an important source of energy. The transportation and storage of natural gas is mostly done in its liquid form, LNG – Liquefied Natural Gas. The terminals for receiving, storing and regasificating LNG, as well as sending-out natural gas can be built onshore or offshore. Today, Brazil owns two FSRU offshore terminals, one in Guanabara Bay, Rio de Janeiro and the other in Pecém, Ceará, both contracted to PETROBRAS. In March 2011 PETROBRAS announced the installation of a third offshore terminal in Brazil: The Bahia LNG Regasification Terminal in the Bay of All Saints. The installation of new LNG terminals can offer risks to the population in case of an accident. Apart from possible damages caused by its cryogenic temperatures, LNG spills are associated with hazards such as pool fires and ignition of drifting vapor clouds. In order to identify if the population will be vulnerable to hazards in case of an accident, the methodology of risk analysis can be applied to the Bahia LNG Regasification Terminal. The present work has focused on calculating the distance to the LNG vapor cloud with the lower flammability limits (LFL), as well as thermal radiation emitted by pool fire, in case of a LNG spill from the offshore terminal.

The calculation was made for three types of events: operational accident, non-operational accident and worst case event, corresponding to a hole size of 0,75m, 1,5m e 5m, respectively, and for two classes of atmospheric stability and wind speed.

The area of the envelope of the cloud within the limits of flammability and thermal radiation caused by the fire in pool were higher in the event of worst case, showing that the hole size is a parameter of great influence in the outcome. The distances were also higher for the F condition of atmospheric stability with wind speeds of 6.3 m / s. The parameter F allows a greater distance from the cloud of steam by having stable characteristics of the environmental conditions that favor dispersion.

1. Introdução

O gás natural, a partir da década de 80, passou de um subproduto indesejado da exploração de petróleo à fonte de energia fóssil cujo uso mais cresceu no mundo[1]. No Brasil, em 2008, o gás natural já era responsável pela geração de 10% da potência total do país [2].

Aliado ao aumento do uso do gás natural ocorreu o aumento de produção do gás. Entre 1985 e 2009 houve um aumento em aproximadamente 65 trilhões de metros cúbicos de gás natural em reservas provadas, chegando a 187,49 trilhões em 2009 [3]. No Brasil, a quantidade de reservas provadas cresceu bastante depois dos anos 80, após a descoberta na Bacia de Campos, passando de aproximadamente 60 a quase 370 bilhões de m³ [4].

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Um entrave ao crescimento do uso do gás natural é ao seu estado físico, visto que é mais difícil e dispendioso transportar e armazenar gases que líquidos. Várias alternativas têm sido estudadas no mundo, e uma das formas mais utilizadas é o Gás Natural Liquefeito.

O gás natural liquefeito (GNL) é obtido através do resfriamento do gás natural a -162°C e pressão atmosférica. A liquefação reduz o volume do gás em 600 vezes, tornando-se uma forma viável e econômica de armazenar e transportar o gás, e facilitando o deslocamento entre centros produtores e centros consumidores distantes entre si.

Para envio ao consumidor final o GNL deve ser regaseificado. Os terminais de estocagem e regaseificação de GNL podem ser onshore ou offshore. Nas duas configurações existem um píer ou terminal de recebimento, tanques de armazenamento, unidade de regaseificação e instalações para envio do gás natural regaseificado à destinação final. Os terminais offshore podem ser dos seguintes formatos: [5]

1. Gravity Based Structure (GBS): o GBS é basicamente uma estrutura de concreto com base no fundo do mar e um terminal com unidade de regaseificação e tanques de armazenamento no topo.
2. Floating Storage and Regaseification Unit (FSRU): Navio com capacidade de regaseificar GNL a bordo.

