

Análise de Custo-Benefício aplicada à seleção de medidas mitigadoras de risco ao público externo para dutos – Estudo de Caso

Douglas T. S. Alves
Cassiano B. C. Borges
Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS, Brazil
Gilson Lima
Universidade Federal Fluminense - UFF

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação com a variável risco ao público externo durante o processo de concepção do projeto de novos dutos tem se mostrado cada vez mais evidente, resultando na adoção de distâncias de afastamento em relação a regiões populacionais que podem estar presentes ao longo do seu traçado (Alves et al., 2015) ou até mesmo na escolha de rotas que passem por regiões afastadas de grandes aglomerados humanos (sempre que possível).

Entretanto, a crescente expansão demográfica que vem ocorrendo recentemente nas proximidades das faixas de dutos existentes que compõem a malha dutoviária nacional aliada ao estabelecimento de critérios de aceitabilidade de risco ao público externo cada vez mais restritivos por parte dos órgãos ambientais brasileiros (exemplos: CETESB e IBAMA) tem apontado para a necessidade recorrente da implementação de medidas de mitigação em áreas densamente povoadas.

Neste contexto, torna-se imprescindível o emprego de uma metodologia baseada no princípio ALARP (“As Low As Reasonably Practicable”) de forma a assegurar que a medida de mitigação a ser selecionada seja suficiente para garantir que os níveis de risco individual e social a serem impostos a tais populações sejam aderentes aos critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais, ao mesmo tempo em que os seus respectivos custos sejam proporcionais aos benefícios obtidos com a redução de tais riscos. Isto permite, portanto, que os recursos das empresas operadoras de dutos, disponíveis para este fim, sejam aplicados de forma mais eficaz, selecionando-se a medida de fato mais efetiva para um determinado ponto específico do traçado ou direcionando-os para as regiões mais críticas (uma vez que os recursos disponíveis não são ilimitados).

Assim sendo, por meio de um estudo de caso hipotético referente a um duto de gás natural, pretende-se ilustrar a aplicação desta metodologia no processo decisório da melhor medida mitigadora a ser adotada dentre as alternativas propostas, considerando-se tanto os custos das medidas quanto a redução dos riscos proporcionada por cada uma delas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste na aplicação de uma metodologia de análise de custo-benefício para avaliação de alternativas de medidas mitigadoras de risco a serem propostas para a redução do risco social imposto às respectivas populações vizinhas a dois trechos (Pontos Notáveis) de um gasoduto hipotético. As medidas mitigadoras, comumente propostas para mitigação de riscos em dutos, e cujas efetividades serão avaliadas neste artigo para este caso específico, são:

1. Implantação de placas de concreto e tela de aviso sobre o trecho em análise;
2. Substituição do trecho em análise mediante aumento da espessura do duto;
3. Mudança do traçado do duto com a manutenção de suas características físicas, construtivas e operacionais.

As Figuras 1 e 2 a seguir apresentam, respectivamente, o traçado original do duto (em vermelho) e o novo traçado proposto como uma das alternativas de medida de mitigação (em amarelo) para ambos os Pontos Notáveis analisados.



Figura 1 – Traçado original e proposta de variante para afastamento da população pertinente ao Ponto Notável 1.



Figura 2 – Traçado original e proposta de variante para afastamento da população pertinente ao Ponto Notável 2.

A Figura 3, por sua vez, ilustra fisicamente a aplicação de placas de concreto e tela de aviso para proteção do duto contra ação de terceiros, bem como a substituição do trecho de duto em análise por tubos de maior espessura.

