

O Conceito de Risco: Críticas e Extensões

Rafael Raoni^a, Argimiro R. Secchi^a,

^a Programa de Engenharia Química-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, 21941-914 Rio de Janeiro-RJ, Brasil

RESUMO: A aplicação do conceito de risco na indústria se baseia, majoritariamente, em três pontos (i) identificação de perigos; (ii) estimação da frequência e; (iii) estimação da consequência do perigo identificado, e é nesse contexto que as análises de risco para segurança de processos se desenvolvem. Entretanto, apesar desses pontos serem amplamente utilizados, a abordagem não é um consenso na literatura e no meio científico, o que leva a diferentes tipos de definições e utilizações do conceito de risco [1]. Neste trabalho discute-se sobre as principais críticas relacionadas ao uso do conceito de risco com o objetivo de uma melhor compreensão sobre seu conceito, principalmente a fim de gerar melhores resultados nas técnicas de análise de riscos que são fundamentais para estudos de segurança de processos. Assim, apresenta-se uma definição de risco que o caracteriza como uma função de cinco variáveis: (i) Perda (L): Perda com valor humano; (ii) Evento (E): Evento que gera a perda; (iii) Frequência (F): Frequência de ocorrência do evento; (iv) Severidade (S): Magnitude da perda no evento; e (v) Incertezas (U): Reconhecimento do limite de capacidade técnica de qualquer análise de risco. Por fim, baseados nessa definição, são apresentados três caracterizações de risco (i) valor esperado; (ii) curva de probabilidade de risco; e (iii) superfície de risco.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Todos os dias, todos nós tomamos decisões, e a capacidade de entender e prever corretamente as consequências de nossas decisões é essencial para uma melhor escolhermos nossas ações. Neste contexto, o conceito de risco apresenta-se como capaz de ajudar no entendimento de qualquer aleatoriedade de eventos futuros, ajudando assim a tomada de decisão. Mesmo com uma ampla aplicação, o conceito de risco não é um consenso na literatura. De acordo com Aven 2012 [1], nove diferentes perspectivas de risco (ex.: risco é: um evento; a combinação de um cenário, consequência e probabilidade; um evento futuro e suas consequências e incertezas, etc.) são utilizadas para identificar e gerenciar riscos de eventos futuros. Entretanto, apesar disso, a caracterização do risco como a “probabilidade de perda” é a perspectiva que domina a indústria por mais de 30 anos. Nesta caracterização, o risco pode ser avaliado a partir da (i) identificação de perigos; e da estimação da (ii) frequência e da (iii) consequência do perigo identificado (Siu, 1994).

Com essa perspectiva de probabilidade *versus* perda, o risco pode ser expresso qualitativamente com uso de matrizes de risco, ou quantitativamente a partir do uso de Análises Quantitativa de Risco (AQR) [2]. Atualmente a AQR é uma das melhores ferramentas para a tomada de decisão na indústria [3, 4], possibilitando o relaxamento de regulamentações e avaliações mais precisas sobre o custo benefício de ações [2]. Entretanto, muitas críticas são associadas à AQR, tais como: sua subjetividade [5]; sua ambiguidade e falta de acurácia na estimação de consequências e probabilidades [4, 6]; sua estimação de risco estática [1, 4, 7]; a aplicabilidade no uso de critérios de aceitabilidade de risco [8], etc. Assim, apesar do entendimento de que a aplicação de AQR possibilita a obtenção e incorporação do máximo de conhecimento para a tomada de decisão [9], é entendido que a análise não é precisa [10] e não deve ser utilizada apenas para fazer números [2], demandando assim certas precauções ao se tomar decisões baseado em risco.

