ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E INCERTEZA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RISCO MULTIDIMENSIONAL EM GASODUTOS DE GÁS NATURAL

Francisco Filipe Cunha Lima Viana [1a], Marcelo Hazin Alencar[2a], Rodrigo José Pires Ferreira[3a], Adiel Teixeira de Almeida[4b]
[a]Grupo de Pesquisa em Análise de Risco e Modelagem em Meio-ambiente, Ativos, Segurança, Operações e Natureza – REASON
[b]Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão – CDSID
[a,b]Universidade Federal de Pernambuco, Cx. Postal 7462, 50.630-970, Recife – Pernambuco – Brasil
[1] ffilipelima@ymail.com, [2] marcelohazin@gmail.com, [3] rodrigo@cdsid.org.br, [4] almeida@cdsid.org.br

RESUMO

A avaliação de risco multidimensional em operações de gasodutos de gás natural mostra-se adequada para o contexto de mitigação de perdas, pois a medida de risco desenvolve uma a percepção sob aspectos humanos, financeiros e da propriedade. Sabendo que esta métrica pode ser muitas vezes instável, torna-se crucial a inserção do elemento incerteza no desenvolvimento de políticas de mitigação de risco. Neste caso, a investigação identifica a influência da variabilidade de parâmetros técnicos-operacionais ou as inconsistências epistêmicas atreladas a comportamentos de riscos. Desta forma, este trabalho explora a sensibilidade da avaliação multidimensional de risco para classificar seções de um gasoduto de gás natural através de uma avaliação de incerteza utilizando a Simulação Monte Carlo. Assim, mostra-se que é possível inferir a incerteza de cenários de avaliação de risco gerando informações de sensibilidade, e possibilitando entender sobre a variabilidade da classificação de risco.

PALAVRAS CHAVE. Avaliação de Risco multidimensional, Análise de Sensibilidade, Gasodutos, Gás Natural.

Tópicos. 1. ADM – Apoio à Decisão Multicritério; 2. EN&PG – PO na Área de Energia; Petróleo e Gás

ABSTRACT

The multidimensional risk assessment of natural gas pipeline operations is appropriated to mitigate losses, as the risk measure concerns to give a perception under human, financial and property aspects. Taking into account that these measures can often be unstable, inserting the uncertainty element in the design of risk mitigation policies becomes crucial. In this case, the investigation identifies the influence of the variability of technical operational parameters or epistemic inconsistencies subject to risk behaviors. Thus, this paper offers the sensitivity of the multidimensional risk assessment to classify sections of a natural gas pipeline by outlining an uncertainty quantification using the Monte Carlo Simulation. The results shows that it is possible to infer the uncertainty of different risk assessment scenarios by generating information of sensibility that enables understand the variability of the risk classification.

KEY WORDS. Multidimensional Risk Assessment, Sensitivity Analysis, Pipelines, Natural Gas.

Paper topics. 1. ADM - Multicriteria decision aid; 2. EN&PG - OR in the Energy, Oil and Gas Area

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A relevância no aumento da produção de gás natural, principalmente para geração de energia [ANP, 2019], infere em um consequente aumento da estrutura de transporte deste material. A capacidade instalada no Brasil é relevante, mas ainda carece de mecanismos que facilitem seu gerenciamento devido à falta de registro de informações de operacionalização [Garcez et al. 2010].

Em consonância com o aumento do transporte deste material, surge a preocupação do risco atrelado a manipulação do gás, pois é necessário estabelecer as devidas condições de segurança de acordo com as regulamentações e o ambiente de operação. Em uma discussão sobre tais condições, os acidentes em operações de gás natural são desencadeados por falhas que têm impactos adversos nas estratégias de controle de perdas em dimensões humana, ambiental e organizacional [de Almeida et al. 2015]. Assim, a natureza significante das consequências destes aspectos mostra uma fundamental necessidade de se estabelecer uma gestão de riscos efetiva [de Almeida et al. 2015].