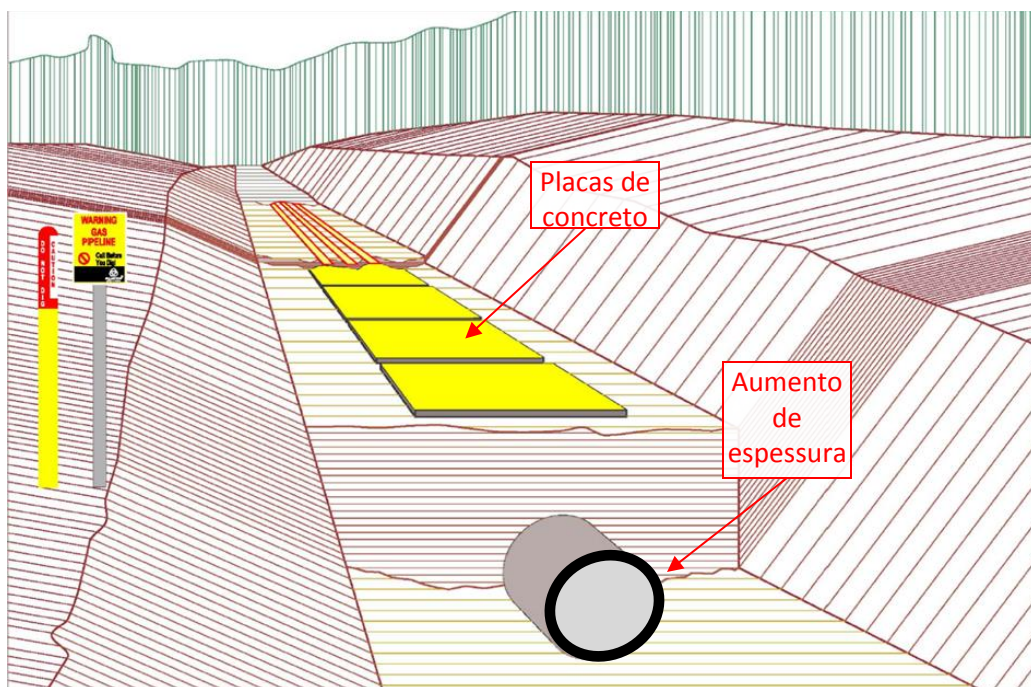


Figura 3 – Placas de concreto associadas a tela de aviso e aumento de espessura do duto.

3. METODOLOGIA

De forma a possibilitar a realização da análise de custo-benefício é necessário, primeiramente, estimar a efetividade das alternativas propostas no item 1 na redução dos riscos e os custos relacionados a cada uma delas.

As duas primeiras medidas de mitigação elencadas, as quais dizem respeito, respectivamente, à implantação de placas de concreto sobre o duto e à substituição do duto em um dado trecho mediante aumento da sua espessura, promovem a redução dos riscos através da diminuição da sua probabilidade de falha. Já no terceiro caso, referente ao afastamento do traçado do duto em relação à população, os riscos são reduzidos mediante a diminuição dos impactos (consequências) ao público externo decorrentes de acidentes, uma vez que a magnitude dos danos provocados por incêndio/explosão é inversamente proporcional à distância entre o termo fonte e o receptor.

Com relação aos custos, os mesmos foram estimados com base em referências bibliográficas da área, as quais estão relacionadas no item final deste artigo.

As premissas adotadas em ambas as etapas são apresentadas nos subitens a seguir.

3.1. Estimativa de taxas de falha

De forma a permitir uma avaliação mais detalhada principalmente do efeito da redução da probabilidade de falha do duto por meio do aumento de sua espessura foi utilizada como fonte de dados a norma inglesa IGEN/TD/2 Edition 2 (2013). Este documento permite quantificar, por mecanismo de falha, qual a probabilidade de um duto vir a falhar em função dos seus parâmetros específicos, tais como espessura (no caso de corrosão e defeitos de materiais), estabilidade do terreno (movimentação de solo), a idade do duto, etc.

No que tange à contribuição na taxa de falha referente à ação de terceiros (também denominada interferência externa), informa-se que esta foi calculada utilizando confiabilidade estrutural (sugerida pela norma inglesa IGEM/TD/2 Edition 2 (2013)). Esta metodologia, a qual tem como base princípios físicos relacionados à mecânica da fratura, possibilita a predição de frequências de falha¹ levando-se em consideração variáveis específicas do duto em análise, dentre elas o diâmetro, a pressão de operação, propriedades do material e a espessura (Lyons et al, 2008; Cosham et al, 2008).

Por sua vez, a adoção de placas de concreto associadas à sinalização subterrânea (telas de aviso) tem como principal efeito a redução da probabilidade de falha do duto devido à ação de terceiros. De forma geral, as referências que permitem a quantificação da redução dos riscos em função da adoção desta medida mitigadora trazem fatores de redução da probabilidade de interferência externa. Informa-se que este estudo se apoiou nos fatores de redução sugeridos pelas normas inglesas BSI PD 8010-3 (2013) e IGEM/TD/2 Edition 2 (2013).

Assim sendo, os subitens a seguir apresentam as taxas de falha obtidas para todos os casos em análise, bem como as premissas básicas estabelecidas para a quantificação das mesmas.

3.1.1 Aumento de espessura

Neste estudo, considerou-se como medida mitigadora um aumento da espessura do duto de 7,9 mm para 14 mm (somente nos trechos em que a substituição do duto for alvo de análise), correspondendo a uma redução do fator de projeto de 0,72 para 0,40. A Tabela 1 a seguir compara os parâmetros do duto antes e após a adoção desta medida mitigadora.

Tabela 1. Parâmetros do duto adotados na análise – Caso base e aumento de espessura.

Parâmetro do duto	Caso base	Aumento de espessura
Diâmetro	20 in	20 in
PMO	80 bar	80 bar
Grau do material	X52	X52
Limite de Escoamento (SMYS)	360 N/mm ²	360 N/mm ²
Espessura do duto	7,9 mm	14 mm
Fator de projeto	0,72	0,40
Profundidade no solo	1,1 m	1,1 m
Energia de impacto charpy	27 J	27 J

Neste contexto, a Tabela 2 a seguir apresenta as taxas de falha adotadas no presente estudo, as quais foram quantificadas utilizando-se os dados da Tabela 1 e as premissas estabelecidas anteriormente.