Neste sentido, alguns autores discutem que novas perspectivas de risco devem ser adotadas, como a integração da AQR com análises subjetivas dos especialistas [1] a fim de possibilitar decisões com informações de risco e não baseadas em risco [2, 5]. Em paralelo a esta nova perspectiva, uma crescente atenção vem sendo dada à gestão de risco [11], que busca o tratamento das incertezas através de uma atualização continuada do risco, via incorporação de conhecimentos que são continuamente desenvolvidos [12, 13]. Apesar desta vertente, o desenvolvimento de um gerenciamento de risco com uma boa cultura de segurança fundamentada em AQR ainda está distante da realidade [2]. Para uma melhora deste cenário, Aven (2012) [1], argumenta que o risco deveria ser definido de um modo que seja possível diferenciar sua definição de sua percepção e gerenciamento, e Flange e Aven (2015) [13] argumentam que é necessária uma reflexão sobre a dimensão do conhecimento na definição de risco, assim como o desenvolvimento de métodos de análise de risco dinâmicos. Assim, é entendido que a questão central da presente discussões sobre o conceito de risco é:

- Como lidar com as críticas à AQR de modo a fornecer informações adequadas para uma atualização continuada do risco, que possibilita uma boa percepção, avaliação e gerenciamento de risco?

Para responder esta questão, a definição do que é risco deve ser detalhada. Assim, este trabalho busca discutir os pontos importantes para necessários ao detalhamento da definição de risco de modo a possibilitar a introdução de um novo conceito que busca suprir alguns dos pontos fracos identificados. Posteriormente, com base nesta definição, três caracterizações de risco são apresentadas de forma a descrever como as variáveis de risco podem ser utilizadas para gerar resultados mais superficiais ou detalhados sobre o risco de eventos.

2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

2.1. Definição de risco

Inicialmente é necessário entender que diferentes perdas (ex.: financeira, humana, etc.), com diferentes riscos, podem surgir de um único evento. Em seguida, é entendido que o risco deve ser baseado na perspectiva de “probabilidade de perda”, e o risco quantitativo deve ser representado por uma função de probabilidade [14]. Neste sentido, temos uma definição que se aproxima da tradicionalmente aplicada na indústria, que caracteriza o risco a partir da identificação do (i) tipo de perda analisada; (ii) o evento que gera a perda; da (iii) frequência de ocorrência deste evento e da (iv) severidade da perda do evento. Apesar da grande aplicação, esta caracterização de risco ainda é inadequada [10], já que (v) incertezas, ou o grau de crença, também devem ser consideradas como uma dimensão separada na caracterização de risco. Deste modo, é proposto que incerteza não seja considerada, substitua, seja parte de ou uma interpretação da frequência de ocorrência do evento [1, 10, 11, 15, 16]. Assim, é proposta uma definição de risco que o caracteriza como uma função de cinco variáveis: (i) Perda (L): Perda com valor humano; (ii) Evento (E): Evento que gera a perda; (iii) Frequência (F): Frequência de ocorrência do evento; (iv) Severidade (S): Magnitude da perda no evento; e (v) Incertezas (U): Reconhecimento do limite de capacidade técnica de qualquer análise de risco, ou seja, $R=f(L, E, F, C, U)$. A dependência entre as variáveis do risco é representada pela Figura 1.

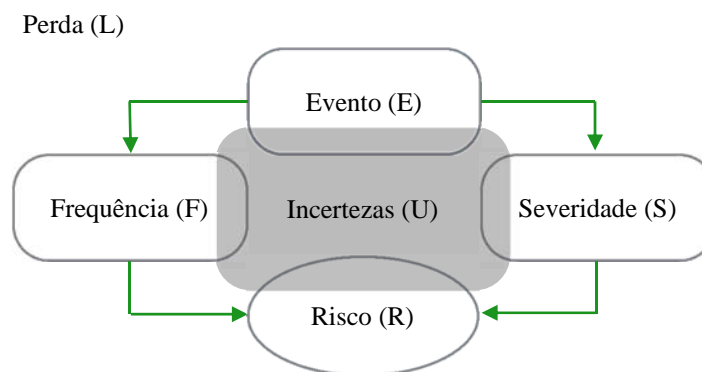


Figura 1: Dependências entre as variáveis do risco.

