
VERIFICAÇÃO DA PROPORCIONALIDADE DAS AVARIAS POR TERCEIROS EM DUTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL POR GRUPO DE PRESSÃO OPERACIONAL E LOCAL DE DANO

Sheila Sabino dos Santos

Raquel Cymrot

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a existência de proporcionalidade de danos em dutos de distribuição de gás natural provocados por empresas de infraestrutura ou por suas empresas terceirizadas, que tem como consequência a perda de contenção de gás natural por subsistema (local de ocorrência) e por grupo de pressão operacional para frequência relativa e para os riscos associados. Foram realizadas uma Análise Quantitativa de Risco (AQR) para quantificar os riscos e seus cenários e uma análise descritiva dessas variáveis nos períodos estudados que sugeriu a existência de uma proporcionalidade aproximada de danos provocados por terceiros nas tubulações de gás natural. Dessa maneira, a proporcionalidade foi calculada com o uso de medianas, de forma a desconsiderar valores muito discrepantes. Por meio de gráficos de autocorreção, concluiu-se que os dados não apresentam sazonalidade no período analisado, tornando o modelo de proporção estimado pelas medianas mais apropriado. O resultado final deste trabalho foi a estruturação de pirâmides que representam as proporcionalidades obtidas, contribuindo como ferramenta para a gestão da manutenção dos ativos.

Palavras-chave: Gás natural. Dutos de distribuição. Risco.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao impacto causado no meio ambiente, diversos países passaram a procurar formas mais sustentáveis para estruturar seu crescimento econômico. Um dos setores que afetam diretamente a eficiência da gestão sustentável de um país é o setor de energia, estando, em geral, a matriz energética de cada país em constante mudança.

O gás natural tem ganhado cada vez mais vantagens competitivas em relação a outros combustíveis fósseis, uma vez que sua queima em equipamentos e condições adequadas gera menos poluentes a serem dispersos na atmosfera (SANTOS et al., 2007). Em 2015, o gás natural representou na matriz energética brasileira uma parcela em torno de 23% do total de fontes não renováveis de energia, sendo essas responsáveis por aproximadamente 58% do total de oferta interna de energia (BRASIL, 2016).

A matriz energética brasileira para oferta interna de energia elétrica no ano de 2015 estava concentrada, em sua maior parte, na produção de energia elétrica por meio de hidrelétricas, que são consideradas fontes renováveis de energia. Porém, apesar de algumas vantagens, a construção de hidrelétricas enfrenta alguns obstáculos socioambientais, tornando inviável que o país utilize todo seu potencial. Uma alternativa para a geração de energia é o uso do gás natural, uma vez que ele tem uma implantação mais sustentável (BRASIL, 2016).

Segundo Monteiro (2014), para que haja crescimento do setor de gás natural no Brasil, é necessário que o segmento de oferta esteja preparado para atender o aumento de demanda, ampliando e melhorando sua infraestrutura. O crescimento da demanda por serviços de infraestrutura está diretamente relacionado ao crescimento econômico do país e uma grande parte da estrutura necessária para atender o abastecimento de água, a distribuição de eletricidade e de gás e os serviços de telecomunicações está instalada no subsolo da cidade (RODRIGUES, 2012). Sendo assim, um dos problemas enfrentados pelas empresas é o congestionamento do subsolo urbano, o que aumenta os riscos para os ativos que compartilham o mesmo espaço de instalação.

Os danos em tubulações de gás natural geram consequências sociais, ambientais e de imagem para a empresa que ocasionou o incidente. Esses incidentes têm efeitos e devem ter seus riscos estimados em função dos limites aceitáveis, segundo as leis ambientais (ZIMMERMANN, 2009).

Os danos de terceiros em rede e ramal externo são em geral afetados pela variação do Produto Interno Bruto (PIB). Quando o PIB apresenta crescimento ao longo dos anos, aumenta a demanda por infraestrutura, assim como o número de obras, levando a um acréscimo de intervenções no subsolo da cidade (RODRIGUES, 2012). Desai (2010) analisa a importância de as empresas considerarem suas falhas como forma de apren-

dizado organizacional, podendo transformar as experiências em conhecimento que melhoram diretamente o seu desempenho.

O presente trabalho foi motivado pela suspeita de que havia uma proporcionalidade anual entre os eventos, propiciando que ações sejam tomadas de forma preventiva, em detrimento das ações reativas que apresentam maiores perdas materiais, sociais e humanas, uma vez que se está lidando com a distribuição de produto inflamável e de alta periculosidade. Desse modo, torna-se importante a análise de risco para a tomada de decisão por parte da gestão, sendo necessário avaliar de forma quantitativa e qualitativa os principais riscos de operação que podem afetar diretamente a eficiência do processo e estão diretamente ligados ao *Core Business*, isto é, a parte central do negócio no qual atua a empresa.

Nesse sentido, o objetivo geral da presente pesquisa é avaliar a existência de proporcionalidade de danos em tubulações de gás natural provocado por outras empresas, que têm como consequência perda de contenção de gás natural por subsistema (local de ocorrência) e por grupo de pressão operacional para frequência relativa e para os riscos associados.

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar as ocorrências mensais e anuais de danos por terceiros nos dutos de distribuição de gás natural por subsistema e por grupo de pressão operacional;
- b) estimar os riscos das ocorrências mensais e anuais de danos por terceiros nos dutos de distribuição de gás natural por grupo de pressão operacional, as frequências relativas mensais e anuais das ocorrências de danos por terceiros nos dutos de distribuição de gás natural por subsistema e por grupo de pressão operacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Amaral (2008), o setor de transporte deve atentar-se para algumas características importantes para a escolha do modal a ser utilizado, considerando-se a vantagem competitiva que a escolha correta do modal, ou a combinação deles, pode trazer como resultado para a empresa. Os modais de transporte podem ser comparados utilizando-se as exigências do produto a ser transportado, tais como: velocidade, confiabilidade, capacidade de carga e disponibilidade.

O transporte dutoviário apresenta a maior confiabilidade entre todos os modais, sendo tal característica importante para o transporte de gás natural, uma vez que esse é um produto inflamável e de alta periculosidade. Além disso, o consumidor final da cadeia de demanda do gás natural tem como principais exigências a segurança no transporte e a disponibilidade contínua do produto (SOUZA; SOUZA, 2013).

Segundo Viana (2011), os dutos de distribuição de gás natural podem ter variações de diâmetro, espessura, pressão máxima e mínima de operação e de material, sendo enterrados em profundidades estabelecidas em normas nacionais e internacionais. De acordo com a NBR 13933-Instalações Internas de Gás Natural (GN), os dutos de distribuição devem seguir um padrão de construção que garanta que o transporte seja realizado segura e eficientemente, evitando desabastecimento ou interrupção de fornecimento por incidentes. As tubulações devem ser enterradas com profundidade mínima, dependendo do tipo de instalação e distanciamento mínimo da rede subterrânea de outras concessionárias como água, eletricidade e telecomunicações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 1997). Diante de tal complexidade, são necessários o acompanhamento da operação e o mapeamento dos riscos envolvidos na distribuição do gás natural.