Tabela 2. Dados de falha utilizados no estudo – Caso base e aumento de espessura.

Caso base				
Mecanismo de falha	Furo	Ruptura	Total	Participação
Movimentação do solo	1,53E-06	7,01E-08	1,60E-06	0,8%
Corrosão	4,60E-05	0,00E+00	4,60E-05	21,7%
Defeitos de material e construção	5,60E-05	0,00E+00	5,60E-05	26,4%
Ação de Terceiros	5,28E-05	5,56E-05	1,08E-04	51,1%
Total	1,56E-04	5,57E-05	2,12E-04	100%
Participação	73,7%	26,3%	100%	-

¹ Foram adotados os dados de distribuição de probabilidade de defeitos (sulcos e moissas) e de taxa de incidentes disponibilizados no item 4.3 do Banco de Dados UKOPA (2015) no modelo de confiabilidade estrutural.

Aumento de espessura				
Mecanismo de falha	Furo	Ruptura	Total	Participação
Movimentação do solo	6,12E-07	1,12E-08	6,24E-07	2,0%
Corrosão	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
Defeitos de material e construção	1,70E-05	0,00E+00	1,70E-05	54,2%
Ação de Terceiros	1,07E-05	3,05E-06	1,38E-05	43,9%
Total	2,83E-05	3,06E-06	3,14E-05	100%
Participação	90,2%	9,8%	100%	-

Através dos resultados apresentados na Tabela 2 é possível observar que o aumento da espessura do duto contribui para uma redução significativa das frequências relacionadas a todos os mecanismos de falha, uma vez que quanto maior a espessura do duto (e mantendo-se os demais parâmetros constantes), maior a sua resistência mecânica. Além disso, outro fator que merece destaque é a redução significativa da contribuição da participação da ruptura na taxa de falha total do duto (de 26,3% para 9,8%).

3.1.2 Placas de concreto associadas a tela de aviso

A adoção de placas de concreto associadas a sinalização subterrânea tem como principal efeito a redução da probabilidade de falha do duto devido à ação de terceiros. De forma geral, as referências que permitem a quantificação da redução dos riscos em função da adoção de placas de concreto e fita de aviso trazem fatores de redução da probabilidade de interferência externa.

Assim sendo, neste trabalho foi utilizado o fator de proteção estabelecido pelas normas inglesas BSI PD 8010-3 (2009) e IGEM/TD/2 Edition 2 (2013), igual a 0,125 (o qual é validado pelo HSE – Health and Safety Executive, órgão ambiental britânico).

Assim sendo, a Tabela 3 a seguir compara as taxas de falha referentes ao caso base e após a adoção das placas de concreto com sinalização subterrânea, mediante a aplicação do fator de redução da probabilidade de ação de terceiros citado acima.

Tabela 3. Dados de falha utilizados no estudo – Caso base e Placas de concreto associadas a fita de aviso.

Caso base				
Mecanismo de falha	Furo	Ruptura	Total	Participação
Movimentação do solo	1,53E-06	7,01E-08	1,60E-06	0,8%
Corrosão	4,60E-05	0,00E+00	4,60E-05	21,7%
Defeitos de material e construção	5,60E-05	0,00E+00	5,60E-05	26,4%
Ação de Terceiros	5,28E-05	5,56E-05	1,08E-04	51,1%
Total	1,56E-04	5,57E-05	2,12E-04	100%
Participação	73,7%	26,3%	100%	-
Placas de concreto e fita de aviso				
Mecanismo de falha	Furo	Ruptura	Total	Participação
Movimentação do solo	1,53E-06	7,01E-08	1,60E-06	1,4%
Corrosão	4,60E-05	0,00E+00	4,60E-05	39,3%
Defeitos de material e construção	5,60E-05	0,00E+00	5,60E-05	47,8%
Ação de Terceiros	6,60E-06	6,95E-06	1,36E-05	11,6%
Total	1,10E-04	7,02E-06	1,17E-04	100%
Participação	94,0%	6,0%	100%	-

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 3 nota-se que a colocação de placas de concreto e fitas de aviso para proteger o duto contribui para uma redução significativa das frequências relacionadas à ação de terceiros (de 51,1% para 11,6%).

3.2. Princípio ALARP e Análise de custo-benefício

Nas localidades onde os níveis de risco social se situarem na região intermediária do gráfico que define os critérios de tolerabilidade estabelecidos pelo órgão ambiental federal IBAMA (2012), é necessário demonstrar que os riscos são aceitáveis através da comparação entre as respectivas reduções do risco que podem ser obtidas mediante a aplicação de medidas mitigadoras e os custos envolvidos na adoção das mesmas.