• Perdas a serem analisadas (L)

A fim de facilitar o entendimento da definição de risco proposta, foi evitado o uso da palavra “consequência” dada o seu entendimento como sendo “tudo que pode acontecer dado a ocorrência de algo anterior”. A palavra é aplicada para descrever, por exemplo, cenários perigosos, seus efeitos danosos, suas perdas, etc., tendo inclusive uma relação com o tipo de perda analisada (variável (L)). Assim, neste trabalho, a variável Perda (L) define a o tipo de perda a ser analisada na perspectiva de risco, devendo ser, necessariamente, uma perda mensurável, ex.: perda econômica, número de mortes, quantidade de óleo derramado, etc.

A necessidade de especificação da variável Perda (L) se baseia no fato de que um único cenário poder gerar diferentes tipos de perdas, em que cada uma delas precisa ser analisada separadamente. Apesar de não ser tradicionalmente identificada como uma variável de risco, a identificação do tipo de perda a ser analisada

é um requisito para uma avaliação de riscos, sendo normalmente identificada como o objetivo da análise [17], ou o tipo de consequência com valor humano [11, 18] que deve caracterizar a medição de risco [19].

- **Evento (E)**

O Evento (E) é definido como a ocorrência que leva a perda analisada. Uma análise de risco deve ser feita baseada na análise de um único evento (E) ou na análise de uma perda específica (L), o que requer a identificação de diferentes eventos que podem causar tal perda. Assim, um evento não pode ser identificado como um cenário perigoso ou seus efeitos, o que normalmente é feito nas análises de risco, mas sim como um acontecimento que leva a perda a ser analisada. Por exemplo: para a quantificação do risco financeiro de uma explosão, a causa raiz da explosão, assim como tantos outros acontecimentos que levaram à explosão devem ser considerados como eventos separados, já que todos podem ter gerado perdas financeiras.

É possível entender que identificar os eventos que levam a perda a ser analisada é uma das principais dificuldades para análise de risco e, como um evento não identificado leva a um evento não analisado [20], este é um dos principais pontos de uma AQR. Tal identificação de eventos pode levar a uma complexa rede de eventos interconectados [21], o que destaca a dificuldade em desenvolver técnicas capazes de identificar todos os possíveis eventos que geram a uma determinada perda. Tal dificuldade leva ao desenvolvimento de diferentes análises de risco para identificação de eventos, que têm diferentes escopos, de forma a manter a análise com um limite de escopo razoável [22]. Assim, uma avaliação de risco que se concentra em um único cenário não garante que o risco dos demais cenários que causam a mesma perda analisada pode ser desconsiderado e, mesmo com a identificação e análise de diferentes cenários, as incertezas em tais identificações faz com que o analista que acredita na representatividade de tais resultados esteja enganado [22].

- **Frequência (F) de ocorrência do evento**

A aleatoriedade na ocorrência de um evento é uma conhecida dimensão de risco que usualmente leva a maus entendimentos nas análises de riscos. Tradicionalmente, esta dimensão é nominada como frequência, probabilidade ou incertezas. Neste trabalho é proposto que o termo Frequência (F) seja empregado exclusivamente para caracterizar a frequência de ocorrência de um evento (E), o que pode ser um valor único ou uma curva de probabilidade que necessariamente seja uma função do tempo ($F(t)$), não tendo assim nenhuma relação com incertezas. Assim, a variável frequência pode assumir valores maiores que um (ex.: a frequência de falha da válvula é de 1,5 falhas por ano).