No Brasil existem dois terminais de estocagem e regaseificação de GNL em funcionamento, ambos operados pela Petrobras. O primeiro terminal (Terminal de Pecém) é localizado no estado do Ceará, e tem capacidade de estocagem de 129.000 m³ de GNL e regaseificação de 7 milhões de m³/dia. O segundo terminal fica na Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, com capacidade de 138.000 m³ de estocagem e regaseificação de 14 m³/dia [6]

Em março de 2011 o Governo Federal do Brasil anunciou um acordo com o Governo do Estado da Bahia para implantação de um novo terminal de regaseificação de GNL, na Baía de Todos os Santos (TRBA). De acordo com a Petrobrás [7], o novo terminal terá capacidade para regaseificar 14 milhões de m³/dia. As obras devem começar em 2012 e serão concluídas em 2013. Quando o TRBA entrar em operação, o Brasil terá capacidade de regaseificar 35 milhões m³/dia, volume maior que os 31 milhões m³/dia de gás natural importados da Bolívia.

Os dois terminais em funcionamento no Brasil são offshore, do tipo FSRU, e assim será também o novo terminal na Bahia.

O aumento do uso do GNL no mundo gera preocupações quanto às consequências de um possível acidente em alguma instalação. Essa preocupação é justificada pela natureza do GNL, inflamável sob certas condições, além de criogênico e explosivo. Os perigos decorrentes de um vazamento de GNL estão descritos na seção a seguir.

A implementação de um novo terminal offshore de GNL deve ser estudada quanto à distância da costa, para que, em um possível acidente com derramamento de

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

GNL, as comunidades não sofram danos e fatalidades. A análise de risco permite calcular as distâncias atingidas por certas probabilidades de fatalidade decorrentes dos acidentes e é, portanto, uma poderosa ferramenta para análise de um novo terminal.

O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise de risco sobre o novo terminal a ser construído na Baía de Todos os Santos, de forma a avaliar as consequências de um possível acidente.

1.1 Perigos associados ao GNL

Os perigos associados aos terminais offshore do tipo FSRU mais prováveis de ocorrer são os incêndios em poça e em nuvem [8].

1. Incêndio em poça

Quando há vazamento de GNL é formada uma poça, que se espalha e sofre evaporação simultaneamente. A imediata ignição do GNL causa, portanto, um incêndio em poça. Os perigos associados a um incêndio em poça dependem do tamanho da poça formada e da massa presente, que definirão as distâncias que atingirão certos níveis de radiação.

2. Incêndio em nuvem

Durante o vazamento de GNL há a formação de uma pequena nuvem, pelo flasheamento inicial do líquido. Não ocorrendo incêndio em poça, essa nuvem torna-se maior à medida que a poça evapora.

A evaporação de todos os componentes do GNL não ocorre simultaneamente. O metano é o primeiro a evaporar, e perto do fim da evaporação os outros componentes começam a evaporar. Assim, a nuvem é inicialmente formada por metano.

Se a concentração de metano na nuvem estiver entre os limites de inflamabilidade (5-15% em volume), ocorre o incêndio em nuvem. Abaixo de 5% em volume não há combustível suficiente para que ocorra o incêndio, e acima de 15% há pouco oxigênio e muito combustível [9].

Apesar de o gás natural ser mais leve que o ar, a nuvem formada torna-se densa por causa da condensação de água presente na atmosfera. Como a nuvem formada é densa e portanto próxima à poça, o incêndio em nuvem pode propagar-se de volta à fonte, causando um incêndio em poça retardado.

Metodologia

No presente trabalho serão focadas as consequências de um incêndio em nuvem ou em poça decorrentes de um vazamento de GNL. Neste caso, as distâncias atingidas por certos níveis de radiação, no caso de incêndio em poça, e a distância até o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), no caso da nuvem, são os parâmetros –chave para a análise de risco da plataforma [10]. O incêndio em poça foi calculado para os casos de incêndio em poça inicial, quando há ignição

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

imediate, e incêndio em poça retardado, quando o fogo propaga-se de volta da nuvem à poça, como explicado no item 2 da seção 1.1.

A modelagem foi realizada utilizando o PHAST v6.6, um dos mais conceituados softwares de análise de conseqüências conhecidos atualmente. O software utiliza modelos matemáticos que, a partir das condições iniciais e das condições ambientais, permitem prever as distâncias das radiações emitidas por um incêndio em poça e a distância entre ponto de descarga ao LII da nuvem. Os seguintes parâmetros foram estabelecidos para a modelagem:

i) Tamanho do orifício

O tamanho do orifício aberto no tanque depende do tipo de acidente que ocorreu. Os acidentes operacionais incluem sobrepressão, faíscas, colisão entre navios e abalroamentos, enquanto acidentes não-operacionais consistem de terremotos, furacões, sabotagem, terrorismo, acidentes por aviões [11].