Sabendo que por causa da complexidade e regulamentações referentes a sociedade e ao meio ambiente, modelar riscos requer a avaliação de diferentes contextos do problema, ou seja, a partir de uma grande combinação de aspectos [Garcez e de Almeida 2014] [Brito et al. 2010]. Como forma de evitar perdas, várias técnicas têm sido utilizadas para avaliar riscos em sistemas de gasodutos. Geralmente a medida de risco é baseada em termos de probabilidade de ocorrência de falha, ou seja, eventos de furo ou ruptura na estrutura do gasoduto, e, sob as consequências destes eventos [Crowl e Jo 2007]. Assim, a medida do risco funciona como uma avaliação sobre a condição destes elementos. [Brito e de Almeida 2009] afirmam que se esse tipo de avaliação for instituído em apenas uma dimensão, como a financeira (avaliar a perda financeira de um acidente) isso será insuficiente para o contexto de riscos. Diante disto, a abordagem multidimensional para lidar com riscos em gasodutos é mais apropriada [De Almeida et al. 2017].

No entanto, a avaliação não é tão simples de se desenvolver, pois em muitas situações as informações sobre parâmetros são insuficientes ou até mesmo inexistentes. Cita-se neste contexto a incerteza de parâmetros operacionais como pressão e temperatura, que muitas vezes estão sob constante variação.

De um ponto de vista de gestão, [Aven 2016] avalia que é importante avaliar medidas de precaução concisas com este elemento, dado que para políticas de gerenciamento de riscos serem mais precisas em prevenção de perdas deve-se usar o conhecimento de incerteza na sua estruturação. Assim, a incerteza para este trabalho envolve a variabilidade dos parâmetros usados para avaliação do risco.

Para investigar estes tipos de avaliação, [Medeiros et al. 2017] citam que a Análise de Sensibilidade (AS) associada à incerteza no gerenciamento de riscos é uma abordagem apropriada para verificar como a variação dos parâmetros afeta as recomendações derivadas dos modelos quantitativos de risco. Neste tipo de abordagem, a Análise de Incerteza é utilizada para representar a variabilidade mediante a entrada de um conjunto de parâmetros usados para o cálculo do modelo numérico, o modelo de risco, e a Análise de Sensibilidade identifica os principais parâmetros que torna este modelo sensível a variações. Assim, dá-se que a incerteza é um elemento da estrutura de AS utilizada.

Em contribuição a estudos já desenvolvidos no ambiente em contexto, este trabalho explora a sensibilidade do modelo de avaliação de riscos multidimensional utilizado para apoiar a decisão de classificar seções de gasodutos de gás natural proposto por [Brito et al. 2010]. Para tanto, usa-se um experimento de Análise de Incerteza utilizando a Simulação Monte Carlo (SMC) por meio de uma variação global dos parâmetros de entrada do modelo de avaliação. Assim, obtém-se informações de sensibilidade de classificação importantes para a tomada de decisão no gerenciamento de riscos em gasodutos de gás natural.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

2. Avaliação de sensibilidade em modelos de classificação de risco multidimensional

Entender a sensibilidade de modelos de decisão se apresenta como um fator importante no contexto de tomada de decisão, pois ajuda a estabelecer uma noção ampla sobre incertezas diante de cenários não controláveis. No caso de sistemas de gás, por exemplo, parâmetros atrelados ao comportamento de pressão e temperatura podem ser influenciados por condições externas ambientais [Medeiros et al. 2017] o que dificulta uma mitigação mais precisa em relação aos riscos.

A AS neste sentido se apresenta como um procedimento para investigar incertezas em modelos com sistemas complexos e direcionar projetos de engenharia e tomada de decisão [Wang 2020]. [Saltelli 2008] apoia a AS como um estudo para explorar a incerteza nos dados de saída de um modelo numérico, analisando as fontes de incerteza nos parâmetros de entrada. Para [Hillier 2013] a realização de uma AS é crucial para que os parâmetros que causam variações sejam identificados e atribuídos com cuidado especial para inibir modificações nos resultados do modelo. Assim, o significado dessa análise diz respeito a entender melhor como a recomendação final para o decisor é impactada por variações de parâmetros [Medeiros et al. 2016].

De acordo com [de Almeida et al. 2015], muitos procedimentos de AS estão disponíveis. Um deles é conduzir uma análise local, investigando o comportamento de um parâmetro específico variando. A AS pode ser ainda conduzida globalmente, investigando a influência de vários parâmetros de uma só vez, quando diferentes fontes de incerteza modificam o resultado final [Saltelli et al. 2008]; [Markert et al. 2014]. A SMC pode ser aplicada neste segundo caso [de Almeida et al. 2015]. A SMC é uma abordagem que mede as incertezas dos parâmetros, assumindo distribuições de probabilidade [Shields et al. 2015] e, portanto, gera várias repetições de um determinado parâmetro [de Almeida et al. 2015].