Como discutido por Raoni e Secchi (2017) [21], ambas variáveis discretas e contínuas devem ser empregadas no cálculo da frequência de ocorrência de um evento. Variáveis aleatórias discretas identifica se, dado um ponto inicial do processo, o evento analisado irá ou não ocorrer, enquanto o uso do tempo como variável aleatória contínua identifica quando o evento irá ocorrer. A fim de calcular a probabilidade de ocorrência de um evento em um dado período de tempo, um valor entre 0 e 1, a Equação (1) deve ser utilizada.

$$Pe(t_j)_i = Pe_i \cdot CDF(t_j)_i \quad (1)$$

em que $Pe(t_j)_i$ é a probabilidade do evento i ocorrer dentro do intervalo $t = [0, t_j]$, Pe_i é a probabilidade do evento i ocorrer, dado o ponto inicial do processo, e $CDF(t_j)_i$ é a probabilidade do evento i ocorrer dentro do intervalo de tempo $[0, t_j]$.

A variável Frequência (F) reúne as informações de *se* e *quando* o evento (E) irá ocorrer, sem considerar incertezas, o que inclui não identificar como incerteza a variabilidade da curva de probabilidade do tempo de ocorrência do evento (E). Por fim, é importante mencionar a diferença entre uma probabilidade (valor entre 0 e 1) e a frequência (qualquer valor positivo que seja função de uma outra variável, como a variável tempo).

- **Severidade (S) da perda gerada pela ocorrência do evento**

A severidade (S) é a medição qualitativa ou quantitativa de uma potencial perda com valor humano [10, 11], sendo assim a quantidade de perda (L) de um evento (E). Uma observação importante que deve ser mencionada é a diferença entre a perda (L) e a severidade (S). Enquanto a primeira identifica o tipo de perda a ser analisada, a segunda é um valor mensurável desta perda que um determinado evento pode gerar. Uma severidade quantitativa pode ser especificada por um valor discreto ou por uma função de probabilidade, em

que a magnitude da perda (a severidade (S)) é a variável aleatória contínua. Por fim, assim como para a frequência, a variabilidade que a severidade pode ter quando representada como uma variável aleatória contínua não deve ser considerada como incerteza.

- **Incertezas (U)**

Dado que, para a maioria das análises, o objetivo é obtenção do “valor correto de risco”, o tópico incertezas é provavelmente o mais discutido na literatura, sendo também a principal fonte de discussões sobre a usabilidade do conceito de risco. Assim, o presente trabalho propõe que as incertezas (U) sejam definidas como a dificuldade em obter o valor correto de risco. Assim, as incertezas do risco não são identificadas como as variabilidades causadas pelo emprego de curvas probabilidades, mas sim como uma incerteza intrínseca das análises de risco. Esta posição parcialmente concorda com Aven (2010) [10] que argumenta que em uma estimação de risco deve computar incertezas além das probabilidades envolvidas.

A ideia de incerteza é introduzida com um exemplo: Vamos supor que um número infinito de bolas pode ser tirado de uma caixa preta que não permite qualquer outro tipo de manipulação. A experiência em tirar bolas da caixa diz que existem apenas bolas pretas e brancas, e que estas podem ter diferentes diâmetros. Em uma perspectiva de risco, a variação no diâmetro pode ser as perdas a serem analisadas (L), a cor da bola o evento (E), o diâmetro da bola a severidade (S) e a media de bolas retiradas em um intervalo de tempo a frequência (F). Mesmo após um grande número de experimentos (retiradas de bolas), algo fora do esperado pode ocorrer, não sendo possível ter certeza que: só existem bolas pretas e brancas, a frequência em tirar bolas representa corretamente a proporção entre bolas brancas e pretas na caixa, ou que não há diâmetros que nunca foram observados. Além disso, se as características das bolas mudam ao longo do tempo, qualquer tipo de predição fica claramente prejudicado. Assim, apesar de melhor julgamento e do extenso número de experimentos, sempre existirão incertezas sobre (i) a identificação de eventos e na estimação da (ii) frequência e (iii) severidade destes eventos.