Um Estudos de Identificação de Perigos (HAZID) realizado por mais de 20 especialistas identificou os tamanhos de orifício mais prováveis para diferentes eventos. No caso de acidentes operacionais, o diâmetro foi determinado como sendo de 750mm, e para acidentes não-operacionais o tamanho seria de 1500mm [10].

Além dos eventos mais prováveis, a literatura se refere a um evento que seria o pior caso no caso de um acidente, cujo diâmetro de orifício de 5m é aceito por muitos [12].

Os eventos considerados no presente trabalho estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: cenários de vazamento de GNL

Acidente	Orifício (m)	Inventário vazado
Operacional (AO)	0,75	70%
Não-operacional (ANO)	1,5	70%
Pior caso (PC)	5	100%

ii) Tanques de GNL

Como o terminal da Baía de Todos os Santos terá a mesma capacidade de regaseificação do terminal da Baía de Guanabara, considerou-se a mesma capacidade de estocagem deste, 138.000 m³, dividido em 4 tanques de 34.500 m³ cada.

iii) Condições climáticas

As condições climáticas da Baía de Todos os Santos estão indicadas na Tabela 2, em que v, T, UR e P indicam a velocidade do vento (mínima e máxima), a temperatura, umidade relativa, e a pressão, respectivamente. No que se refere à estabilidade atmosférica, Menezes (2006) [13] indica as frequências com que ocorrem determinadas classes de estabilidade Pasquill durante o ano. As classes de estabilidade pasquill vão de A – extremamente instável, a F – moderadamente estável. A classe mais frequente seria a D, com frequência de 61%. Para a

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

simulação foi escolhida também a classe F, que tem frequência de 10% e que, por ser a mais estável, deve permitir maior dispersão da nuvem, condição em que deve se ter maiores distâncias até o LII.

Tabela 2: Condições ambientais da Baía de Todos os Santos (adaptado de Menezes, 2006 [CC])

Pasquill	V (m/s)		T (°C)	UR(%)	P (atm)
	mín	máx			
D	2,2	6,3	25	86	1
F					

iv) Composição do GNL

Antes da liquefação do gás natural ele passa por um processo de retirada de certas impurezas, fazendo com que o GNL possa apresentar composição de aproximadamente 100% metano [14]. Assim, a composição foi considerada como sendo de 100% metano.

v) Referências adotadas

As distâncias de interesse foram estabelecidas de acordo com norma da CETESB [15]. Para o incêndio em nuvem considera-se que o nível de radiação térmica na área limitada pelo Limite Inferior de Inflamabilidade corresponde a 100% de vulnerabilidade da população exposta. No caso do incêndio em poça, a radiação de 12,5kW/m² corresponde a 1% de probabilidade de morte do indivíduo exposto e 37,5 kW/m² a 50% de probabilidade. Essas foram, portanto, as referências adotadas.

Resultados e Discussão

Os resultados gerados pelo PHAST são mostrados na tabela abaixo, onde IN significa incêndio em nuvem, IPA consiste em incêndio em poça adiantado e IPAt equivale a incêndio em poça atrasado.

Tabela 3 - Resultado da análise de cada evento para determinadas condições ambientais

		AO				ANO				PC			
		2.2/D	6.3/D	2.2/F	6.3/F	2.2/D	6.3/D	2.2/F	6.3/F	2.2/D	6.3/D	2.2/F	6.3/F
IN	LII	1343m	1522m	2807m	2949m	1801m	2941m	4109m	5163m	1774m	5847m	4901m	9450m
IPA	12,5kW/m ²	278m	325m	278m	325m	470m	547m	470m	547m	1176m	1346m	1176m	1346m
	37,5kW/m ²	132m	177m	132m	177m	228m	301m	228m	301m	598m	752m	598m	752m
IPAt	12,5kW/m ²	492m	568m	492m	568m	840m	963m	840m	963m	1563m	1772m	1563m	1722m
	37,5kW/m ²	239m	313m	239m	313m	419m	537m	419m	537m	808m	994m	808m	994m