[Borgonovo 2017] menciona que a análise de sensibilidade pode ser realizada por aspectos probabilísticos quando a incerteza é observada nos parâmetros. Neste tipo de estudo, a análise de incerteza mede a inconsistência dos resultados do modelo, dado um conjunto de entradas, e a análise de sensibilidade indica parâmetros-chave que tornam o modelo de saída sensível a variações [De Brito et al. 2018].

Levando em conta o contexto de incerteza e modelos de avaliação e risco, [Zio 2018] enfatiza a importância da AS como uma abordagem essencial para determinar os impactos de uma dada variedade de conjuntos combinatórios de eventos, cenários e condições, principalmente porque alguns desses provavelmente levam a condições críticas e inseguras. Dessa forma, a SMC é um procedimento que pode ser aplicado a esse tipo de AS, dando um aspecto probabilístico ao modelo, e obtendo informações de sensibilidade importantes para o decisor.

Visto os argumentos apresentados, o modelo de análise de sensibilidade desenvolvido neste trabalho é uma análise global dos parâmetros da avaliação de riscos de [Brito et al. 2010] realizada por meio de uma Simulação Monte Carlo. Cada combinação de parâmetros investigada representa um caso de avaliação específico inerente aos aspectos do modelo de avaliação.

O modelo de avaliação de riscos proposto por [Brito et al. 2010] incorpora aspectos da Teoria da Utilidade ao método multicritério ELECTR TRI. Neste modelo, um conjunto de seções S de um gasoduto de gás natural é avaliado a partir de três medidas de dimensão de risco: Humana, Financeira e Ambiental. A equação 1 expressa o risco unidimensional, $r_p(s_i)$ calculado para cada dimensão considerada.

$$r_p(s_i) = \sum_{\theta \in \Theta} \pi_i(\theta).\left[-\int_p P(p|\theta,s_i).U(p).dp\right] + (-1)\pi_i(\theta_N) \qquad (1)$$

Onde $\pi_i(\theta)$ representa a probabilidade de ocorrência de um cenário acidental, $P(p|\theta, s_i)$ a função consequência, e $U(p)$ a função utilidade em relação à dimensão calculada.

A partir dos valores de risco de cada uma das dimensões, os autores tratam a problemática de classificação utilizando o método ELECTRE TRI [Dias et al. 2002] para

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

classificar as seções em três categorias pré-definidas: Classe 1 (alto risco), Classe 2 (risco moderado) e Classe 3 (baixo risco).

Este método considera o caso de um grupo de categorias ordenadas predefinidas $(C_1, C_2, \dots, C_k)$ em que o limite entre as categorias é delimitado por alternativas de referência, a saber, perfis, derivados de informações gerenciais [Dias et al. 2002]. O método visa estabelecer relações de sobreclassificação S com base em comparações de valor entre o desempenho das seções e os perfis de cada classe de risco [Brito et al. 2010]. A comparação é validade por meio do índice de credibilidade $\sigma(a_i, b_h)$ que corrobora a relação. Este índice deve ser maior ou igual a um nível de corte λ, estrelecido por um gerente de risco, conforme descrito na equação 2

$$\boldsymbol{a_i S b_h \leftrightarrow \sigma(a_i, b_h) \geq \lambda} \quad (2)$$

Com essas comparações, para decidir em cada categoria atribuir a seção, dois procedimentos principais estão disponíveis para o ELECTRE TRI, os procedimentos otimista e pessimista. Estes representam o comportamento do tomador de decisão em relação ao risco. O primeiro atribui as seções às categorias de menor risco, enquanto o procedimento pessimista atribui as seções do gasoduto à categoria de maior risco. Essa relação é representada na equação. Para mais detalhes sobre o ELECTRE TRI, consulte [Figueira et al. 2016].

$$\boldsymbol{a_i \rightarrow C_h \leftrightarrow \sigma(a_i, b_{h-1}) \geq \lambda \; e \; \sigma(a_i, b_h) < \lambda} \quad (3)$$

De acordo com os cenários de avaliação são estabelecidos, com os dados referentes a variação dos parâmetros e a distribuição de probabilidade, o experimento de simulação executa N replicações do modelo de decisão de risco, onde cada replicação gera uma amostra de combinação de parâmetros e o risco em cada dimensão é recalculado, obtendo assim, uma nova amostra de classificação.