Usando o exemplo acima como uma analogia ao mundo real, em que muito mais premissas e simplificações são feitas, as incertezas (U) influenciam ainda mais os resultados de risco que podem ser obtidos. Assim, a definição de incertezas proposta reúne os possíveis erros em identificar eventos (E) e estimar frequência (F) e severidade (S), sendo assim uma função de três variáveis ($U=f(E, F, S)$). Ademais, incertezas nestas variáveis são obtidas por dois fatores: (i) a qualidade do estudo, ou a “força de conhecimento” (SoK – *Strength of the knowledge*) do analista, e (ii) uma causa mais profunda que vem do desconhecido. Empregar estes dois fatores significa que o SoK tem um limite, nunca sendo capaz de conter todo o conhecimento necessários para uma predição exata do valor de risco. Na figura 2 é apresentado a relação entre SoK, que varia entre um conhecimento mínimo e um máximo de qualidade técnica, e as incertezas (U).

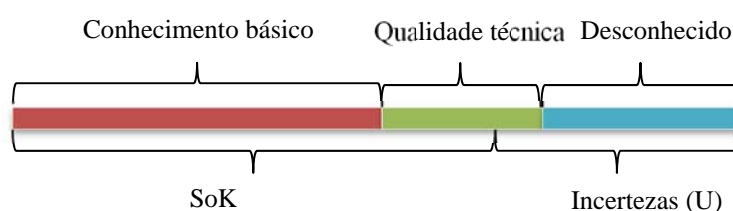


Figure 2: Relação entre SoK e incertezas (U).

A definição de incerteza proposta busca medir a diferença entre o valor de risco estimado e o correto valor de risco. Entretanto, como o correto valor de risco é algo que não pode ser alcançado, as incertezas sempre será uma dimensão do risco não nula. Assim, a variável incertezas é uma que identifica a acurácia da estimação de risco que deve considerar a limitações na identificação eventos, e na estimação de frequência e severidade destes eventos de acordo com a sensibilidade do analista que executa a estimativa de risco. Alguns autores, em uma perspectiva de incertezas como variabilidades nas frequência, argumentam que dado algumas atenções [14], incertezas podem ser representadas introduzindo novas probabilidades baseadas em subjetividades do analista [26], podem ser consideradas com o uso de uma nova curva de probabilidade, ou seja, obter o risco baseado em uma curva de probabilidade de segunda ordem [10, 23], dentre outros [24, 25, 16]. Na definição proposta, o uso de algum procedimento para representar as incertezas na estimativa de risco obtidas pode ser uma alternativa para sua representação.

Assim, o conceito de incertezas introduzido engloba todos os possíveis erros para estimação do risco, o que destaca a desvantagem em utilizar critérios quantitativos de aceitabilidade de risco. Entretanto,

também concordando que a análise quantitativa de risco é o melhor método para entender e gerenciar futuros indesejáveis, novas discussões sobre como tais informações devem ser interpretadas em um gerenciamento de risco devem ser levadas a todos os interessados na área.

2.2. Caracterização de risco

Dada quatro variáveis de risco (L, E, F e S), é possível estimar o valor de risco. Abaixo é discutido como que simplificações em F e S levam a diferentes representações de risco.

(i) Valor esperado

Valor esperado é uma amplamente conhecida, utilizada [10] e controversa estimativa de risco. A simplificação considera uma visão estática do risco, tendo frequência e severidade como valores fixos. O valor esperado de um ou um grupo de eventos é a média aritmética gerada pela infinita ocorrência de eventos similares [1]. A representação é amplamente utilizada principalmente por sua facilidade de obtenção e comparação com critérios de aceitabilidade de órgãos regulatórios. Para seu cálculo Equação (2) pode ser utilizada.

$$R_L = \sum_{E=1}^n (F_E \cdot S_E) \quad (2)$$

O valor esperado é inapropriado para representar eventos que não ocorrem várias vezes em uma única história de um processo, como eventos com altas severidades e baixas frequências, sendo também inapropriados para representar eventos com variabilidade na frequência ou severidade. O valor esperado também não faz distinção entre eventos com altas frequências e baixas severidades, e eventos com altas severidades e baixas frequências, desde que o produto destas duas variáveis de risco seja igual [27]. Assim, apesar de ser bastante útil para tomadas de decisões, ele não pode ser usado como uma definição geral de risco [27].