Tal comparação, a qual consiste na Análise de custo-benefício, pode ser realizada através do cálculo do parâmetro CCA (cost per casualty averted – ou, traduzindo, custo por fatalidade evitada) para cada medida de mitigação proposta. Tal parâmetro é definido pela seguinte equação (Rumney et al, 2012):

$$CCA = \frac{\$}{(\Delta EV).RL} \quad (1)$$

Em que:

CCA = Custo por fatalidade evitada

\$ = Custo total associado à implantação de uma dada medida mitigadora

ΔEV = Variação do valor esperado de fatalidades devido à implantação desta medida

RL = Vida útil remanescente do duto, assumida como sendo igual a 30 anos.

O parâmetro EV (valor esperado) é uma medida estatística do número médio esperado de fatalidades devido ao risco imposto pelo duto às comunidades circunvizinhas. O mesmo é calculado através da equação (2) utilizando-se os pontos FxN que dão origem à curva de risco social:

$$EV = \sum F.N \quad (2)$$

Por meio da comparação dos respectivos valores de CCA para cada medida mitigadora estudada, é possível definir, para um determinado Ponto Notável, qual é a opção que oferece a melhor relação de custo benefício (maior valor de CCA).

Entretanto, a demonstração do princípio ALARP passa pela comparação entre o CCA de uma dada medida mitigadora com um valor de referência representativo para a atividade sendo analisada, acima do qual os custos referentes a esta medida são considerados desproporcionais aos benefícios obtidos mediante a redução dos riscos. Usualmente referenciado na literatura como “cost of life” (valor da vida), este parâmetro não deve ser encarado de forma pejorativa como sendo uma forma de quantificar a vida humana, mas sim como um valor limite de quanto empresas pertencentes a uma determinada área, em média, usualmente investem para se evitar estatisticamente uma fatalidade.

Na ausência de um valor de referência estabelecido por órgãos reguladores nacionais e levando em consideração a unidade monetária utilizada como base na avaliação dos custos das medidas mitigadoras estudadas, foi adotado um valor conservativo de US\$50 milhões para este parâmetro (Rumney et al, 2012).

A título de informação, no Reino Unido o Health and Safety Executive - HSE (2016) estabelece valores de referência para estudos de custo benefício e demonstração do princípio ALARP em função da gravidade do dano à pessoa (ferimentos leves, severos, permanentes ou morte), sendo igual a £1.336.800 para uma fatalidade. Tais dados foram obtidos através de um estudo econômico de acidentes em autoestradas realizado pelo Departamento de Transportes do referido país (Department for Transport, 2004). Além disso, para atividades com potencial de resultar em múltiplas fatalidades em decorrência de acidentes (tais como transporte de produtos perigosos através de dutos), o HSE também estabelece um fator de desproporcionalidade igual a 10, dando origem a um valor de referência final igual a £13.368.000.

3.3. Custos das medidas mitigadoras

Os seguintes valores, apresentados na Tabela 5, foram utilizados para a realização da estimativa dos custos associados a cada uma das medidas mitigadoras de risco estudadas neste trabalho, para cada um dos Pontos Notáveis. Estes valores tiveram como base as informações disponíveis em Rumney et al (2012) e no gráfico apresentado na Figura 4. Os custos totais são apresentados no item a seguir (Resultados).

Tabela 5. Custos, por metro, pertinentes às medidas mitigadoras analisadas.

Medida mitigadora	Custo por metro de trecho de duto
Placas de concreto e tela de aviso	US\$720,00
Aumento de espessura	US\$3.000,00
Mudança de rota do duto	US\$3.125,00