Para a realização da análise qualitativa primária dos riscos, é necessária a definição das principais causas dos incidentes que ocasionam perda de contenção ou interrupção no fornecimento (EUROPEAN GAS PIPELINE, 2015). Dessa forma, faz-se necessário o monitoramento desses eventos por meio de análises históricas de dados e indicadores quantitativos, com o objetivo de inspecionar os riscos associados com o transporte e a distribuição de gás natural. Os dutos são considerados ativos da empresa e precisam ser monitorados. Para auxiliar essa tarefa, deve-se realizar uma gestão dos ativos, por meio do controle e do monitoramento de indicadores com métricas que devem ser estudadas e estabelecidas, tendo como principal objetivo a busca da melhoria contínua de processo e a diminuição da incidência de danos em tubulações ocasionados por interferências de terceiros, bem como de incidentes com os ativos da própria empresa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO, 1997).

Considerando tal objetivo, torna-se fundamental o desenvolvimento de uma Análise Quantitativa de Risco (AQR). De acordo com Viana (2011), essa investigação sucede a análise qualitativa de risco, na qual todos os riscos são mapeados e tratados de acordo com sua criticidade. Esse tipo de avaliação provém de um olhar analítico das consequências sociais, ambientais e financeiras que poderão ocorrer caso ocorra um incidente de determinada proporção.

De acordo com Brito (2007), risco é uma relação estatística que envolve probabilidade, efeito e frequência, podendo ser expresso por uma função de três variáveis: cenário, probabilidade e consequência.

3 PESQUISA PRÁTICA

Esta pesquisa teve como foco a cadeia de oferta de gás natural, *Upstream*, mais especificamente os riscos associados ao elo de distribuição que abrangem todos os

processos necessários para que o gás natural seja transportado com segurança, eficiência e qualidade ao consumidor final.

3.1 Metodologia da pesquisa

A pesquisa realizada é caracterizada como quantitativa, de natureza aplicada e com objetivo exploratório. Considerando-se as abordagens utilizadas, com foco no estudo da proporcionalidade de danos, foram realizadas as seguintes atividades:

- a) investigação do banco de dados de incidentes ocorridos em tubulações de gás natural com perda de contenção no período de sete anos;
- b) identificação das principais causas de incidentes nas tubulações de gás natural com perda de contenção;
- c) definição dos sistemas e subsistemas de estudo;
- d) estimação da frequência relativa mensal e anual para cada subsistema;
- e) estimação do risco relativo mensal e anual para cada subsistema;
- f) verificação da existência de proporcionalidade que independe dos meses e do ano.

Foi realizada uma análise dos dados referentes aos incidentes na rede de gás causados por terceiros no período de 2010 a 2016. Esses dados foram coletados do banco de dados da área de Integridade de Ativos (IA) da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás). A empresa contribuiu com o fornecimento dos dados de forma voluntária e assinou um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido autorizando o uso dos dados e a publicação do nome da empresa.

Os eventos analisados foram as avarias ocasionadas por outras empresas em tubulações de gás natural que tiveram como consequência a perda de contenção. Para esses eventos, quando relacionados à pressão de operação da tubulação avariada, foi possível avaliar a criticidade do dano e do vazamento, que podem ter consequências sociais, ambientais e financeiras.

Os dados coletados foram quantificados realizando-se agrupamentos mensais e anuais e relacionando-os com as principais causas de incidentes que tiveram como consequência principal o vazamento de gás natural. Considerando as ameaças mais frequentes para os sistemas de distribuição de gás natural, as análises foram direcionadas para os danos provocados por terceiros, pois esses ocorreram em maior número em todos os anos pesquisados, representando impacto significativo na manutenção dos ativos (COMPANHIA DE GÁS, 2016).

Dessa forma, o presente trabalho teve como sistema e subsistemas de estudos:

- a) sistema de estudo: danos em dutos de distribuição de gás natural ocasionados por interferências externas;

- b) subsistemas de estudo: locais dos danos [Rede, Ramal Externo e Ramal Interno] e Grupos de pressão de operação das tubulações (Alta (35 bar, 17 bar e 7 bar), Média (4 bar, 1 bar e 0,35 bar) e Baixa pressão (pressões $\leq 0,1$ bar)].

Os dados foram organizados por grupos de pressão, local do dano, mês e ano, sendo calculadas as frequências mensais e as relativas anuais, bem como os riscos mensais e anuais para as ocorrências de danos provocados por terceiros. Foram calculadas, para os danos nos subsistemas analisados, as frequências relativas anuais por meio da Equação 1, e as frequências mensais por meio da Equação 2:

$$\text{Freq}_{\text{relativa}}(i) = \text{N}^{\circ} \text{ Danos}(i) + \text{Extensão de rede média anual}(i) \quad (1)$$

$$\text{Freq}_{\text{mensal}}(i) = \text{N}^{\circ} \text{ Danos}(i) + \text{Extensão de rede no mês}(i) \quad (2)$$

Os grupos de pressões foram estruturados por uma equipe constituída de profissionais de várias áreas dentro da organização, por meio de uma Análise Preliminar de Risco, na qual foram identificados os principais perigos associados à perda de contenção e suas principais ameaças. Essas ameaças, por sua vez, foram organizadas e quantificadas de acordo com o *European Gas pipeline Incident data Group* (EGIG), que gera um banco de dados que é um dos principais relatórios de nível internacional e cujo objetivo é analisar e divulgar as principais causas de incidentes em tubulações de gás natural. A seguir, realizou-se uma análise quantitativa de risco para quantificar as ocorrências e as estimativas dos seus efeitos.

Para a estimativa dos valores de risco, os danos provocados por terceiros foram divididos de acordo com a pressão de operação da tubulação avariada, uma vez que vazamentos em dutos de alta pressão costumam apresentar consequências mais críticas do que vazamentos em dutos de baixa pressão. Assim, o sistema analisado foi composto de trechos de tubulações de gás natural em diferentes pressões de operação. O critério utilizado neste estudo foi a avaliação da criticidade do vazamento pela pressão que se encontrava o trecho da tubulação avariada.

Para a análise de risco, é necessário que seja realizada uma análise temporal dos eventos em determinado período. Essa análise pode ser feita por probabilidade ou por frequência relativa de ocorrência. O uso da frequência relativa justificou-se, pois a extensão da rede de dutos aumenta constantemente.

Após o cálculo das frequências relativas e frequências mensais, para a obtenção dos valores de risco, foram estruturadas tabelas anuais que atribuíram ponderações para cada subsistema de pressão, com o objetivo de chegar a um valor de risco numérico. Os critérios utilizados para as ponderações (Peso) foram determinados pela área de Plano de Prevenção de Danos (PPD) da Comgás de acordo com cada subsistema, pressão operacional e se houve ou não vazamento de gás ocasionado pelo dano conforme a Tabela 1:

TABELA 1

Ponderações de risco por subsistema e pressão operacional.

Classe de Pressão	Tipo de Tubulação	Peso	
		Sem Escape	Com Escape
Alta pressão	3500 Kpa	6	12
	1700 Kpa	5	10
	700 Kpa	2,5	5
Média Pressão	400 Kpa	1,2	2,5
	100 Kpa	0,7	1,5
	3500 mmCa	0,5	1
Baixa Pressão	<=1000 mmCA	0,2	0,5

Fonte: Baseada em dados da Companhia de Gás de São Paulo (2016).

Os valores da coluna referente aos pontos para cada pressão foram obtidos por meio da Equação 3:

$$\text{Ponto} = \text{N}^\circ \text{ Danos (sem escape)} \times \text{Peso} + \text{N}^\circ \text{ Danos (com escape)} \times \text{Peso} \quad (3)$$

Após a multiplicação do número de incidentes para cada pressão por seu respectivo peso, determinado pelo critério de ter havido vazamento ou não, o próximo passo foi a soma dos pontos para cada grupo de pressão resultando em um subtotal que reflete os dados ponderados obtidos para cada grupo de pressão (alta, média e baixa pressão). Os subtotais, por sua vez, são somados e divididos pela extensão de rede média no ano, conforme Equação 4:

$$\text{Risco} = \frac{\sum \text{Subtotais}}{\text{Extensão média}} \quad (4)$$

Também se construiu um gráfico de autocorrelação para verificar se havia indicação de sazonalidades. Os danos ocasionados em tubulações de gás natural foram então avaliados de forma quantitativa com a finalidade de estruturar uma pirâmide que representasse a proporcionalidade aproximada da ocorrência de cada subsistema por nível de criticidade. Para a construção dessa pirâmide, foi atribuído o valor 1 para os eventos que ocorreram menor número de vezes (geralmente são as mais críticas) e realizada regra de três simples para a obtenção das demais proporcionalidades. Para o cálculo dessas proporções, foram realizadas análises de proporcionalidade para os riscos e frequências por ano. As análises foram realizadas agrupando-se as pressões em Alta, Média e Baixa e somando-se os subtotais dos pontos ponderados para cada grupo por meio da Equação 5:

$$\text{Risco Grupo Pressão} = \frac{\sum \text{Subtotais Grupo de Pressão}}{\text{Extensão média do ano}} \quad (5)$$

Foi utilizada a mesma metodologia para a análise das proporcionalidades das frequências durante os anos para local do dano. O cálculo das frequências por local da avaria foi realizado conforme a Equação 6:

$$Freq \text{ local dano} = \frac{\sum \text{Danos por local do dano}}{\text{Extensão média do ano}} \quad (6)$$

Analogamente, os índices de frequência associados aos grupos de pressão foram calculados conforme a Equação 7:

$$Freq \text{ Grupo Pressão} = \frac{\sum \text{Subtotais Grupo Pressão}}{\text{Extensão média do ano}} \quad (7)$$

Para verificação, apenas de maneira descritiva, da proporcionalidade tanto para os riscos como para as frequências relativas durante os meses para cada ano e construção das pirâmides similares às de Bird, contendo a proporcionalidade da frequência relativa para o local do dano e para a pressão operacional e do risco para a pressão operacional, independentemente do ano, optou-se por estimar as proporcionalidades em cada caso pelas medianas das proporcionalidades encontradas nos sete anos analisados.

A opção pela mediana como medida de tendência central se deu com a finalidade de tirar a influência de valores extremos que ocorreram devido a fatores externos. A seguir, foram construídos gráficos de coluna para os valores observados das frequências relativas e riscos e os valores esperados, supondo a proporcionalidade estimada, de modo a ilustrar a aderência da estimativa das proporcionalidades aos dados reais.

3.2 Resultados e Discussões

Após o levantamento da quantidade de danos ocorridos nos períodos anuais e mensais, e dividindo-se esses números pelas respectivas extensões de rede média de cada ano conforme Equação 1, foram calculadas as frequências (dano/mil.km) por subsistema analisado, conforme Tabela 2:

TABELA 2

Frequência anual (dano/10³.km) por local do dano.

	Rede	Ramal Externo	Ramal Interno
2010	19,41	19,74	23,00
2011	20,95	23,23	29,36
2012	20,98	22,79	27,50
2013	22,58	20,83	34,85

(continua)

TABELA 2 (continuação)

Frequência anual (dano/10³.km) por local do dano.

	Rede	Ramal Externo	Ramal Interno
2014	23,56	23,45	30,74
2015	16,05	14,70	37,12
2016	14,97	12,70	26,79

Fonte: Baseada em dados da Companhia de Gás de São Paulo (2016).

Após a análise por meio do cálculo das frequências anuais das ocorrências na rede construída, foi possível identificar que os incidentes em ramais internos foram os que ocorreram mais vezes durante o ano. Porém, mesmo sendo o local do dano mais atingido por interferências de terceiros, os ramais internos são tipos de tubulações que operam com pressão baixa ou média. Portanto, para avaliar a criticidade de um sistema ou subsistema, a gravidade das consequências deve ser um fator de ponderação para ser relacionada com a frequência, ou seja, não basta apenas avaliar as quantidades de incidentes durante o ano, é necessário que a ocorrência seja avaliada por um fator ponderado, de forma que possa se obter um valor de risco do sistema estudado. Assim, para cada ano foram estruturados quadros que relacionam os números de ocorrências por pressão e suas respectivas ponderações, de forma a relacionar o evento à sua criticidade e calcular um valor numérico para o risco no período de um ano.

Uma hipótese referente ao risco é a verificação da existência de proporcionalidade entre os índices de risco mensais nos anos 2010 a 2016. Dessa forma, desejou-se saber se, para todos os anos, os riscos ocorreram nos meses segundo a mesma proporção. Os dados foram quantificados e ponderados para a obtenção de um valor de risco numérico por meio das Equações 3 e 4. A Tabela 3 apresenta os índices de risco por mês, as correspondentes medianas e as probabilidades, sendo as probabilidades calculadas dividindo-se o respectivo valor mensal da mediana pela soma das medianas mensais, representando assim a probabilidade de risco de danos no mês.

A Figura 1 reúne os gráficos para os dados de cada mês e ano da Tabela 3, representando a coluna azul os resultados observados e a coluna de cor laranja, os valores esperados definidos pelo modelo, ilustrando as aderências em cada ano à distribuição de probabilidades mensais da mediana calculada. As comparações devem ocorrer somente dentro de cada ano, pois, se o modelo for adequado, as alturas devem ser em cada mês semelhantes para ambas as colunas.

TABELA 3

Índices de risco mensais (dano/km.10³), mediana mensal e probabilidade de risco de danos.

Mês	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
jan.	5,16	5,33	5,14	5,38	5,40	6,58	5,95	5,38	0,0660
fev.	6,03	6,22	7,21	5,05	8,91	6,14	6,11	6,14	0,0753
mar.	4,88	7,51	5,34	8,89	8,42	7,05	5,16	7,05	0,0865
abr.	6,52	5,29	6,76	7,22	8,12	4,97	5,61	6,52	0,0800
maio	5,88	7,61	8,62	7,18	7,93	6,71	4,80	7,18	0,0881
jun.	5,74	5,33	5,78	9,29	8,37	5,43	7,12	5,78	0,0709
jul.	6,03	7,32	7,27	7,47	9,47	5,40	5,26	7,27	0,0892
ago.	7,89	7,97	8,44	7,52	8,49	5,71	5,93	7,89	0,0968
set.	7,62	7,97	8,73	7,57	7,97	7,08	7,32	7,62	0,0935
out.	7,12	6,28	7,58	8,75	7,96	7,53	6,35	7,53	0,0924
nov.	5,40	8,44	9,29	7,78	6,79	5,49	5,74	6,79	0,0833
dez.	7,06	6,65	4,59	7,71	4,79	6,36	4,79	6,36	0,0781

Fonte: Baseada em dados da Companhia de Gás de São Paulo (2016).

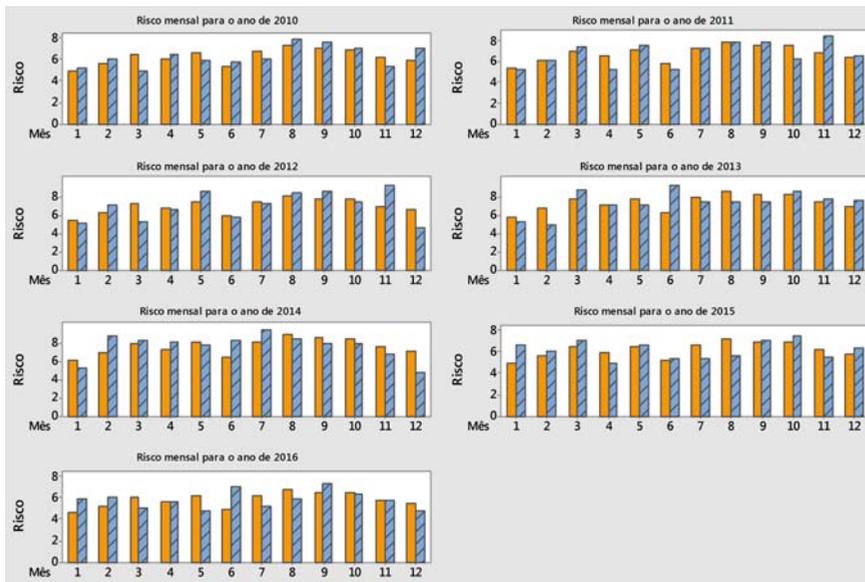


Figura 1 Gráfico de colunas para os valores esperados e observados para o risco mensal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A mediana foi utilizada como base para analisar como os dados estavam distribuídos ao longo dos meses conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 2. Por meio do

gráfico, pode-se identificar que há a presença de dois *outliers* nos meses de janeiro e fevereiro. Dessa forma, pode-se concluir que, para esses, houve ano em que os riscos apresentaram valores numéricos maiores em relação aos demais, ou seja, as redes externas de gás podem ter sido mais atingidas devido ao aumento significativo das obras de infraestrutura realizadas por empresas terceiras. Essas tubulações apresentam um valor numérico de ponderação maior devido à sua pressão (maior que as tubulações de rede interna), maior exposição às pessoas e meio ambiente e os danos em ramal interno podem ter aumentado de forma desproporcional aos outros anos, por motivo de obras internas. Ainda analisando o gráfico de *boxplot*, é possível perceber que se tem uma variabilidade nos dados maior nos meses de março, junho, novembro e dezembro.

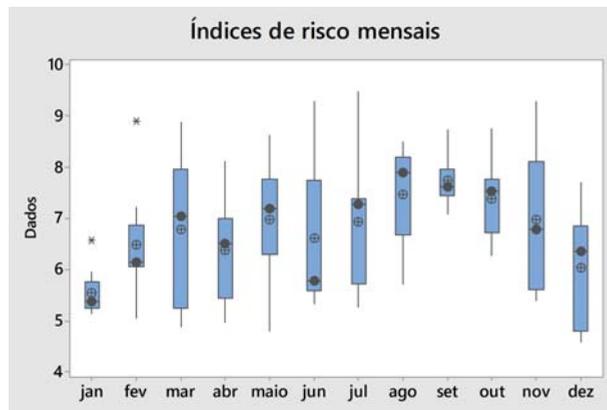


Figura 2 Gráficos de *BoxPlot* para os índices de risco mensais.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

O gráfico de autocorrelação apresentado na Figura 3 mostrou que observações sucessivas são mais correlacionadas, pois ultrapassam o limite de significância de 5%. Houve também uma correlação maior entre observações com uma distância de nove períodos, o que deve ter sido um resultado aleatório. Segundo Morettin e Tolói (2006, p. 64), são considerados “[...] como sazonais os fenômenos que ocorrem regularmente, de ano para ano”. Morettin e Tolói (2006, p. 64) ressaltam que, para a existência de sazonalidade, deve haver relações “entre observações para um mesmo mês em anos sucessivos”, fato esse que não ocorreu. Concluiu-se então que não houve sazonalidade do risco nesse período.

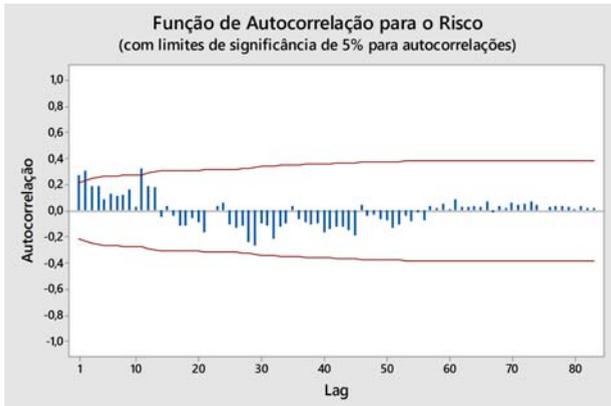


Figura 3 Gráfico de autocorrelação para a série risco de 2010 a 2016.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Outra hipótese foi referente à verificação da existência de proporcionalidade entre os índices de frequências mensais nos anos 2010 a 2016. Dessa forma, desejava-se saber se, para todos os anos, as frequências mensais ocorreram nos meses segundo a mesma proporção. Os dados mensais para os anos 2010 a 2016 são apresentados na Tabela 4, junto com as respectivas medianas e probabilidades, sendo as probabilidades calculadas dividindo-se o respectivo valor mensal da mediana pela soma das medianas mensais, representando assim a probabilidade de frequência de danos no mês.

Os dados da Tabela 4 são ilustrados na Figura 4 por meio de gráficos que mostram a aderência do modelo das medianas com suas respectivas proporcionalidades aos valores reais. As colunas em azul representam os valores observados e as de cor laranja os valores esperados.

TABELA 4

Índices de frequências mensais (dano/km.10³), mediana mensal e probabilidade de frequência de danos.

Mês	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
jan.	5,33	4,46	5,34	4,77	5,78	6,07	5,00	5,33	0,0742
fev.	4,76	6,23	5,54	4,50	6,65	5,77	4,97	5,54	0,0771
mar.	4,21	6,76	5,21	7,16	6,85	6,46	4,18	6,46	0,0899
abr.	4,85	5,66	5,51	6,42	7,04	4,55	3,86	5,51	0,0767
maio	4,30	7,02	7,51	7,18	6,69	5,88	3,91	6,69	0,0931
jun.	4,43	5,77	5,35	7,41	6,44	5,35	5,29	5,35	0,0745
jul.	4,40	5,68	6,23	6,49	7,27	5,14	3,73	5,68	0,0791
ago.	6,12	6,43	6,96	6,67	6,99	5,50	4,58	6,43	0,0895

(continua)

TABELA 4 (continuação)

Índices de frequências mensais (dano/km.10³), mediana mensal e probabilidade de frequência de danos.

Mês	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
set.	5,88	6,73	6,75	6,68	6,98	5,99	5,00	6,68	0,0929
out.	7,12	5,67	5,51	8,24	7,07	6,64	4,98	6,64	0,0924
nov.	4,69	6,91	6,81	6,19	5,98	4,98	4,59	5,98	0,0832
dez.	5,90	6,06	4,48	6,31	4,02	5,56	4,36	5,56	0,0774

Fonte: Baseada em dados da Companhia de Gás de São Paulo (2016).

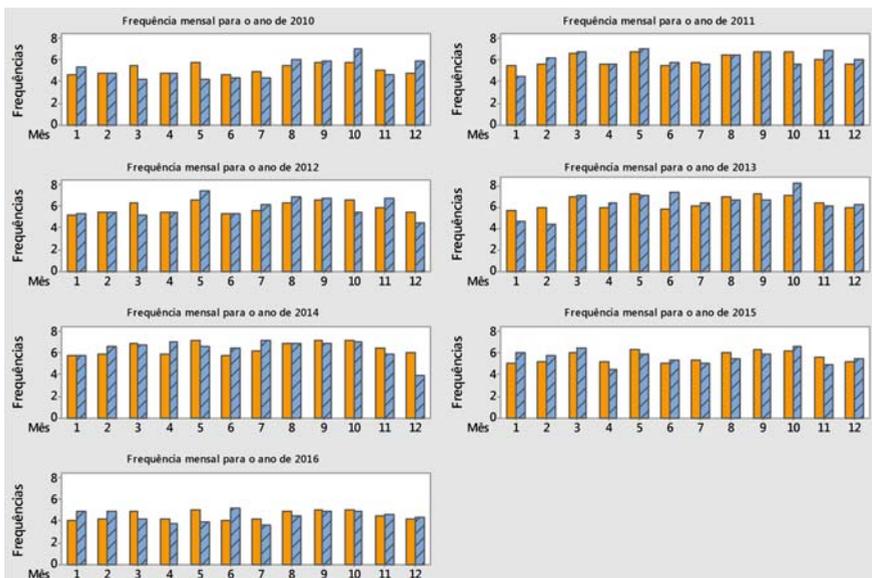


Figura 4 Gráfico de coluna para os valores esperados e observados para a frequência mensal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A mediana foi utilizada como base para analisar como os dados de frequências mensais estavam distribuídos ao longo dos meses conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 5. Por meio do gráfico, pode-se identificar que não há a presença de *outliers* durante o período estudado. Ainda analisando o *bloxplot*, é possível perceber que se tem uma variação de dados maior nos meses de março, maio, julho e novembro.

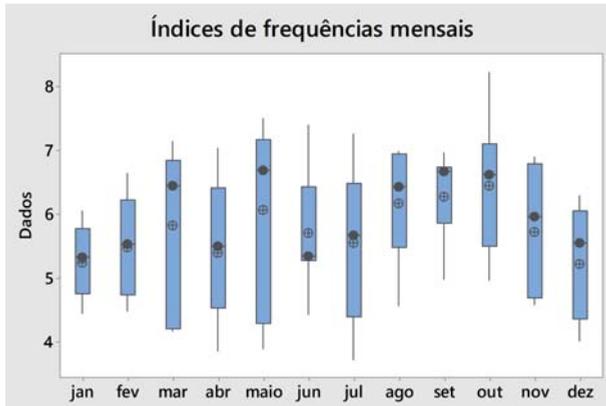


Figura 5 Gráfico de *BloxPlot* para os índices de frequências mensais,

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A Figura 6 auxiliou na análise da autocorrelação entre as frequências relativas mensais. Seu objetivo foi analisar se haveria indicação de padrões dos dados no decorrer do tempo, o que não ocorreu, uma vez que o gráfico apontou haver autocorrelação somente entre duas medidas sucessivas, concluindo-se que não houve sazonalidade na frequência relativa nesse período.

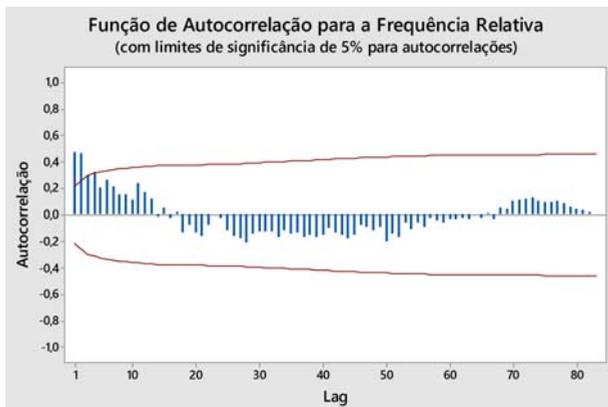


Figura 6 Gráfico de autocorrelação para a série a frequência mensal de 2010 a 2016.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para a análise da proporcionalidade do risco por grupo de pressão operacional, os valores obtidos por meio da Equação 5 foram organizados conforme a Tabela 5:

TABELA 5

Índices de risco por grupo de pressão (dano/km.10³).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Alta	0,13	0,27	0,37	0,25	0,48	0,05	0,19
Baixa	1,01	0,98	0,77	0,68	0,58	0,44	0,19
Média	4,84	5,11	5,63	5,99	6,30	5,29	5,00

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Após o cálculo dos índices anuais para cada grupo de pressão, foi atribuído o valor 1 para o grupo de pressão com menor valor de ocorrência em todos os anos, e, para os dois grupos restantes, os valores foram obtidos por meio de regra de três simples. Os índices obtidos são representados na Tabela 6:

TABELA 6

Índices de risco por grupo de pressão (dano/km.10³).

Pressão	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
Alta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0368
Baixa	7,85	3,56	2,05	2,67	1,20	8,11	1,02	2,67	0,0983
Média	37,40	18,62	15,08	23,50	13,09	98,06	26,23	23,50	0,8648

Fonte: Elaborada pelas autoras.

A proporcionalidade obtida pelo cálculo da mediana foi uma estimativa de como esses índices podem se comportar durante o ano; contudo, não deve ser aplicada como modelo explicativo de como os valores se comportam, pois houve muitos fatores que afetaram diretamente essas quantidades. Dessa forma, analisando as proporções geradas com o uso das medianas obtidas, chegou-se à proporção estimada de risco para grupo de pressão operacional, conforme a Figura 7:

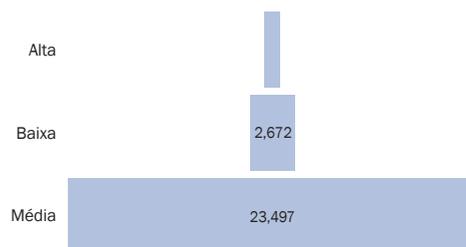


Figura 7 Proporcionalidade estimada do risco por grupo de pressão operacional.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

As proporções estimadas pelo modelo das medianas foram comparadas com os valores reais entre 2010 e 2016 para verificar a aderência aos valores observados. Os gráficos da Figura 8 ilustram tal aderência, sendo as colunas em azul os valores observados, e as em laranja os valores esperados.

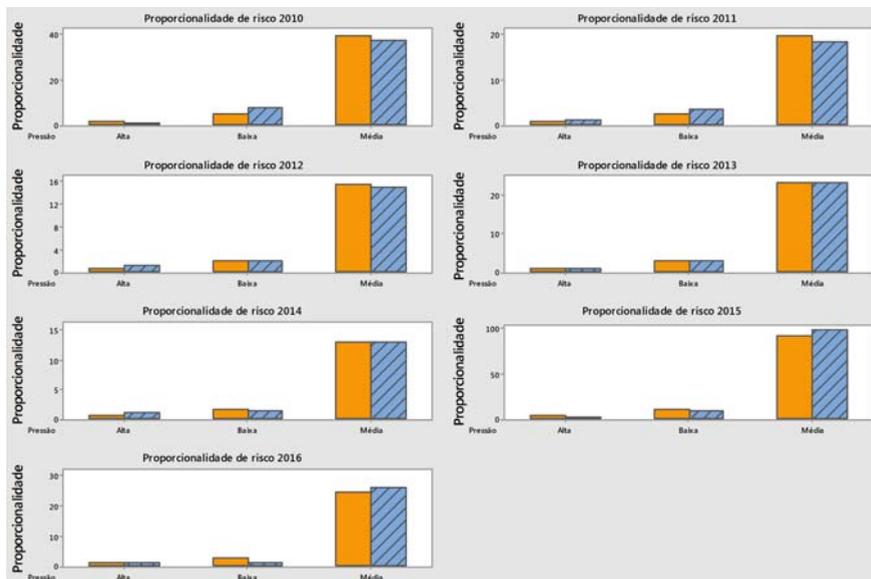


Figura 8 Gráficos da proporcionalidade estimada x observada do risco por grupo de pressão.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para a verificação da proporcionalidade para a frequência relativa, considerando o local do dano, foi utilizada a mesma metodologia aplicada para os valores de risco. Suas respectivas proporcionalidades e as medianas obtidas são representadas pela Tabela 7:

TABELA 7

Proporcionalidade da frequência relativa entre os locais do dano por ano, mediana e probabilidade correspondente.

Local do dano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
Rede	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,2940
Ramal Externo	1,02	1,11	1,09	0,92	1,00	0,92	0,85	1,00	0,2940
Ramal Interno	1,18	1,40	1,31	1,54	1,31	2,31	1,79	1,40	0,4120

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Dessa forma, analisando as proporções geradas com o uso das medianas obtidas, chegou-se à seguinte proporção estimada da frequência relativa para o local do dano, conforme a Figura 9:

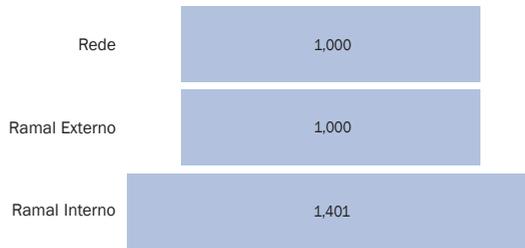


Figura 9 Proporcionalidade da frequência relativa por local do dano.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Os gráficos da Figura 10 ilustram a aderência ao modelo, sendo as colunas de cor azul os valores observados, e as em cor laranja os valores esperados:

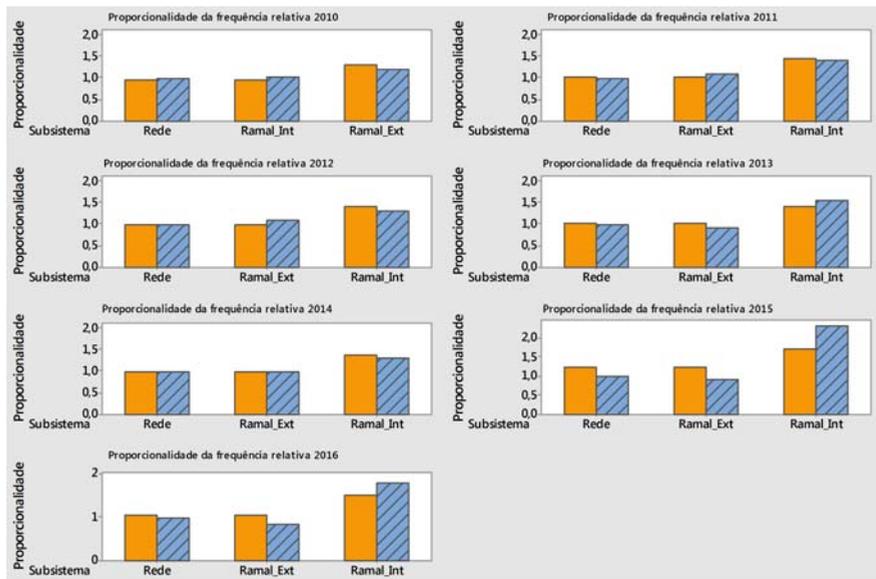


Figura 10 Gráfico de coluna para a proporcionalidade estimada da frequência relativa.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para a análise da frequência relativa por grupo de pressão operacional, foi utilizada a mesma metodologia aplicada para os valores de risco e os resultados obtidos foram organizados anualmente e calculadas as medianas e suas respectivas proporcionalidades, apresentadas na Tabela 8:

TABELA 8

Proporcionalidade da frequência relativa entre grupos de pressão operacional, mediana e probabilidade correspondente.

Pressão	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mediana	Probabilidade
Alta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,0070
Baixa	78,50	35,60	41,00	28,50	16,70	69,50	13,00	35,60	0,2496
Média	111,00	64,80	106,00	95,83	69,80	354,50	134,00	106,00	0,7433

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Dessa forma, analisando-se as proporções geradas com o uso das medianas obtidas, chegou-se à seguinte proporção estimada da frequência relativa por grupo de pressão, conforme a Figura 11:

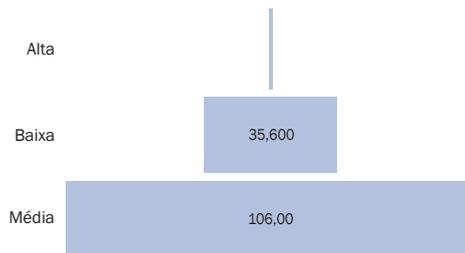


Figura 11 Proporcionalidade da frequência relativa por grupo de pressão.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Os gráficos da Figura 12 ilustram a aderência ao modelo, sendo as colunas em azul os valores observados, e as colunas em cor laranja os valores esperados obtidos pelo modelo das medianas.

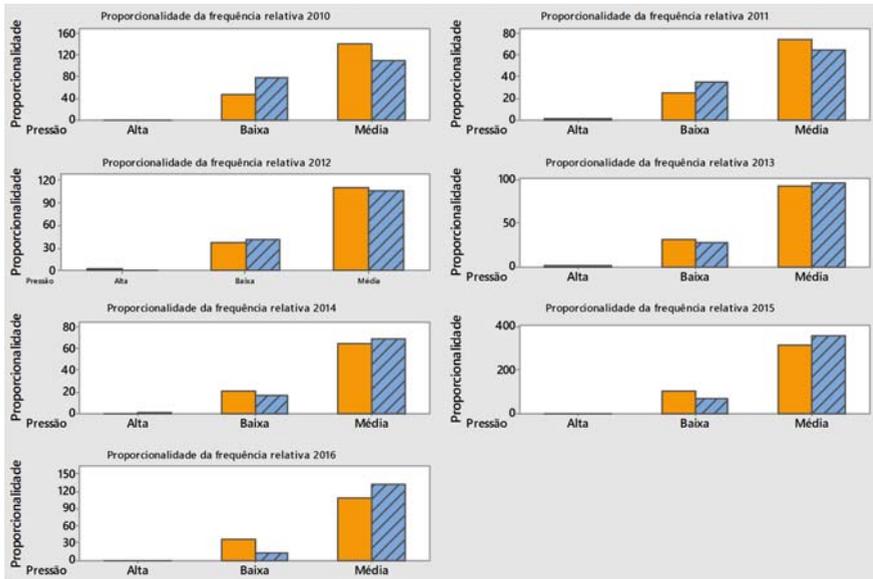


Figura 12 Gráfico de coluna para a proporcionalidade estimada da frequência relativa por grupo de pressão operacional.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Para a análise da distribuição dos dados de proporcionalidade para a frequência relativa por grupo de pressão e locais do dano e do risco para grupos de pressão, foi utilizada a mediana de acordo com o gráfico da Figura 13. Por meio dos gráficos é possível identificar dois *outliers* para as tubulações de pressão média, quando os dados referem-se à frequência relativa e ao risco, que podem ser explicados pelo aumento das obras públicas e de infraestrutura nas ruas e calçadas e pelo aumento das obras particulares realizadas por profissionais autônomos em determinadas ocasiões.

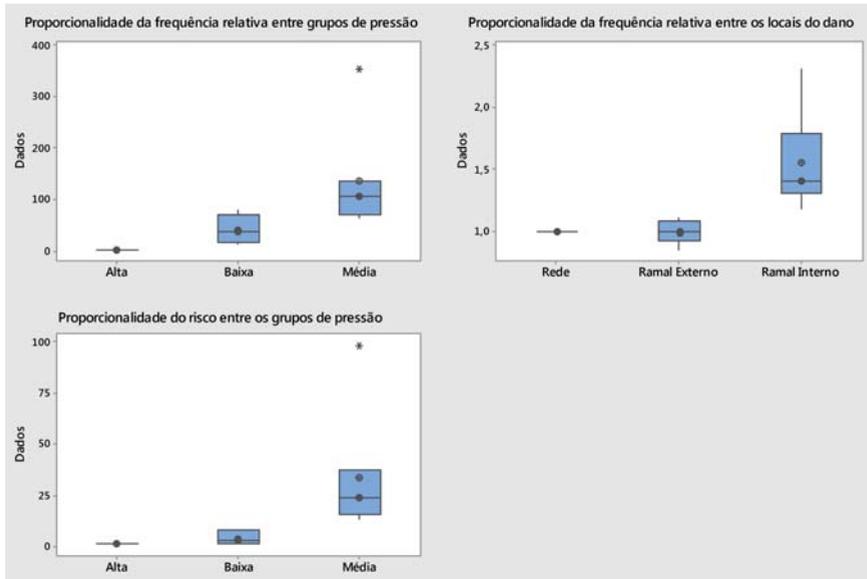


Figura 13 Gráfico *Bloplot* para a proporcionalidade estimada da frequência relativa por grupo de pressão e locais do dano e do risco para grupos de pressão.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

4 CONCLUSÃO

A hipótese central da pesquisa foi verificar a existência de uma proporcionalidade entre os grupos de dados e se essa proporcionalidade se mantinha no decorrer dos meses e dos anos.

Para a verificação dessa hipótese, os dados foram agrupados para análise da frequência de ocorrência e avaliação da criticidade que depende da pressão de operação. A mediana foi utilizada para estimação da proporcionalidade, pois a média é uma medida sensível a qualquer valor discrepante. Dessa forma, obteve-se um modelo que desconsidera os valores muito discrepantes que podem ser ocasionados pelo aumento de obras de terceiros ou particulares e afetam diretamente os índices de análise.

Encontrou-se para o risco uma proporcionalidade estimada de 1,000: 2,672: 23,497, respectivamente, para grupo de pressão operacional alta, baixa e média. Já para a frequência relativa, a proporcionalidade estimada por local do dano foi de 1,000: 1,000: 1,401, respectivamente, para rede, ramal externo e ramal interno. Finalmente, para a frequência relativa, a proporcionalidade estimada foi de 1,000: 35,600: 106,000, respectivamente, para grupo de pressão operacional alta, baixa e média.

Verificou-se descritivamente que, aparentemente, não houve diferenças significativas entre as proporcionalidades estimadas e as proporcionalidades observadas nos valores coletados, podendo as proporcionalidades estimadas ser utilizadas para tratar os riscos de maneira preventiva, priorizando ações que podem ser direcionadas pelo local do dano ou pressão operacional.

Assim, as pirâmides que foram estruturadas apresentam valores muito próximos dos que foram observados no decorrer dos meses e dos anos, tornando-se uma ferramenta importante para a análise de falhas, contribuindo para o entendimento das causas principais de vazamentos de gás ocasionados por danos de terceiros, sendo, portanto, uma possível ferramenta para a Engenharia de Manutenção.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para a estruturação de planos mitigatórios, por meio da atribuição de prioridades na execução das ações. Além disso, a avaliação de criticidade dos incidentes que causam vazamentos em dutos de distribuição de gás natural pode auxiliar para a elaboração de planos de manutenção dos ativos, determinando ordem de prioridades nas tomadas de decisões. Dessa forma, o conhecimento dos riscos associados a cada subsistema de uma determinada ameaça é uma ferramenta relevante para o gerenciamento dos ativos e de sua vida útil.

Vale ressaltar que avaliar os riscos envolvidos nos sistemas de distribuição de gás natural é uma maneira de mitigar possíveis consequências ambientais, sociais e financeiras de um possível vazamento. Assim, este trabalho tem como uma de suas contribuições apresentar ferramentas pontuais para o gerenciamento adequado e efetivo dos riscos e efeitos dos vazamentos em dutos de distribuição de gás natural.

Sugere-se como pesquisas futuras avaliar e estimar os riscos sociais e ambientais associados a outras ameaças que envolvam a distribuição de gás natural e avaliar como os resultados obtidos neste trabalho podem ser aplicados na Gestão de Manutenção e na análise de falhas. Sugere-se também a realização de uma análise combinada dos dois subsistemas, ou seja, que se avalie se nos ramais internos (maior risco) a proporcionalidade da frequência por grupo de pressão é a mesma encontrada nesta pesquisa.

VERIFICATION OF PROPORTIONALITY OF THIRD PARTY DAMAGES IN NATURAL GAS DISTRIBUTION PIPES BY OPERATING PRESSURE GROUP AND DAMAGE LOCATION

Abstract

The present work aims at evaluating the existence of proportionality of damages caused by third companies in natural gas distribution pipelines, which result in loss of natural gas containment by subsystem (place of occurrence) and by operating pressure

group for frequency and associated risks. The Quantitative Risk Analysis (QRA) had the objective of quantifying the risks and their scenarios, and a descriptive analysis of these variables in the studied periods suggest that there is an approximate proportionality of damage caused by third parties in natural gas pipelines. Thus, the calculation of proportionality used medians to disregard very discrepant values. By self-correlation graphs, the conclusion is that the data did not present seasonality in the analyzed period, making the model of proportion estimated by the medians more appropriate. The result of this work was the structuring of pyramids that represent the proportionalities obtained, contributing as a tool for asset maintenance management.

Keywords: Natural gas. Distribution pipelines. Risk.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. A. C. *A logística internacional como diferencial competitivo para as empresas envolvidas nas importações e exportações brasileiras*. 2008. Dissertação (Mestrado em Economia)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/3880/jaca.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS – ABRAMAN. *Gestão de ativos e PAS 55*, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/pas55>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13933, Instalações internas de gás natural (GN) – Projeto e execução*, Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <[http://gsea.com.br/normasabnt/Instalacoes_Internas_de_Gas_Natural_\(GN\)_-_Projeto_e_Execucao_NBR_13933_-_1997.pdf](http://gsea.com.br/normasabnt/Instalacoes_Internas_de_Gas_Natural_(GN)_-_Projeto_e_Execucao_NBR_13933_-_1997.pdf)>. Acesso em: 9 fev. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Resenha energética brasileira*. Brasília, DF, maio 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0)>. Acesso em: 30 abr. 2017.

BRITO, A. J. de M. *Avaliação multicritério de riscos em gasodutos de gás natural: uma abordagem de classificação com electre tri*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5646>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

COMPANHIA DE GÁS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Base de dados anuais – Plano de Prevenção de Danos*. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://academic.oup.com/icc/article-abstract/19/3/713/698662/Do-organizations-have-to-change-to-learn-Examining?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

DESAI, V. Do organizations have to change to learn? Examining the effects of technological change and learning from failures in the natural gas distribution industry. *Industrial and Corporate Change*, v. 19, n. 3, p. 713-739, 2010.

EUROPEAN GAS PIPELINE INCIDENT DATA GROUP (EGIG). *Gas pipeline incidents 6th EGIG-report 1970-2004*. Groningen, 2015. Disponível em: <<https://www.egig.eu/uploads/bestanden/972fa244-4236-41b4-a90b-fec3962b11ea>>. Acesso em: 10 out. 2016.

MONTEIRO, S. O paradoxal futuro do gás. *Revista Conjuntura Econômica, FGV-IBRE*, Rio de Janeiro, v. 68, n. 12, dez. 2014. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumPageId=4028818B37A00A200137A4099DA13ADA&contentId=8A7C82C549C3707F014A1BD4327A0DD0>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

MORETTIN, P. A.; TOLÓI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

RODRIGUES, S. *Análise Espectral de uma série histórica de danos sobre uma rede subterrânea de distribuição de gás natural em regiões metropolitanas no estado de São Paulo*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000900891>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

SANTOS, E. M. dos et al. Gás natural: a construção de uma nova civilização. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 67-90, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a06v2159.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

SOUZA, A. N.; JACOBI, P. R. Expansão da Matriz Hidrelétrica no Brasil: as Hidrelétricas da Amazônia e a perspectiva de mais Conflitos Socioambientais. In: ENCONTRO DA ANPPAS, 5., 2005, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT17-601-577-20100903225428.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

SOUZA, R. S.; SOUZA, G. S. A Logística Internacional e Comércio Exterior Brasileiro: Modais de Transporte, Fluxos Logísticos e Custos Envolvidos. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 10., 2013, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Seget, 2013. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/631831.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

VIANA, V. C. *Desenvolvimento de metodologia de análise quantitativa de risco para dutovias de petróleo e derivados*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <<http://www.ppgep.org.br/dissertacoes/MA-0233.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

ZIMMERMANN, A. T. *Análise de riscos de um vazamento de gás natural em um gasoduto*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92259>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

Contato

Raquel Cymrot
raquel.cymrot@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em setembro de 2017.
Aprovado em dezembro de 2017.