(ii) Curva de probabilidade de risco

Curva de probabilidade de risco pode ser obtida quando ou a severidade (S) ou a frequência (F) é representada por uma curva de probabilidade enquanto a outra é representada por um valor fixo. Utilizado a Equação (2), dois tipos de curva de probabilidade podem ser obtidos.

Considerando variabilidade na severidade enquanto a frequência é um valor fixo, um tipo de curva de probabilidade de risco é obtido, que é similar à curva FN (Frequência F de ocorrer N ou mais fatalidades) [19]. Por exemplo, considerando que um dado evento (E) tem frequência (F) igual a 0,5 falhas por ano e que leva a uma perda econômica (L) com severidade (S) definida por uma curva normal com média de \$100.000 e desvio padrão de \$30.000, a curva de densidade de probabilidade e a curva de probabilidade acumulada da distribuição de risco são apresentadas na Figura 3.

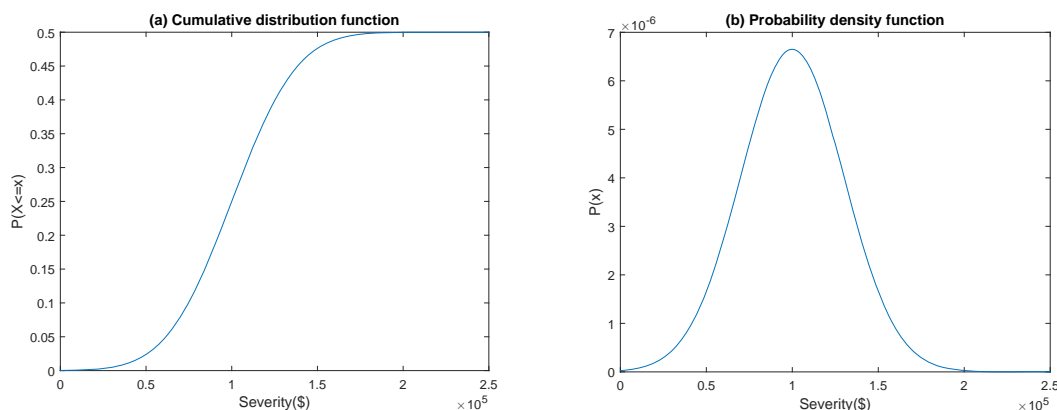


Figura 3: Curva de risco com variação na severidade: (a) Distribuição acumulada, (b) Curva de densidade de probabilidade.

A variabilidade na frequência de ocorrência de um evento, tendo-se o tempo como uma variável aleatória contínua, junto com um valor fixo de severidade leva a outro tipo de curva de risco. É importante observar que tal representação de frequência em função do tempo é normalmente utilizada em problemas de

confiabilidade [28]. Por exemplo, caso a frequência (F) de ocorrência de um evento (E) é representada pela função exponencial com média igual a 0,5 falhas por ano e sua severidade (S) é igual a \$100.000, a curva de densidade de probabilidade e a curva de probabilidade acumulada da distribuição de risco são apresentadas na Figura 4.