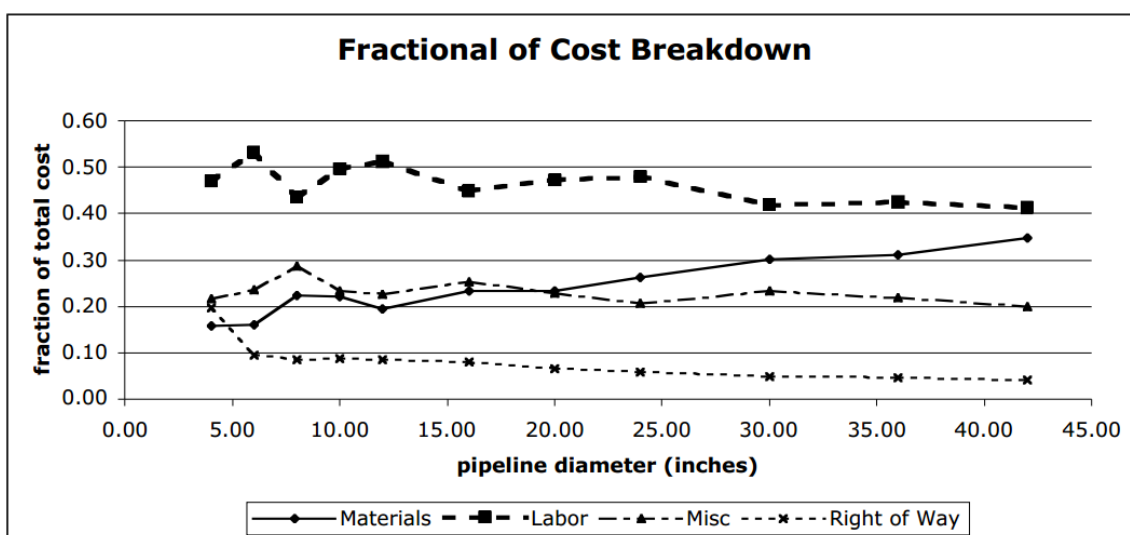


Figura 4 – Discriminação dos custos de construção e montagem em função do diâmetro do duto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de risco individual e risco social, bem como da Análise de custo-benefício e verificação do princípio ALARP são apresentados a seguir, de forma separada, para cada um dos pontos notáveis (apresentados, respectivamente, nas Figuras 1 e 2).

4.1. Ponto Notável 1

Os resultados de risco individual e risco social tanto para o caso base quanto para a adoção das medidas mitigadoras em análise são apresentados, respectivamente, nas Figuras 5 e 6.

Risco Individual - Ponto Notável 1

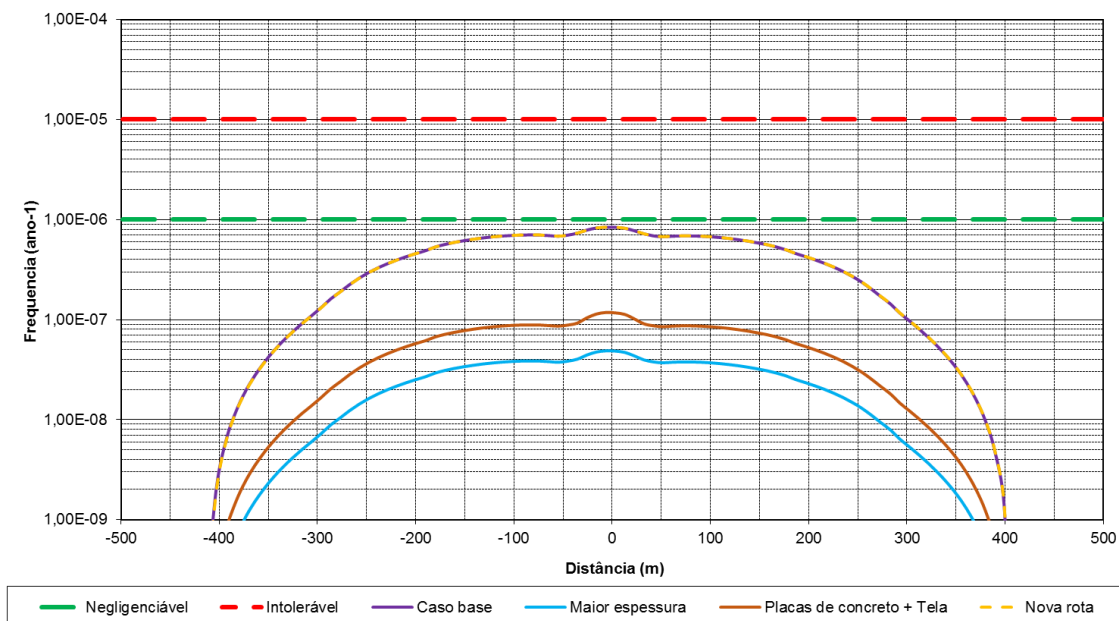


Figura 5. Resultados de Risco Individual – Ponto Notável 1.