Com as informações obtidas no experimento de simulação, os resultados obtidos são validados estatisticamente, gerando informações de sensibilidade em relação à classificação original ao longo das replicações. Cada uma das seções é identificada de acordo com um nível de sensibilidade para cada cenário de avaliação. Assim, essas informações são representadas graficamente de modo a visualizar aspectos de robustez de cada seção.

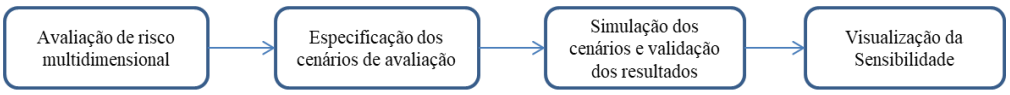


Fig. 1. Análise de sensibilidade para a avaliação de riscos multidimensional

A figura 1 resume o modelo. Nesta, as informações de sensibilidade são geradas com base nos fatores variados dos cenários e a avaliação de riscos leva aos resultados simulados, fornecendo ao decisor recomendações validadas sobre a incerteza inerente ao modelo. Finalmente, os resultados da condução da AS das seções do gasoduto são convertidos em gráficos.

3. Aplicação Numérica e discussão dos resultados

A aplicação deste modelo é necessariamente hipotética, advinda de dados baseados na aplicação de [Krym et al. 2012] e [Brito et al. 2010], onde são estudados os riscos das dimensões humanas, ambiental e financeira para um gasoduto de gás natural com extensão de 26.800 m. O gasoduto é dividido em 8 seções, conforme visualizado na figura 2, definidas em um conjunto discreto de alternativas S= {S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8} e independentes uma das outras. A visualização apresentada na figura 2 foi desenvolvida utilizando a plataforma *Google Earth*.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Figura 2 – Visualização geográfica das seções



Para realização deste experimento desenvolveu-se um Sistema de Apoio a Decisão em Ambiente Delphi 2010 (*DSS for Multidimensional Risk Assessment in Natural Gas System with ELECTRE TRI and Utilty Function*), o qual executa três principais rotinas: o cálculo do risco humano, financeiro e ambiental, a classificação das seções, e por último, a análise de sensibilidade formulada para a classificação, que é deferida por meio de elementos visuais que ajudam na identificação da robustez do caso simulado.

As condições operacionais e físicas de cada seção do gasoduto são testadas para esta aplicação por meio de dois grupos de parâmetros inerentes ao modelo de avaliação de Brito et al. (2010):

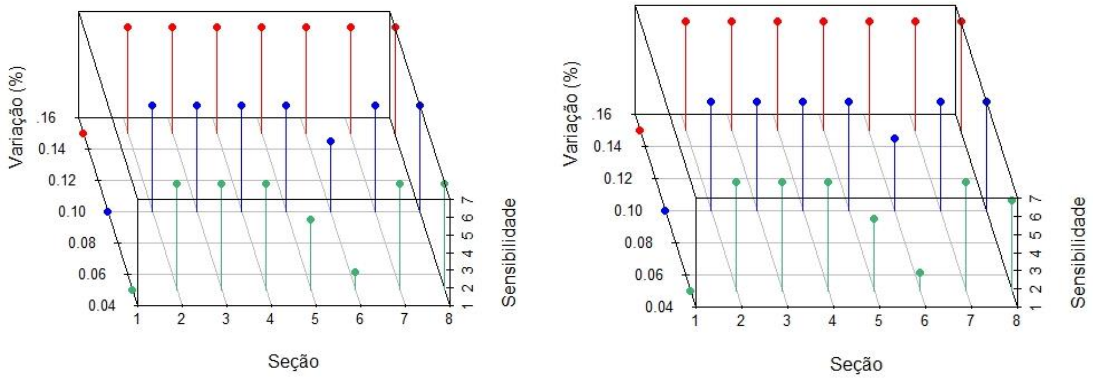
- O fluxo de radiação média (FRM) apresenta valores distintos para cada seção, pois varia de acordo com o cenário acidental, de furo ou ruptura;
- O Raio Máximo de Perigo (CDR) é calculado a partir de uma área sob a perspectiva de um jato horizontal do gás, tendo interação sobre vários parâmetros de cunho humanos, ambiental e financeiro.