Uma primeira observação que pode ser feita da tabela é o aumento da distância do limite inferior de inflamabilidade e da radiação térmica gerada pelo incêndio em poça devido ao tamanho do furo no tanque do navio (Tabela 1). Isto explica o fato dos valores serem crescentes de AO até PC. O tamanho do furo tem grande influência na modelagem pelas taxas de descarga de GNL que proporciona. A

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

distância na dispersão da nuvem está diretamente relacionada com a taxa de descarga do material.

Uma segunda observação é que os resultados que pertencem à categoria F em termos das condições de estabilidade atmosférica de Pasquill apresentam maiores distâncias de LII em relação aos resultados pertencentes à categoria D para as mesmas velocidades de vento. Este resultado está coerente com o esperado, uma vez que a condição F determina uma condição atmosférica mais estável que a condição D, fazendo com que a nuvem de vapor de GNL atinja uma distância maior. Esta comparação pode ser melhor visualizada através da Figura 1, onde são ilustradas as curvas de LII para as condições climáticas D(6,3 m/s) e F(6,3 m/s) em relação ao evento de acidentes não operacionais (ANO).

O vento também possui forte importância na consequência dos resultados, pois, de acordo com a Tabela 3, os maiores ventos causaram maiores distâncias de LII e incêndio em poça considerando as mesmas condições de estabilidade de Pasquill. Isto pode ser explicado pelo fato de que a nuvem terá uma maior velocidade de dispersão, mas há de se tomar o devido cuidado com essa análise, pois o crescimento demasiado da velocidade do vento pode alterar as condições de estabilidade de Pasquill. De acordo com o software de análise, a velocidade de 6,3 m/s não causou este impacto de turbulência na nuvem de dispersão, fazendo com que a nuvem com esta velocidade atingisse maiores distâncias. Uma comparação de velocidades de vento para a categoria F pode ser vista através da Figura 2, onde são ilustradas as curvas de LII em relação ao evento ANO.

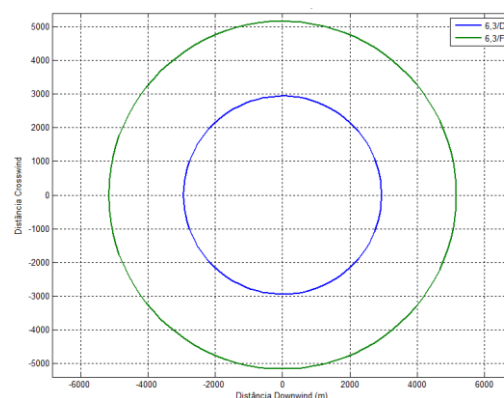


Figura 1 - Distâncias de LII para acidentes não operacionais (6,3/D e 6,3/F)

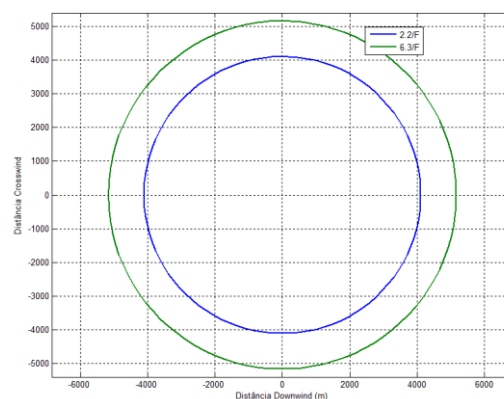


Figura 2 - Distâncias de LII para acidentes não operacionais (2,2/F e 6,3/F)

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

De acordo com os resultados apresentados, caso ocorra um acidente no terminal de GNL em relação aos eventos mais prováveis de ocorrerem (AO e ANO), haverá 1% de fatalidade às pessoas que estiverem dentro de um raio de 547 m do terminal em caso de um incêndio em poça adiantado (*early pool fire*) e, caso aconteça o fenômeno de incêndio em nuvem, a ignição poderá ocorrer até a 5163 m deste terminal, causando 100% de fatalidade às pessoas que estiverem na área onde ocorrerão as chamas.