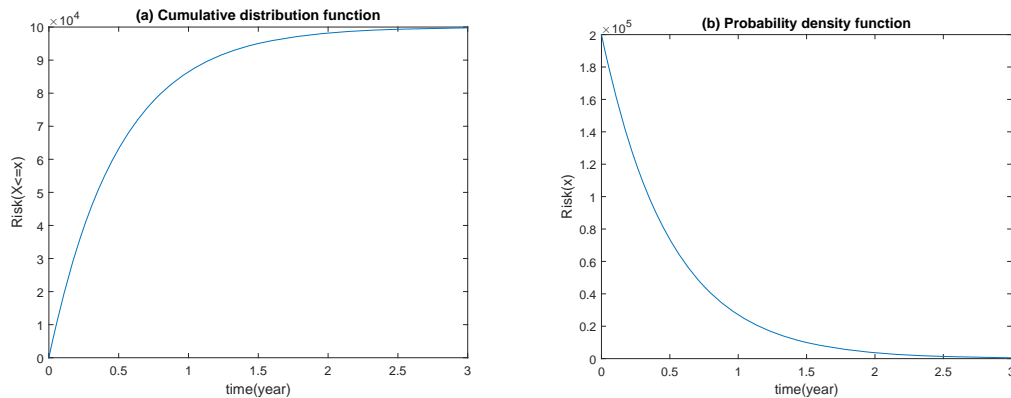


Figura 4: Curva de risco com variação na frequência: (a) Distribuição acumulada, (b) Curva de densidade de probabilidade.

É importante observar que o eixo y da Figura 4 é igual ao produto entre a frequência de ocorrência e a severidade, o que gera um risco dependente do tempo.

(iii) Superfície de risco

Uma representação de risco em que a severidade (S) e frequência (F) são representadas por curvas de probabilidade gera uma superfície tridimensional com *frequência x tempo x severidade*. Por exemplo, dado que a frequência (F) de ocorrência de um evento (E) é representada por uma função exponencial com média igual a 0,5 falhas por ano e a severidade (S) deste evento é representada por uma curva de probabilidade normal com média igual a \$100.000 e desvio padrão de \$30.000, a superfície de densidade de probabilidade e a superfície de probabilidade acumulada da distribuição de risco são apresentadas na Figura 5.

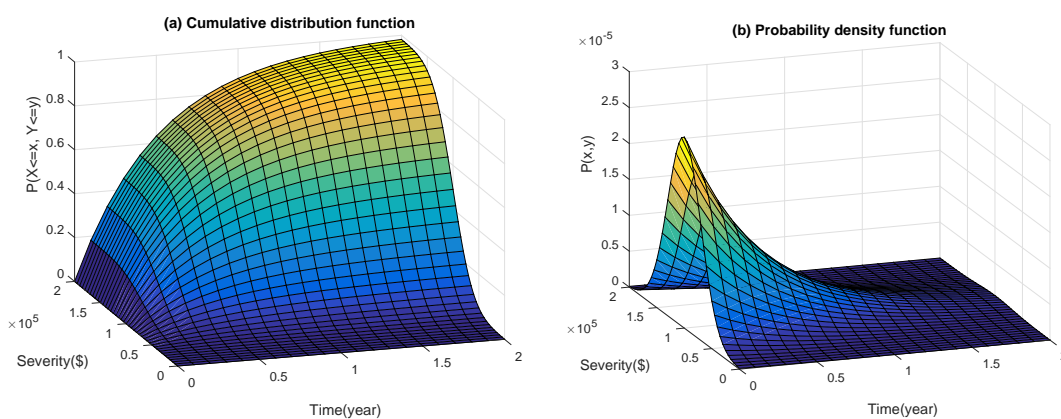


Figura 5: Superfície de risco: (a) Distribuição acumulada, (b) Densidade de probabilidade.

3. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi introduzida uma discussão sobre alguns dos pontos importantes para a definição de risco. Uma das principais contribuições deste trabalho é a organização de ideias e definições normalmente utilizadas para descrever o risco. Foi discutida a importância em evitar o uso da palavra “consequência” a fim de evitar mal entendimentos em função da amplitude do significado da palavra, e foi destacada a