Em cada cenário de avaliação replicou-se o modelo 10.000 vezes considerando a variação percentual do grupo de parâmetros em 5%, 10% e 15% com uma distribuição triangular, útil nos casos em que não se conhece a distribuição de parâmetros [Fishman 2013].

Os resultados obtidos para os cenários testados são demonstrados na Figura 3, onde por meio de uma representação tridimensional pode-se observar o comportamento da sensibilidade para cada uma das seções frente aos percentuais de variação de 5%, 10% e 15%, representados pelas cores verde, azul e vermelho, respectivamente.

A sensibilidade neste gráfico (figura 3) pode ser verificada por meio de três dimensões: o eixo da que identifica a seção, a percentual de variação do cenário e a sensibilidade. Assim, quanto mais próximo é o ponto do gráfico à superfície do gráfico, maior a sensibilidade daquela seção, ou seja, sua classificação original muda bastante em um nível de sensibilidade alto (nível 7). Como pode ser visto na Figura 3a e Figura 3b, os dois cenários de avaliação apresentam sensibilidade semelhante para a maioria das seções. Há apenas uma diferença no nível de sensibilidade da seção 8. A seção 1 apresenta a maior robustez para os dois cenários, estando no nível de sensibilidade 1 em todos os percentuais de variação. As seções 5 e 6 também inferem um nível de sensibilidade menor às demais para percentuais de 5% e 10%. No entanto, é visto que as seções 2, 3, 4 7 e 8 se encontram em níveis de sensibilidade elevados. Sendo assim, estas seções devem ganhar maior notoriedade quanto à decisão de classificação nas categorias de riscos definidas pela organização.

Figura 3 – Sensibilidade das seções para o percentual de variação nos cenários de avaliação testados



a. Cenário de Avaliação FLC b. Cenário de Avaliação CDR

Sob o espectro da classe mais provável de cada seção, a Figura 4 ilustra a agregação dos resultados da simulação levando em conta a variação de cada seção em todas as classes.

Figura 4 – Classe mais provável das seções

Seções	Classe Original	Cenário CDR			Cenário FLC		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%
S1	1	1	1	1	1	1	1
S2	2	3	3	3	3	3	1
S3	2	2	3	3	2	3	3
S4	1	1	1	1	1	1	1
S5	3	3	3	3	3	3	3
S6	1	1	1	1	1	1	1
S7	1	1	1	1	1	1	1
S8	2	2	2	1	2	1	1

O conceito de classe mais provável [Vetschera et al 2010] representa um aspecto mais específico em relação as mudanças de classe, tendo cada seção uma classe a qual mais varia para o experimento testado. Diante disto, a figura 4 demonstra essa variação para cada um dos percentuais de variação, onde a classe 1 é ilustrada pela cor azul, a classe 2, amarela, e a classe 3, a cor verde. A Seção 1, como anteriormente observada, apresenta robustez significante para sua classe original, portanto, permanece na Classe 1. A decisão em relação a esta classificação é viável do ponto de vista gerencial, sendo um indicativo para acionar medidas de mitigação para Seção 1. Da mesma forma, as seções 4, 5, 6 e 7 permanecem em sua classe original para todas as configurações testadas. Já a seção 8 é a única que permeia entre a classe de risco intermediário e a classe de risco alta. Esta seção é um exemplo de como interpretar a sensibilidade, dado que a mesma apresenta diferentes classificações em um intervalo de variações de diferentes parâmetros. Finalmente, a seção 2 e 3 apresentam classe mais provável entre as classes 2 e 3.

4. Conclusão

Com este estudo mostra-se que com a avaliação de incerteza para o modelo avaliação de riscos multidimensional é possível inferir sobre a sensibilidade na classificação de seções do gasoduto, sendo uma importante informação para a tomada de decisão.