Os resultados das consequências destes eventos apresentados podem servir de guia para que se estabeleça uma distância segura entre o porto e o terminal offshore.

Conclusões

Este artigo apresentou um estudo inicial sobre as consequências de acidentes envolvendo um terminal offshore de GNL na Baía de Todos os Santos. Dois eventos de máxima credibilidade envolvendo acidentes operacionais e não operacionais foram analisados, bem como um evento de pior caso.

A área do envelope da nuvem dentro dos limites de inflamabilidade e a radiação térmica causada pelo incêndio em poça foram maiores para o evento de pior caso, mostrando que o tamanho do furo é um parâmetro de grande influência no resultado. As distâncias também foram maiores para a condição F de estabilidade atmosférica com ventos de 6,3 m/s. O parâmetro F permite uma maior distância da nuvem de vapor por possuir características estáveis das condições ambientais que favorecem a dispersão.

Os resultados da simulação das consequências apresentadas neste trabalho podem ser usados para determinar a localização de um terminal marítimo na Baía de Todos os Santos, com o intuito de que os efeitos dos acidentes não atinjam as comunidades da região.

A análise das consequências das transações envolvendo GNL deve ser considerada para instalações novas e antigas, devido aos perigos oferecidos e à magnitude das suas consequências, apesar do fato de que os registros históricos de transações envolvendo GNL não mostrem grandes eventos que envolvam fatalidades.

Para trabalhos futuros, as frequências dos acidentes nas plantas de GNL poderão ser determinadas em conjunto com as consequências avaliadas com o intuito de se obter a magnitude dos riscos atribuídos a um terminal offshore de GNL.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido como parte de um projeto patrocinado pela ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, cujo apoio os autores reconhecem com gratidão.

Referências Bibliográficas

1 - KELKAR, M. **Natural Gas Production Engineering**. Penwell Corporation. Tulsa, 2008

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

2 -Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**, 2008

3 -BP. **Statistical Review of World Energy**, 2010

4 -Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis– ANP– ANP. **Boletim Mensal do Gás Natural** , n. 18, 2010

5 -WIJNGAARDEN, W. et al. **Offshore LNG Terminals: Sunk or Floated?** Offshore Technology Conference. Houston, 2004

6 -BLAKWELL, B. & SKAAR, H. **Delivering The World’ First FSRUs. 24th World Gas Conference.** Buenos Aires, 2009

7 – Petrobrás, **Blog Petrobrás Fatos e Dados**
<<http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2011/03/01/implantacao-de-terminal-de-regaseificacao-de-gnl-da-bahia/>> acessado em 26.04.2011

8 - Havens, J., Spicer, T., **United states regulations for siting LNG terminals: Problems and potential**, Journal of Hazardous Materials, 140, 2007

9 - VANEM, E. et al. **Analysing the Risk of LNG Carrier Operations.** Reliability Engineering and System Safety 93 (2008) 1328–1344, 2007

10 -Pitblado, R., Baik, J., **LNG decision making approaches compared**, Journal of Hazardous Materials, 130, 2006

11 - KOO, J. et al., **Safety Assessment of LNG Terminal Focused on the Consequence Analysis of LNG Spills.** Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium, 2009

12 - Havens, J., Sheppard, W., Spicer, T., Perry, K., **New methods for LNG vapor cloud hazard assessment continuing research using the FEM3A model**, AIChE Spring Conf new Orleans, April 25-29

13 - Menezes 2006 - Menezes, P. **Validação do Modelo Matemático ISCST3 de Dispersão Atmosférica a Partir das Emissões de Enxofre de uma Refinaria.** Salvador: UFBA, 2006. 178p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Salvador, 2006

14 - Center for Energy Economics – CEE. **An Overview on Liquefied Natural Gas (LNG), its Properties, Organization of the LNG Industry and Safety Considerations.** Austin, 2007

15 - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos**, P4.261. 2003