Risco Social - Ponto Notável 1

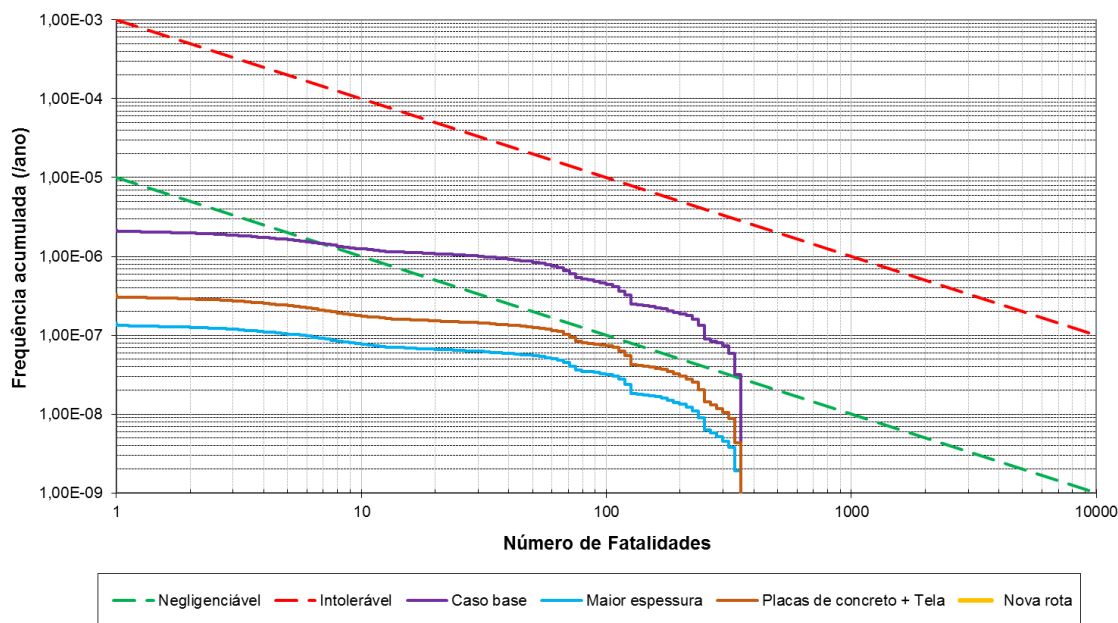


Figura 6. Resultados de Risco Social – Ponto Notável 1.

Como se nota nos resultados apresentados, apesar de os níveis de risco individual terem se situado na região tolerável para o caso base, a curva de risco social (roxa) ficou localizada na região intermediária, sendo necessária, portanto, a proposição de medidas mitigadoras e análise do custo benefício das mesmas. Assim sendo, os valores de CCA são apresentados a seguir, na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de CCA relativos às medidas mitigadoras em análise – Ponto Notável 1.

Medida mitigadora	Extensão do trecho de duto	Valor esperado do caso base	Valor esperado após medida	Custo total da mitigação	CCA
Placas de concreto e tela de aviso	860 m		8,10E-05	US\$ 0.62 milhões	US\$ 187 milhões
Aumento de espessura	860 m	1,91E-04	6,98E-05	US\$ 2.58 milhões	US\$ 709 milhões
Mudança de rota do duto	1680 m		0,00E+00	US\$ 5.25 milhões	US\$ 916 milhões

Através da Tabela 6 é possível concluir que, apesar de a mudança da rota do duto ser a alternativa que mais reduz o risco social (pois o afastamento em relação à população resultou em risco social nulo, não tendo sido obtida curva FN para este caso), a mesma é a opção menos atraente em termos de custo benefício (pois apresentou maior valor de CCA).

Além disso, dentre as duas medidas restantes, a adoção de placas de concreto e tela de aviso é a melhor opção em termos de custo benefício (mesmo sendo aquela que resulta, em termos relativos, na menor redução do risco), apresentando menor valor de CCA dentre as três.

Entretanto, quando comparamos os três valores de CCA com o valor de referência de US\$50 milhões, observa-se que todos eles extrapolam este limite, indicando que os custos associados a tais medidas, para esta localidade, são desproporcionais à redução dos riscos proporcionados pela adoção de qualquer uma das três medidas mitigadoras em questão.

Desta forma, conclui-se que os níveis de risco social para o caso base (sem mitigação) atendem ao princípio ALARP (*As low as reasonably practicable*), justificando-se, portanto, a continuidade da operação do duto sem a adoção de nenhuma das medidas de mitigação estudadas na localidade correspondente ao Ponto Notável 1.

4.2. Ponto Notável 2

Os resultados de risco social tanto para o caso base quanto para a adoção das medidas mitigadoras em análise, relativos ao Ponto Notável 2, são apresentados na Figura 7.