Em suma, o estudo leva a diferentes percepções sobre avaliação de risco e avaliação de classificação por meio da noção dos cenários de avaliação, construindo uma análise gráfica das informações geradas. Assim, chama-se atenção para elementos importantes de informações de sensibilidade que devem ser utilizados para o gerenciamento de riscos em gasodutos, principalmente os aspectos referentes ao gerenciamento de parâmetros operacionais. Dessa forma, a análise da sensibilidade e visualização de informações geradas por este trabalho se mostra eficiente para demonstrar a variabilidade das seções, tendo, portanto, uma melhor priorização das medidas de mitigação.

Referências

de Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., de Almeida-Filho, A, T. e Garcez, T. V. (2015). Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis. International Series in Operations Research and Management Science. 2015.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico 2019. Web page: http://www.anp.gov.br/?dw=68644. Acesso em 13/03/2020

Aven T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253, 1–13.

Borgonovo, E. (2017). *Sensitivity Analysis*. Number, 251, 93-100.

Brito, A. J. and A. T. de Almeida (2009). Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 94 , n.2, p.187-198.

Brito, A. J., de Almeida, A. T. e Mota, C. M. M. (2010). A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 812–21.

Crowl, D.A.; Jo, YD. The hazards and risks of hydrogen. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 20, n. 2, p. 158-164, 2007.

de Almeida, A. T., Alencar, M. H., Garcez, T. V., e Ferreira, R. J. P. (2017). A Systematic Literature Review of Multicriteria and Multi-Objective Models Applied in Risk Management. *IMA Journal of Management Mathematics*, 28(2): 153–84.

de Brito, M. M., Almoradie, A. e Evers, M. (2019). Spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis in a MCDA-based flood vulnerability model. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(9), 1788-1806.

Dias, L., Mousseau, V., Figueira, J. e Clímaco, J. (2002). An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI. *European Journal of Operational Research*, 138(2), 332-348.
Figueira, J. R., Mousseau, V., & Roy, B. (2016). ELECTRE methods. In *Multiple criteria decision analysis*, 155-185. Springer, New York, NY.

Fishman, G. (2013). Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications. Springer Science & Business Media.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Garcez, T. V.; Alencar, M. H.; Silva, B. F. A; Lins, P. H. C. L; Almeida, A. T. A. Estimação Da Taxa De Vazamento Acidental Em Gasodutos De Gás Natural Através Da Elicitação Do Conhecimento A Priori De Especialistas. In *Anais do XXX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, 2010.

Hillier, F. S.; Lieberman, G. J. Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill Brasil, 2013.
Krym, E. M.; Alencar, M. H.; De Almeida, A. T. Aplicação de modelagem multicritério para análise de riscos multidimensionais em gasodutos de gás natural. In *Congresso latino-iberoamericano de investigación operativa e Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. p. 24–28, 2012.

Markert, F., Melideo, D., & Baraldi, D. (2014). Numerical analysis of accidental hydrogen releases from high pressure storage at low temperatures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(14), 7356-7364.

Medeiros, C.; Alencar, M.H.; de Almeida, A.T. 2017. Uncertainty sensitivity analysis prior to making a final recommendation to the decision maker in a multidimensional risk of gas pipelines. In: *ESREL 2017 - 27th European Safety and Reliability Conference, 2017, Portoroz. Safety and Reliability – Theory and Applications – Cepin & Briš (Eds)*. London: Taylor & Francis Group, 2016. v. 1. p. 1–486.

Medeiros, C.P., M.H. Alencar, and A.T. de Almeida. (2016). Hydrogen Pipelines: Enhancing Information Visualization and Statistical Tests for Global Sensitivity Analysis when Evaluating Multidimensional Risks to Support Decision-Making. *International Journal of Hydrogen Energy* 41(47): 22192–205.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M & Tarantola, S. (2008). Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons.

Shields, M. D., Teferra, K., Hapij, A., & Daddazio, R. P. (2015). Refined stratified sampling for efficient Monte Carlo-based uncertainty quantification. *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 310-325.

Vetschera, R. et al. Robustness and information levels in case-based multiple criteria sorting. *European Journal of Operational Research*, v. 202, n. 3, p. 841–852, 2010.

Wang, Zhenqiang; JIA, Gaofeng. Augmented sample-based approach for efficient evaluation of risk sensitivity with respect to epistemic uncertainty in distribution parameters. *Reliability Engineering & System Safety*, p. 106783, 2020.

Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 177, 176-190.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings