

CONFIABILIDADE APLICADA À LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL NO BRASIL

Henrique Schmalz Franco

henriqueschmalz@gmail.com

Resumo: O intuito do artigo produzido é o de descrever as três principais formas de transporte de gás natural no Brasil – transporte via gasodutos, via gás natural liquefeito e via gás natural comprimido – e promover uma análise qualitativa de forma a selecionar a maneira mais viável de se trazer o gás natural offshore da Bacia de Santos até o continente. Após a descrição sucinta das três formas e suas aplicações no panorama atual brasileiro, é feita uma seleção da melhor alternativa com base na metodologia da Matriz de Decisão. A forma de transporte escolhida, no caso, via gás natural liquefeito – GNL ainda é objeto de estudo da teoria do FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), onde os riscos associados à operação de um terminal de importação de GNL e suas respectivas probabilidades são evidenciados.

Palavras chave: Confiabilidade, FMECA, GNL, Bacia de Santos.

1. Introdução

De acordo com as estatísticas divulgadas pelo governo dos Estados Unidos da América através da *Energy Information Administration – EIA*, entidade vinculada ao Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, o consumo de gás natural tem seu crescimento anual projetado para 2,4% , de 2003 a 2030, sendo assim considerada a forma de obtenção de energia que mais irá crescer nos próximos vinte e cinco anos.

O trabalho em questão tem a preocupação especial com a energia obtida através do gás natural (GN), mais especificamente com a distribuição de GN no Brasil. Atualmente o GN é distribuído através do gasoduto Brasil-Bolívia, principalmente. Contudo, recentes descobertas de reservas de GN na região da Bacia de Santos, bacia sedimentar presente na plataforma continental brasileira e que se estende desde a região norte do estado de Santa Catarina até a região sul do litoral do estado do Rio de Janeiro, serviram como motivação para o tema deste projeto, cujo enfoque está na distribuição de GN desde a Bacia de Santos até o continente.

Três formas de distribuição de GN são consideradas neste texto, sendo elas a distribuição via gasoduto até o continente, via estações de regaseificação do gás natural liquefeito (GNL) e, por fim, via estações de descompressão do gás natural comprimido (GNC). Ainda, através de uma matriz de decisão é possível chegar em uma forma de distribuição mais adequada para o caso em análise.

Após a decisão foi implementada através da teoria do FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) uma metodologia que permite uma avaliação mais concisa e específica envolvendo os riscos e as respectivas probabilidades de ocorrência de falhas para o caso prático envolvendo um terminal de importação de GNL.

Todas as análises relativas à metodologia do FMECA estão de acordo com as normas e bases de dados indicadas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, órgão superior nas questões acadêmicas envolvendo análises da teoria da confiabilidade.

2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é mapear as três diferentes formas de se transportar o gás natural presente na Bacia de Santos até o continente e selecionar de maneira qualitativa, através de uma Matriz de Decisão, a solução que melhor atenderá às necessidades impostas. Além disso, a aplicação de teoria do FMECA possibilita uma melhor forma de se entender quais os riscos associados à operação de um terminal de importação de GNL e quais as respectivas probabilidades de ocorrência, podendo assim obter a criticidade para cada equipamento analisado.

3. Metodologia

A metodologia deste trabalho foi direcionada de acordo com os seguintes pontos:

- Análise de dados atuais e históricos referentes ao gás natural no Brasil
- Descrição das três principais formas de transporte utilizadas no Brasil, atualmente
- Análise de vantagens/desvantagens das três principais formas escolhidas para análise
- Aplicação da metodologia da Matriz de Decisão para as mesmas formas de transporte
- Descrição da metodologia do FMECA
- Elaboração de uma matriz de criticidade para um terminal de importação de GNL

4. Mercado brasileiro de gás natural

4.1. Panorama atual e histórico

O mercado brasileiro de gás natural vive uma fase diferente de todas as anteriores. Isto se deve, basicamente, às recentes pesquisas de exploração e produção (E&P) realizadas pela Petrobrás, que, além de revelarem o grande potencial existente na chamada Bacia de Santos, descobriu a camada do pré-sal, cujo potencial exato de fornecimento ainda não foi estimado.

No entanto, historicamente, o gás natural teve seu crescimento em consumo impulsionado, a partir de 2000, pela construção do Gasbol – gasoduto Brasil-Bolívia – permitindo com que o gás natural advindo da Bolívia complementasse a demanda crescente pelo produto no Brasil.

As reservas brasileiras de gás natural se encontram em duas localizações distintas no país, sendo estas em terra ou no mar. Até o ano de 2006, grande parte das reservas naturais de gás estava localizada no mar, totalizando 78% das reservas brasileiras frente a 22% das reservas presentes em terra.

O estado brasileiro que possui a maior quantidade de gás natural, em reservas, é o Rio de Janeiro, que contava com, aproximadamente, 274.000 milhões de m³ em 2006, representando 46,4% do total de gás do Brasil.

A produção brasileira de gás natural vem passando por mudanças devido a novas descobertas de reservas naturais e também pelo crescente aumento na demanda e pressão por parte do governo da república para que o Brasil seja auto-suficiente no ponto de vista energético.

Tendo isso em vista, a produção brasileira, desde 2000, cresce em quantidade. O pico da produção de gás natural no país aconteceu em 2008, quando a produção chegou a 21 bilhões de m³. A tendência para o ano de 2009 é de recuo, e as produções mensais estão abaixo das referentes ao mesmo período de 2008.

5. Transporte de gás natural via gasoduto

O transporte do gás natural via gasodutos é uma das formas de distribuição hoje em atividade. Gasodutos são estruturas de aço ou polietileno que permitem o transporte do produto por longas distâncias por meio de tubulações cujo diâmetro e comprimento variam de acordo com as necessidades de demanda de projeto.

Ao longo de gasodutos encontram-se diversas estações de compressão, com o intuito de aplicar pressões para que o gás transportado recupere a perda de carga proveniente do atrito com o tubo do gasoduto e do escoamento em si.

Atualmente no Brasil existem diversos projetos de gasodutos em operação e nas fases de estudo ou de implementação.

6. O transporte de gás natural via liquefação – GNL

6.1. O gás natural liquefeito – GNL

O gás natural liquefeito é produzido com base em um processo que envolve a redução da temperatura, mantendo-se a pressão atmosférica. A temperatura mínima para que o gás possa ser transformado para sua forma líquida é de -161°C, sendo esta temperatura chamada de seu ponto de ebulição. O GNL ocupa um volume muito menor do que o gás natural em sua forma gasosa, sendo um fator importante para o transporte do produto quando o transporte via gasoduto não é viável.

6.2. Processos que viabilizam a comercialização do GNL

A principal motivação para as pesquisas que resultaram na escolha do GNL como meio de se armazenar e transportar o gás natural foi a ineficiência dos modelos utilizados até a década de 1940 agregada à demanda pelo produto combustível, que aumentava consideravelmente com o passar do tempo.

O gás natural liquefeito se tornou uma alternativa viável do ponto de vista prático, uma vez que era possível transportar grandes quantidades de gás natural através de reservatórios criogênicos estocados em navios.

6.2.1. Produção do GNL

O gás natural é transformado de seu estado bruto e gasoso até seu estado líquido através de plantas de liquefação. Tais plantas de liquefação assumem fundamental importância na cadeia de produção e distribuição do gás natural, pois são necessárias tecnologias cujo valor agregado é bastante representativo.

Existem duas formas de se produzir GNL:

- Plantas de liquefação obtendo gás natural de uma reserva sedimentar
- Plantas de liquefação obtendo gás natural de gasodutos – *peakshaving plants*

A forma chamada de *peakshaving* está relacionada quando a demanda pelo produto é alta em algum momento do ano. Geralmente, períodos de inverno, onde o consumo de gás natural é maior, viabilizam a operação de tais plantas de liquefação.

6.2.2. Regaseificação do GNL

O GNL trazido através dos chamados *LNG carriers* é armazenado e depois retransformado para seu estado gasoso, podendo assim ser distribuído para os consumidores finais.

Todo processo de armazenamento e regaseificação do GNL após o transporte feito pelos navios metaneiros acontece nos chamados terminais de importação de GNL.

O caminho percorrido pelo gás natural durante seu processo de regaseificação pode ser encontrado na Fig. (1), extraída do *Environmental Protection Department* do Governo de Hong-Kong.

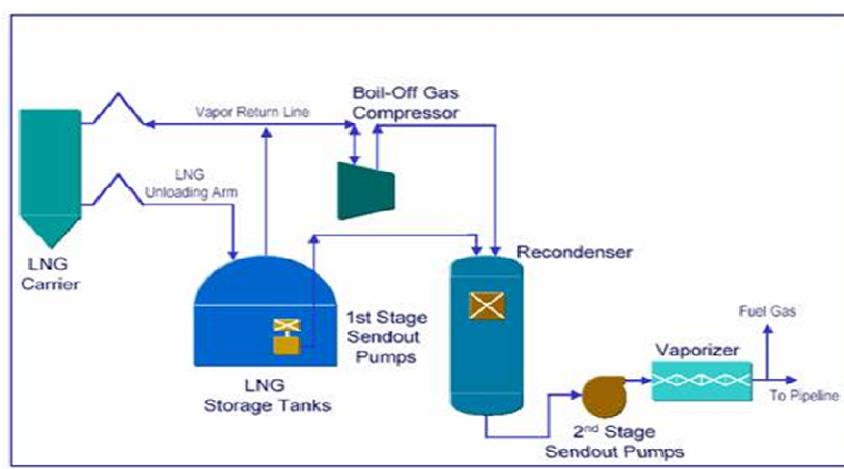


Figura 1 - Ciclo percorrido pelo GNL em um terminal de importação

Atualmente, existem dois terminais de GNL no Brasil já inaugurados localizados nos estados do Ceará e do Rio de Janeiro nos portos de, respectivamente, Pecém e Rio de Janeiro, sendo este último localizado na Baía de Guanabara.

O terminal de Guanabara atende às usinas termelétricas da região Sudeste do país. Segundo o portal eletrônico Fator Brasil, o terminal funciona como uma ilha de concreto na Baía de Guanabara, onde ficam ancorados dois navios, sendo um responsável por trazer o GNL de outros países e um responsável pela regaseificação do produto. A capacidade do terminal é de 14 milhões de metros cúbicos de gás e o investimento realizado totaliza R\$ 819 milhões.

6.3. Vantagens e desvantagens do uso de GNL para o transporte de gás natural

O uso de GNL como forma de transporte do gás natural localizado na Bacia de Santos até o continente carrega consigo algumas vantagens intrínsecas.

O fato de poder carregar grandes volumes de gás natural pode ser considerado como sendo a grande vantagem do sistema, fazendo com que o transporte seja realizado de forma eficiente.

Além disso, por ser uma forma de transporte móvel, via navios metaneiros, é possível importar GNL de outros continentes, como a Europa e Ásia, constituindo assim uma vantagem sobre os gasodutos, que possuem uma limitação territorial.

Diversas pesquisas na área de liquefação de gás natural estão sendo realizadas, conseqüentemente, existe uma tendência de redução dos custos associados à produção e operação dos terminais de GNL, constituindo uma vantagem financeira. Sem mencionar a vantagem financeira já existente frente aos gasodutos, fato que pode ser avaliado se forem comparados os investimentos realizados no Gasbol e no terminal de Guanabara.

A entrega do GNL possui uma maior versatilidade se comparada a gasodutos, já que pode ser realizada através de ferrovias ou caminhões carregados com o produto, de forma muito similar à já feita para gasolina e óleo diesel.

As pressões nos tanques de GNL presentes nos navios metaneiros são extremamente inferiores às presentes em navios transportando gás natural comprimido – GNC, diminuindo os riscos associados à possíveis explosões advindas de vazamentos no navio.

No entanto, algumas desvantagens não podem ser esquecidas. Um vazamento de GNL pode congelar o ambiente externo ao navio em poucos segundos, devido à sua temperatura de armazenamento já citada, de -161°C. Isso faz com que o transporte carregue riscos ambientais associados, principalmente se o produto for derrubado em um ambiente de preservação.

Os terminais de GNL devem ser posicionados junto aos portos onde os navios metaneiros irão desatracar, fazendo com que o ambiente seja modificado. Um caso conhecido refere-se ao terminal de GNL construído no Porto Levante, primeiro terminal *offshore* do mundo. Um estudo realizado pela ConferênciaECOS 2007, realizada em Padova – Itália, mostrou as dificuldades encontradas durante as fases do projeto, sendo que uma citada no artigo refere-se ao cuidado que foi tomado levando em conta as rotas e os ninhos de espécies de pássaros existentes na região.

Por fim, durante o processo de regaseificação, água marítima é utilizada como uma das formas de se trocar calor com os condensadores. Esta troca faz com que a temperatura do condensador seja diminuída e, conseqüentemente, a temperatura da água marítima utilizada seja elevada. Existem regulamentações que determinam a máxima variação de temperatura da água do mar em estações de GNL, de forma que seja preservada a fauna e flora do local.

7. O transporte do gás natural via gás natural comprimido – GNC

A definição de gás natural comprimido, segundo a Petrobrás, é todo gás natural processado e condicionado para o transporte em ampolas ou cilindros, à temperatura ambiente e pressão próxima à condição de mínimo fator de compressibilidade. As pressões existentes em um cilindro de GNC podem variar de 70 bar a 250 bar, fazendo com que o manuseio de tais cilindros seja bastante cuidadoso.

O GNC é a forma de transporte de gás natural menos utilizada atualmente, tendo uma quantidade de pesquisas relacionadas ao assunto pouco extensa.

O GNC é produzido através de estações de compressão, que recebem o gás natural a pressão atmosférica o comprime para ser armazenado navios responsáveis pelo transporte, chamados de navios GNC. O processo de transporte é análogo ao do GNL, com a diferença básica relacionada às pressões de carregamento dos navios.

8. Seleção da melhor alternativa para a Bacia de Santos

Nesta seção foi realizada uma avaliação qualitativa referente às três maneiras possíveis de se transportar o gás natural da Bacia de Santos até o continente. As três formas foram citadas nas seções anteriores e as respectivas vantagens e desvantagens de suas implementações foram consideradas.

Com isso, foi elaborada uma matriz de decisão baseada em critérios qualitativos. A elaboração da matriz, junto à definição dos critérios, pode ser encontrada nas próximas seções.

8.1. Critérios utilizados e Matriz de decisão

Os critérios utilizados na elaboração da matriz de decisão, com seus respectivos pesos, estão presentes na Tab. (1)

Tabela 1 - Critérios utilizados na matriz de decisão e seus respectivos pesos

Critérios	Peso
Investimento em capital	7
Mobilidade	10
Impacto ambiental	8
Riscos da tecnologia	9
Custo de operação	8
Volume de gás transportado	10
Eficiência	8
Tempo de implementação	6
Avanço em pesquisas no setor	9
Custo de manutenção	8
Tempo de retomada	8
Média ponderada	

Tais critérios definidos têm como objetivo englobar aspectos ambientais, econômicos, técnicos e sociais referentes a cada solução a ser definida. Os pesos variam entre 5 a 10, sendo o peso 5 o menos importante e o peso 10 o mais importante para a definição da forma de transporte de gás natural.

A matriz de decisão foi montada considerando os critérios e as respectivas notas dadas para cada solução. As notas variaram de 0 a 10, sendo a nota 10 dada quando a solução atendia da melhor forma o critério em questão. Analogamente, a nota 0 foi dada quando a solução pior atendia ao critério em análise.

Uma média ponderada considerando as notas e os critérios foi realizada e o resultado pode ser encontrado na Tab. (2).

Tabela 2 – Matriz de decisão

Crítérios	Peso	GNC	Gasoduto	GNL
Investimento em capital	7	6	4	9
Mobilidade	10	10	3	10
Impacto ambiental	8	6	4	5
Riscos da tecnologia	9	3	9	7
Custo de operação	8	6	8	7
Volume de gás transportado	10	8	4	7
Eficiência	8	7	8	7
Tempo de implementação	6	7	4	7
Avanço em pesquisas no setor	9	2	8	6
Custo de manutenção	8	7	5	7
Tempo de retomada	8	6	8	7
Média ponderada		5,23	5,00	6,08

Observa-se que a solução que se adéqua melhor ao panorama da escolha do transporte na Bacia de Santos é o transporte via gás natural liquefeito, considerando a construção de plantas de liquefação, navios metaneiros – *LNG carriers* e terminais de importação.

A vantagem competitiva da solução escolhida está centrada, basicamente, no alto volume de gás possível de ser transportado e no fato da mobilidade do transporte, sem a necessidade de uma instalação fixa para o mesmo. Além disso, diversas pesquisas estão sendo realizadas na área de liquefação, fazendo com que o conhecimento na área seja maior que na área de gás natural comprimido.

9. A metodologia FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)

9.1. O método FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

O primeiro passo para a implementação do método em destaque é a definição da abordagem do sistema de estudo, que pode ser realizada de duas formas:

- *Hardware approach*: Abordagem por itens, onde o sistema é analisado item a item, de acordo com suas especificações. Esta abordagem também é chamada de *bottom-up*.
- *Functional approach*: Abordagem por funções, define uma função a partir de uma entrada e uma saída do sistema. Tal abordagem geralmente é utilizada quando não é possível identificar os componentes de um sistema.

Após o primeiro passo ser definido, geralmente são construídos diagramas de blocos que auxiliam o entendimento do funcionamento do sistema. Isto é feito devido às diversas inter-relações dos equipamentos e dos processos.

Com a melhor visualização dos processos e equipamentos envolvidos, são definidos possíveis efeitos decorrentes de falhas aplicadas a interfaces cuja probabilidade de ocorrência de defeitos é mais elevada.

Então, classificam-se as falhas de acordo com seu grau de severidade exposto de acordo com a norma MTL-STD-1629A.

Dando seqüência, identifica-se tanto o método de detecção da falha como sua ação corretiva, de forma a prevenir eventuais reincidências.

O produto a ser entregue após as análises é uma planilha chamada FMEA worksheet, que contém um resumo dos principais resultados encontrados.

9.2. Análise de criticidade

A análise de criticidade envolve uma classificação de cada modo de falha presente no sistema de acordo com a severidade especificada na seção anterior em combinação com uma nova variável: probabilidade de ocorrência.

Diferentemente do FMEA, a análise de criticidade pode fornecer dados quantitativos com relação ao estudo do sistema envolvido. Para isso, são aconselhadas duas abordagens para o problema. A diferença entre as abordagens propostas a seguir deve-se a um problema muito comum na engenharia: a disponibilidade dos dados para a realização das análises. Como, para o escopo deste projeto, os dados estão disponíveis através da base de dados OREDA, utilizou-se a abordagem quantitativa.

Como produto final, a análise de criticidade também é apresentada na forma de uma planilha, com os seguintes parâmetros envolvidos.

Nota-se que alguns dos requisitos da planilha de análise de criticidade são os mesmos considerados para a planilha referente ao FMEA, como por exemplo, os números de identificação dos equipamentos, a identificação, função, modos e causas da falha, modo operacional e a classificação quanto ao grau de severidade. Isso exemplifica a relação intrínseca perante os dois métodos que serão aplicados a um caso prático neste trabalho.

Alguns parâmetros quantitativos devem ser adicionados para que a análise de criticidade esteja completa. São eles listados abaixo, com uma breve explicação referente a cada um.

- Fonte dos dados: Existem três grandes grupos de fontes onde é possível obter dados referentes às probabilidades de falha para os equipamentos presentes em um sistema, sendo eles dois handbooks promovidos pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América e o outro grupo que abrange fontes alternativas para os dados.
- Probabilidade de efeito de falha: Designado pela letra grega β , pode ser traduzida como sendo o julgamento do analista com relação às perdas decorrentes da falha em questão. Os valores de β são classificados de acordo com a Tab. (3).