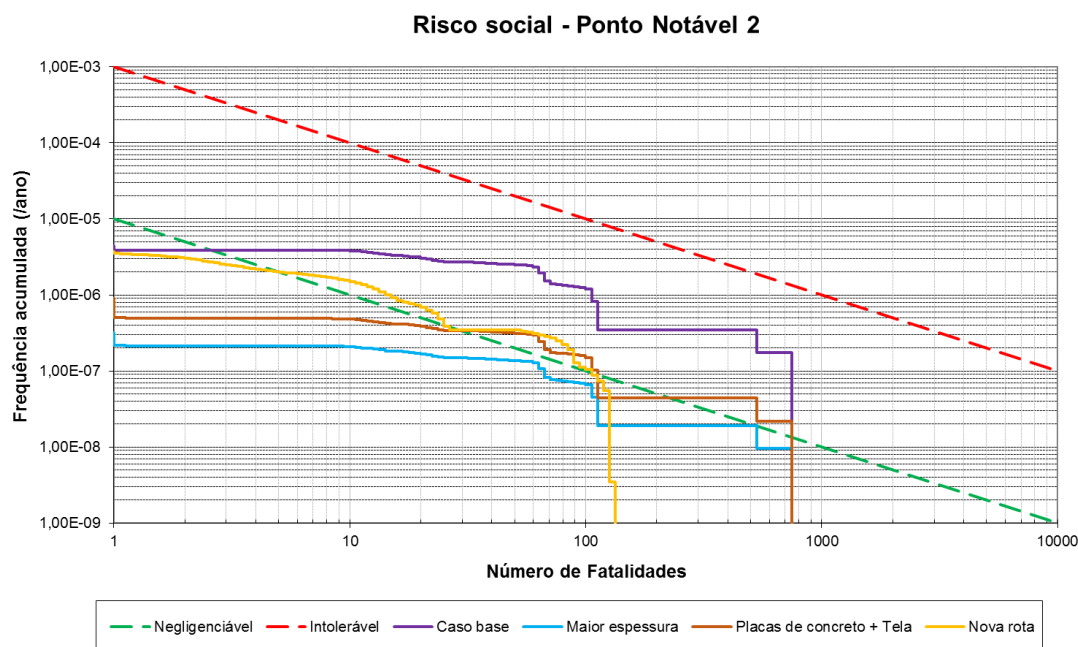


Figura 7. Resultados de Risco Social – Ponto Notável 2.

Informa-se que, em função de as variáveis que influenciam o risco individual terem sido consideradas iguais para ambos os Pontos Notáveis (dados meteorológicos, variáveis operacionais, etc), os resultados apresentados na Figura 5 são também aplicáveis ao Ponto Notável 2.

Da mesma forma que ocorreu para o PN1, a curva de risco social (roxa) para o caso base no PN2 ficou localizada na região intermediária, sendo necessária, portanto, a proposição de medidas mitigadoras e análise do custo benefício das mesmas. Assim sendo, os valores de CCA são apresentados a seguir, na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de CCA relativas às medidas mitigadoras em análise – Ponto Notável 2.

Medida mitigadora	Extensão do trecho de duto	Valor esperado do caso base	Valor esperado após medida	Custo total da mitigação	CCA
Placas de concreto e tela de aviso	1860 m		2,52E-04	US\$ 1.34 milhões	US\$ 42.4 milhões
Aumento de espessura	1860 m	1,30E-03	1,65E-04	US\$ 5.58 milhões	US\$ 163 milhões
Mudança de rota do duto	8400 m		1,20E-04	US\$ 26.3 milhões	US\$ 740 milhões

Observando-se a Tabela 7 nota-se que foram obtidos os mesmos resultados tanto para o PN1 quanto para o PN2 em termos de ranqueamento das medidas mitigadoras por ordem de efetividade do ponto de vista de custo-benefício, ou seja, a adoção de placa de concreto juntamente com tela de aviso apresentou o menor valor de CCA dentre as três opções, seguida pelo aumento da espessura do duto e, por fim, a mudança de traçado do mesmo.

Entretanto, observa-se que para o Ponto Notável 2 o valor de CCA correspondente à placa de concreto e tela de aviso se situou abaixo do valor de referência de US\$50 milhões, evidenciando, portanto, a necessidade da adoção desta medida (dentre as três analisadas) para que os riscos atendam ao princípio ALARP nesta localidade.

5. Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo demonstrar, através de um estudo de caso hipotético, a aplicação de uma metodologia de Análise de Custo Benefício para subsidiar o processo de seleção de medidas mitigadoras de risco ao público externo a serem implementadas em dutos de transporte de produtos perigosos (inflamáveis e/ou tóxicos).

Através dos resultados obtidos para ambas as localidades estudadas foi possível constatar a eficácia da metodologia utilizada, uma vez que o cálculo do parâmetro CCA (Cost per Casualty Averted - ou, traduzindo, custo por fatalidade evitada) para cada medida mitigadora estudada associado ao estabelecimento de um valor de referência limite acima do qual os custos referentes a tais medidas são considerados desproporcionais aos benefícios obtidos mediante a redução dos riscos permitiu não somente o ranqueamento da efetividade de tais medidas do ponto de vista de custo-benefício, quanto também subsidiou a tomada de decisão de qual medida mitigadora de fato seria necessária de ser implantada segundo o princípio ALARP (*As low as reasonably practicable*). Especificamente, concluiu-se que deveriam ser implantadas placas de concreto associadas a tela de aviso ao longo de um dado trecho do duto apenas para a localidade referente ao Ponto Notável 2 (região densamente povoada), enquanto que para o Ponto Notável 1 (menos crítica) ficou demonstrada a possibilidade de continuidade da operação do duto sem a necessidade de adoção de nenhuma das medidas de mitigação estudadas.

Por fim, destaca-se a importância da realização de estudos deste tipo com o intuito de assegurar que medidas de mitigação a serem selecionadas sejam suficientes para garantir que os níveis de risco individual e social a serem impostos a populações vizinhas a dutos sejam aderentes aos critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais, ao mesmo tempo em que os seus respectivos custos sejam proporcionais aos benefícios obtidos com a redução de tais riscos. Isto permite, portanto, que os recursos

das empresas operadoras de dutos, disponíveis para este fim, sejam aplicados de forma mais eficaz, selecionando-se a medida de fato mais efetiva para um determinado ponto específico do traçado ou direcionando-os para as regiões mais críticas (uma vez que os recursos disponíveis não são ilimitados).

6. Agradecimento

DTS Alves agradece a Edir Romano/PETROBRAS por encorajar e incentivar a realização deste trabalho.

7. Referências Bibliográficas

- Alves, D.T.S.; Silva, E.P.; Preliminary Risk Assessment of the Rota 3 Gas Pipeline, Rio Pipeline Conference 2015, Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute - IBP, Brazil, 2015.
- Assessing the risks from high pressure Natural Gas pipelines, IGEM/TD/2 Edition 2, Institute of Gas Engineers & Managers, Communication 1764, 2013.
- Code for Practice for Pipelines – Part 3: Steel pipelines on land – Guide to the application of pipeline risk assessment to proposed developments in the vicinity of major accident hazard pipelines containing flammables – Supplement to PD 8010-1:2004, British Standards Institution, London, UK, 2013.
- Corder, I., “The Application of Risk Techniques to the Design and Operation of Pipelines”, International Conference on Pressure Systems: Operation and Risk Management, The Institution of Mechanical Engineers, London, UK, 1995. C502/016/95.
- Cosham, A., Haswell, J., Jackson, N., “Reduction factors for estimating the probability of failure of mechanical damage due to external interference”, International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers, Calgary, Canada, 2008. IPC2008-64345.
- CPR 14E – Methods for the calculation of physical effects - “Yellow Book”, TNO (The Netherlands Organization), The Netherlands, 2005.
- CPR 16E – Methods for the determination of possible damage - “Green Book”, TNO (The Netherlands Organization), The Netherlands, 1992.
- CPR 18E – Guideline for quantitative risk assessment - “Purple Book”, RIVM (National Institute of Public Health and the Environment), The Netherlands, 2005.
- Department for Transport, Highways Economic Note No 1: 2002, [http://dclg.ptfs-europe.com/AWDData/Library1/Departmental Publications/Department for Transport/2005/Highways Economics Note No. 1 2004.pdf](http://dclg.ptfs-europe.com/AWDData/Library1/Departmental%20Publications/Department%20for%20Transport/2005/Highways%20Economics%20Note%20No.%201%202004.pdf).
- Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, CCPS (Center for Chemical Process Safety) of the AIChE (American Institute of Chemical Engineers), 2nd edition, New York, 2000.
- Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, CCPS (Center for Chemical Process Safety) of the AIChE (American Institute of Chemical Engineers), 3rd edition, New York, 2008.
- Handleiding risicoberekening Bevb, versie 2.0, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), The Netherlands, 2014.
- Health and Safety Executive, Cost Benefit Analysis (CBA) checklist, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpcheck.htm>.
- Health and Safety Executive, Reducing risk, protecting people: HSE’s decision-making process, HSE Books; 2001, <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf>.
- Laheij, G., Vliet, A., “Measures for reducing the probability of ruptures of high pressure natural gas pipelines”, Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications, London, 2010.
- LEES, F.P.; Loss Prevention in the Process Industries – Hazard Identification, Assessment and Control, 2nd edition, Oxford, UK, 1996.
- Lyons, C., Haswell, J., Hopkins, P., Ellis, R., Jackson, N., “A Methodology for the Prediction of Pipeline Failure Frequency due to External Interference”, International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers, Calgary, Canada, 2008. IPC2008-64375.

- McConnell, R., Haswell, J., UKOPA Pipeline Product Loss Incidents and Faults Report (1962-2014), Ref: UKOPA/15/003, Derbyshire, UK, 2015.
- Milne, I., Ritchie, R., Karihaloo, B., “Comprehensive Structural Integrity: Fracture of Materials from Nano to Macro”, Vol. 1, Elsevier, Oxford, UK, 2003.
- P4.261 Technical Standard - Risk of accident of technological origin. Method for decision-making and reference terms, 2nd Ed., CETESB, São Paulo, 2011.
- Reference Manual Bevi Risk Assessment, RIVM (National Institute of Public Health and the Environment), version 3.2, The Netherlands, 2009.
- Rumney, P., Goodfellow, G., “Using Quantitative Risk Assessment to Justify Location Class Changes: Case Study”, International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers, Calgary, Canada, 2012. IPC2012-90280.
- Termo de Referência – Estudo de Análise de Riscos – EAR para o empreendimento Gasoduto Rota 3, IBAMA, Brasília, Brazil, 2012.
- TSAO, C.K.; PERRY, W.W.; Modifications to the Vulnerability Model: A Simulation Model for Assessing Damage Resulting from Marine Spills. ADA-075-231 US Coast Guard, 1979.