Tabela 3- Valores para probabilidade de efeito de falha

Efeito da falha	Valor de beta
Perda real	1,00
Perda provável	$> 0,1$ a $< 1,00$
Perda possível	> 0 a $= 0,1$
Sem efeito	0

- Razão de modo de falha: Designada pela letra α , é representada como sendo uma fração da razão de falha de parte (λ_p), ou seja, é uma probabilidade expressada como sendo uma fração decimal que uma parte ou item irá falhar sob o modo operacional em questão.
- Razão de falha de parte: Representada através da letra λ_p , pode ser explicada como sendo a probabilidade de uma parte pertencente ao sistema e operando de acordo com um determinado modo falhar. É um dado comumente tabelado em handbooks.
- Tempo de operação: Representado pela letra t , é o tempo, em horas ou número de ciclos, que o equipamento estará em operação considerando a missão em questão.
- Número crítico de modo de falha: É representado através da letra C_m e pode ser calculado da Eq. (1).

$$C_m = \beta * \alpha * \lambda_p * t \quad (1)$$

- Número crítico do item: Designado pela letra C_r , representa a somatória dos números críticos de modo de falha sob as condições impostas para a análise. Pode ser calculado de acordo com a Eq. (2).

$$C_r = \sum (\beta * \alpha * \lambda_p * t)_n \quad (2)$$

Onde, n = número de ocorrências (modos de falha)

Após calculados e obtidos os termos acima citados, deve-se criar uma matriz de criticidade. A matriz nada mais é do que uma ferramenta que possibilita extrair os dados da planilha de criticidade e representá-los graficamente.

Para tanto, os dois eixos principais da matriz de criticidade são.

- Número crítico do item (C_r) ou probabilidade de ocorrência de falha
- Grau de severidade

Os itens são identificados na matriz através de seu número de identificação (primeira coluna da planilha do FMEA e da análise de criticidade) e, os números mais distantes da origem da matriz devem receber atenção prioritária, seja por terem alta probabilidade de ocorrência ou por terem elevado grau de severidade.

10. Aplicação da teoria e um estudo de caso prático

Para dar início ao processo de implementação da teoria do FMECA ao caso prático, deve-se, primeiramente, descrever os sistemas a serem considerados. Para o caso deste projeto, um terminal de importação pode ser descrito de duas formas possíveis segundo a abordagem da teoria: descrição por processos ou por equipamentos.

A descrição por equipamentos foi utilizada no escopo deste projeto e a listagem de itens segue abaixo.

10.1. Descrição do sistema por equipamentos – abordagem *bottom-up*

- GBS (*Gravity Base Structure*): É a plataforma onde o terminal está, de fato, consolidado. Uma estrutura de concreto que, no caso do Terminal de Porto Levante, mede 180X80m e com altura de 47m.
- Tanques de Armazenamento (*Storage Tanks*): São tanques onde o GNL é armazenado. São, geralmente, constituídos de uma liga de níquel-aço com revestimento que impede a troca de calor com o meio ambiente. Podem medir 155m de comprimento e pesar 4500ton. A empresa sul-coreana *Hyundai Heavy Steel* atua na construção de tais tanques de armazenamento.
- Tubulação de aço (*Pipeline*): Tubulação de aço por onde o GNL corre durante o processo de regaseificação.
- Turbinas a Gás (*Gas Turbines*): Turbinas a Gás utilizadas na produção da energia elétrica que é consumida durante o balanço energético no processo de regaseificação de GNL.
- Bombas de sucção (*In-take LNG pumps*): Bombas hidráulicas cujo propósito é a retirada de GNL dos navios para o terminal de importação.
- Bombas de água marítima (*Sea-water pumps*): Bombas responsáveis pela circulação de água marítima ao longo do terminal. Deve-se lembrar que a água marinha, por estar em uma temperatura mais elevada que o GNL, funciona como um “corpo quente” no processo de gaseificação do GNL. A troca de calor com a água marítima tem como consequência a elevação da temperatura média onde a água é despejada novamente. No entanto, é um recurso natural, gerando economia na operação do terminal de importação.
- WHRV (*Waste Heat Recovery Vaporizer*): Equipamento que utiliza uma solução de água-glicol para vaporizar o GNL através de trocas de calor com as turbinas. Este equipamento opera continuamente, maximizando a eficiência energética do sistema ao usar energia térmica que seria desperdiçada no processo de vaporização.
- Bombas de distribuição (*HP LNG pumps*): Bombas que fazem com que o GNL circule ao longo do sistema interno do terminal de importação.
- Condensador: Condensador cujo objetivo é capturar a parcela de GNL vaporizado antes do processo intrínseco e, após liquefazê-lo, reenviá-lo aos tanques de armazenamento (*Storage tanks*).
- *Boil Off Gas Compressor*: Comprimir o GNL que é vaporizado antes do processo devido a pequenas trocas de calor com o meio ambiente e reenviá-lo aos tanques recondensadores.

10.2. Diagrama de blocos do sistema

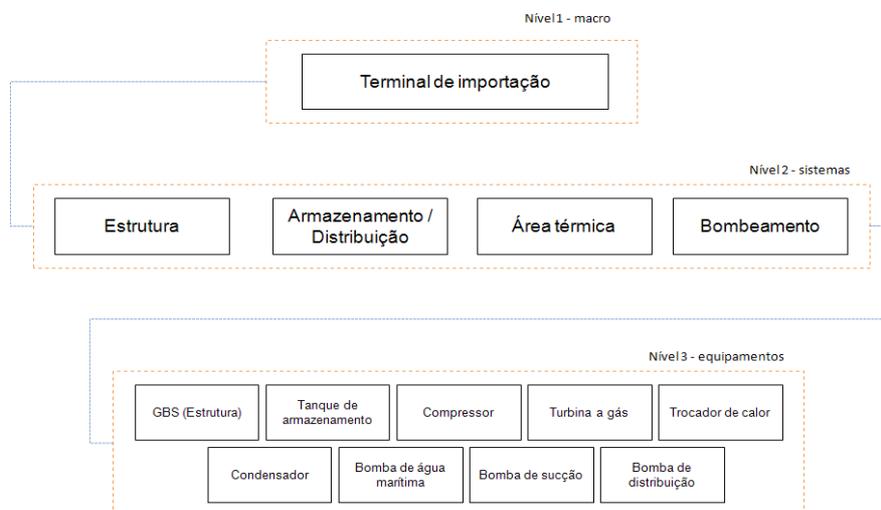


Figura 2 – Diagrama de blocos para um terminal de importação de GNL

10.3. Planilha FMEA

Como a planilha FMEA possui elevado tamanho, uma versão simplificada foi adicionada ao artigo. A versão completa foi anexada junto ao relatório final referente ao projeto. A versão simplificada encontra-se na Tab. (4).

Tabela 4 – Planilha FMEA simplificada – estudo de caso terminal de importação de GNL

Número de identificação	Identificação do equipamento [nomenclatura]	Função	Modos de falha	Efeitos de falha			Método de detecção da falha	Classe de severidade
				Efeitos locais	Próximo nível superior	Efeitos de fim		
1	Gravity Base Structure (GBS)	Suporte físico ao terminal	Fratura na estrutura de concreto	Ruptura da estrutura / Aspecto visual	Falha no suporte dos equipamentos do terminal	Colapso físico do terminal	Teste visual	1. Catastrófica
2	Tanque de armazenamento	Estocagem do GNL	Falha no revestimento térmico	Vaporização irregular do GNL	-	Perda de material / Custo financeiro	Sensor interno de temperatura	3. Marginal
3	Tubulação de aço	Transporte interno do GNL	Rompimento de uma junta física	Vazamento do GNL	Mistura do GNL com equipamentos a alta temperatura / Choque térmico	Vazamento do GNL para o oceano	Teste visual	1. Catastrófica
4	Turbina a gás	Geração de energia para o terminal	Escorregamento entre eixo-turbina	Perda de rendimento	-	Queda de energia no terminal	Teste de rendimento	2. Crítica
5	Bomba de sucção - GNL	Retirar o GNL do tanque de armazenamento e colocá-lo na linha de distribuição interna	Parada do rotor	-	-	Falha na distribuição interna do GNL	Medição da rotação da bomba	2. Crítica
6	Bomba de sucção - Água marinha	Bombear água marinha para troca de calor	Parada do rotor	-	-	Parada total do sistema	Medição da rotação da bomba	2. Crítica
7	Waste Heat Recovery Vaporizer	Aquecer o GNL com base na troca de calor com a turbina a gás	Acúmulo de partículas sólidas / Interrupção do fluxo de escoamento	Aumento de pressão local no trocador / Possível ruptura por pressão do duto	-	Perda de eficiência no processo	Teste de rendimento local	4. Pequena
8	Bomba de distribuição - GNL	Bombear o GNL na distribuição interna	Parada do rotor	-	-	Falha na distribuição interna do GNL	Medição da rotação da bomba	2. Crítica
9	Recondensador	Liquefazer parte do GNL vaporizado dentro do tanque de armazenamento	Acúmulo de partículas sólidas / Interrupção do fluxo de escoamento	Aumento de pressão local no trocador / Possível ruptura por pressão do duto	-	Perda de eficiência no processo	Teste de rendimento local	4. Pequena
10	Compressor	Comprimir o GNL vaporizado	Parada do rotor	-	-	Perda de eficiência no processo	Medição da rotação do compressor	4. Pequena

10.4. Análise de criticidade

De forma semelhante à planilha FMEA, a análise de criticidade segue de acordo com a Tab. (5).

Tabela 5 – Planilha de análise de criticidade – estudo de caso terminal de importação de GNL

Número de identificação	Identificação do equipamento [nomenclatura]	Classe de severidade	Probabilidade de falha	Probabilidade de efeito de falha	Razão de modo de falha	Razão de falha de parte	Tempo de operação [horas]	Número crítico
			Fonte de dados					
1	Gravity Base Structure (GBS)	1. Catastrófica	OREDA, 2002	0,05	0,4	0,15	100000	300
2	Tanque de armazenamento	3. Marginal	OREDA, 2002	0,3	0,3	20,38	40000	73.368
3	Tubulação de aço	1. Catastrófica	OREDA, 2002	0,1	0,5	32,63	30000	48.945
4	Turbina a gás	2. Crítica	OREDA, 2002	0,4	0,5	110,77	1700000	37.661.800
5	Bomba de sucção - GNL	2. Crítica	OREDA, 2002	0,4	0,3	2,52	8600000	2.600.640
6	Bomba de sucção - Água marinha	2. Crítica	OREDA, 2002	0,4	0,3	2,52	8600000	2.600.640
7	Waste Heat Recovery Vaporizer	4. Pequena	OREDA, 2002	0,2	0,5	5,14	1600000	822.400
8	Bomba de distribuição - GNL	2. Crítica	OREDA, 2002	0,2	0,3	2,52	8600000	1.300.320
9	Recondensador	4. Pequena	OREDA, 2002	0,15	0,5	5,14	1600000	616.800
10	Compressor	4. Pequena	OREDA, 2002	0,4	0,4	22,45	2400000	8.620.800

10.5. Matriz de criticidade

A matriz de criticidade obtida pode ser observada através da Fig. (3).

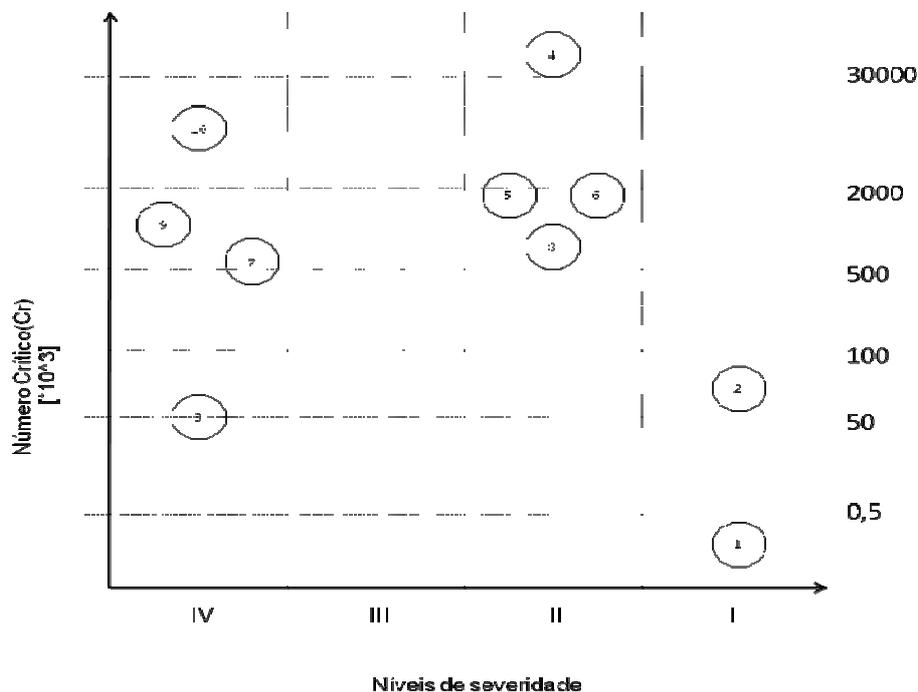


Figura 3 –Matriz de criticidade – estudo de caso terminal de importação de GNL

11. Conclusões

O trabalho teve seu foco direcionado à descrição das possíveis formas de transporte do gás natural, aplicando-as ao estudo de caso envolvendo a Bacia de Santos, e com a posterior aplicação da teoria do FMECA. As três maneiras e a teoria em questão foram consideradas para o trabalho devido à aplicabilidade em um contexto atual.

Novas tecnologias estão surgindo, revolucionando a forma com a qual o gás natural pode ser transportado, como por exemplo, a Gas-to-Wire – GtW, que apela para a transformação do gás natural em energia elétrica no momento de sua extração. Existem também pesquisas envolvendo a transformação do gás natural em um composto sólido – GTS. No entanto, devido a baixa maturidade e a falta de aplicação de tais soluções em grande escala, não foram consideradas para este trabalho.

A solução escolhida através da matriz de decisão elaborada, o transporte via GNL, é uma forma que tem sua aplicação cada vez mais presente no cotidiano, fato provado pela recente inauguração do terminal de GNL da Baía de Guanabara. Diversas pesquisas estão sendo feitas, com a promessa de um futuro mais sólido e mais barato para o GNL.

Com relação às análises quantitativas, pode-se afirmar que um terminal de importação de GNL possui alguns riscos associados e que podem ter impacto bastante severo com relação à operação do mesmo e à segurança dos seus trabalhadores, mesmo sendo esta uma forma cujo ponto positivo na matriz de decisão é justamente o fator segurança.

Ainda, a matriz de criticidade revela algumas informações relativamente importantes.

A primeira informação refere-se ao fato da criticidade associada à turbina a gás ser elevada, não apenas pelo fato de que é a principal fonte geradora de energia do terminal, mas também pois sua probabilidade de falha, evidenciada pelo seu número crítico, ser a maior se comparada a todos os equipamentos do terminal.

A segunda informação está relacionada com o compressor, que, apesar de seu efeito de falha não ser catastrófico, apenas perda de eficiência no processo e conseqüente custo financeiro, possui alto número crítico, o que revela uma probabilidade de ocorrência para tal efeito.

Por último, dois componentes tem seu efeito de falha considerado catastrófico, a estrutura GBS e o tanque de armazenamento.

A classificação de catastrófico para tais itens é dada principalmente por terem funções estruturais, ou seja, de sustentação do terminal e de armazenamento de altas quantidades de GNL. Assim, falhas estruturais foram consideradas catastróficas pois oferecem efeitos de dimensão muito maiores do que os apresentados por outros itens.

Contudo, apesar de tais efeitos, a probabilidade de ocorrência é extremamente baixa, o que faz com que o foco para tais equipamentos seja desviado frente a outros cuja probabilidade de ocorrência é muito superior, fazendo com que tais objetos sejam considerados pouco críticos para o processo de regaseificação do GNL.

10. Agradecimentos

Agradecimentos devem ser prestados aos principais responsáveis pela elaboração deste trabalho de formatura até o presente momento.

Primeiramente, ao Professor Gilberto Francisco Martha de Souza, pelo comprometimento e compreensão demonstrados ao longo deste projeto.

Por fim, aos membros da banca examinadora, pela presença e avaliação sincera do projeto apresentado.

11. Referências

- Administration, Energy Information. Janeiro de 2006. “*Natural Gas Processing: The Crucial Link Between Natural Gas Production and Its Transportation to Market*”. http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/natural_gas/feature_articles/2006/ngprocess/ngprocess.pdf - acessado em abril de 2009
- ANP - Agência Nacional do Petróleo. Abril de 2009. “Boletim do Gás Natural” http://www.anp.gov.br/doc/gas/2009/boletimgas_200904.pdf - acessado em abril de 2009
- ANP - Agência Nacional do Petróleo. 23 de Julho de 2002. “Panorama da Indústria de Gás Natural no Brasil: Aspectos Regulatórios e Desafios.” http://www.anp.gov.br/doc/gas/Panorama_industria_gas_natural_Brasil_Julho_2002.pdf - acessado em junho de 2009
- Brito, Anderson Jorge de Melo, Cavalcante, Cristiano Virgílio Alexandre e Fittipaldi, Eduardo Henrique Diniz. “Priorização de gasodutos em hierarquia de riscos: Uma abordagem multicritério”. Fortaleza, CE : ENEGEP 2006, 2006.
- Costa, Fabiano Fragoso e Lima, Marcelo Tadeu. 1997. “Avaliação do Potencial de Uso do Gás Natural na Região do Médio Paranapanema”. s.l. : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Fator Brasil. Março de 2008. “Reportagem sobre a inauguração do terminal de GNL na Baía de Guanabara”. <http://www.revistafatorbrasil.com.br> – acessado em junho de 2009
- Marques, Eduardo Werneck Vieira. 2008. “A Aplicação das Novas tecnologias para Produção de GNL no Brasil”. Tese de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Prates, C. P. T.; Pieboron, E.C.; Costa, R.C.; Figueiredo,. Setembro de 2006. “Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil.” *BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico Social* <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2402.pdf> - acessado em junho de 2009
- TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Brasil-Bolívia. <http://www.tbg.com.br> – acessado em maio de 2009
- Vanem, E.; Antão, P.; Ostvik, I.; Comas, F.D.C.2008. “Analysing the risk of LNG Carrier Operation”. s.l. : ELSEVIER
- OREDA. “*Offshore Reliability Data Handbook*”. Det Norske Veritas. 2002
- Departamento de Defesa dos EUA. MLT-STD-1629A – *Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*. 1977

12. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho

RELIABILITY ON THE DISTRIBUTION LOGISTICS OF THE NATURAL GAS IN BRAZIL

Henrique Schmalz Franco

henriqueschmalz@gmail.com

Abstract. *The purpose of the article produced is to describe the three main forms of transportation of natural gas in Brazil - transport via pipelines, via liquefied natural gas and via compressed natural gas - and promote a qualitative analysis in order to select the most viable way to bring natural gas offshore from the Santos Basin to the continent. After a brief description of the three forms and their applications in the current Brazilian scene, there is a selection of the best alternative based on the methodology of the Decision Matrix. The chosen form of transport in the case, via liquefied natural gas – LNG is still object of study for the FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) theory, where the risks associated with the operation of a LNG import plan are considered and its probabilities evaluated.*

Keywords. *Reliability, FMECA, LNG, Bacia de Santos*