diferença entre frequência e incertezas, em que a primeira pode ser calculada a partir de conhecimentos técnicos enquanto a segunda representa algo mais intangível mas que tem poder de refletir na caracterização do risco. Neste sentido, foi proposto uma definição de risco baseado em cinco variáveis: (i) Perda a ser analisada (L); (ii) Evento (E); (iii) Frequência de ocorrência do evento (F); (iv) Severidade da perda do evento (S); e (v) Incertezas (U). Tal definição busca melhor organizar as informações necessárias para a caracterização do risco, o que possibilita um melhor entendimento e interpretação de qualquer valor de risco estimado. Ademais, ao se caracterizar o risco considerando variabilidade na frequência ou na severidade, diferentes representações de risco podem ser obtidas: (i) valor esperado; (ii) curva de probabilidade de risco; e (iii) superfície de risco, que é uma definição mais complexa de risco.

Assim, a definição e possíveis caracterizações de risco propostas disponibilizam mais ferramentas para que a obtenção e visualização de risco estejam de acordo com os dados e as decisões a serem feitas. A possibilidade de caracterizar o risco em como uma função do tempo melhoram a interpretação dos cenários futuros, sendo extremamente necessário para uma gestão e avaliação do risco que são tendências atuais utilizadas para o aumento da segurança de processos. Por fim comentários sobre incertezas devem ser feitas. É possível observar que em nenhuma caracterização de risco a variável foi utilizada, devendo esta representar o bom senso do especialista em reconhecer que os resultados de risco obtidos podem ser os melhores possíveis, mas não representam o valor real de risco. Assim, qualquer decisão deve ser feita a partir da informação do risco, e não baseada no valor de risco obtido.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Aven, T., “The Risk Concept - Historical and Recent Development Trends”, *Reliability Engineering and System Safety* 99 33–44 (2012).
- [2] Apostolakis, G. E., “How Useful Is Quantitative Risk Assessment?”, *Risk Analysis*, Vol. 24, No. 3, (2004).
- [3] Demichela, M., Piccinini, N., Risk-Based Design of a Regenerative Thermal Oxidizer. *Ind. Eng. Chem. Res.* 43, 5838–5845, (2004).
- [4] Villa, V., Paltrinieri, N., Khan, F., Cozzani, V., “Towards Dynamic Risk Analysis: A Review of the Risk Assessment Approach and its Limitations in the Chemical Process Industry”, *Safety Science* 89 77–93 (2016).
- [5] Aven, T., “Supplementing Quantitative Risk Assessments with a Stage Addressing the Risk Understanding of the Decision Maker”, *Reliability Engineering and System Safety* 152 51–57 (2016a).
- [6] Johansen, I. L., Rausand, M., “Ambiguity in Risk Assessment”, *Safety Science* 80 243–251 (2015).
- [7] Jocelyn, S., Chinniah, Y., Oualim M. S., “Contribution of Dynamic Experience Feedback to the Quantitative Estimation of Risks for Preventing Accidents: A Proposed Methodology for Machinery Safety”, *Safety Science* 88 64–75 (2016).
- [8] Aven, T., Ylönen, M., “Safety Regulations: Implications of the New Risk Perspectives”, *Reliability Engineering and System Safety* 149 164–171 (2016).
- [9] Borst, M., Schoonakker, H., “An Overview of PSA Importance Measures”, *Reliability Engineering and System Safety* 72 241–245 (2001).
- [10] Aven, T., “On How to Define, Understand and Describe Risk”, *Reliability Engineering and System Safety* 95 623–631 (2010).
- [11] Aven, T., “On the New ISO Guide on Risk Management Terminology”, *Reliability Engineering and System Safety* 96 719–726 (2011).
- [12] Aven, T., Krohn, B. S., A New Perspective on How to Understand, Assess and Manage Risk and the Unforeseen”, *Reliability Engineering and System Safety* 121 1–10 (2014).
- [13] Flage, R., Aven, T., Emerging Risk – Conceptual Definition and a Relation to Black Swan Type of Events, *Reliability Engineering and System Safety* 144 61–67 (2015).
- [14] Rae, A., Alexander R., McDermid, J., “Fixing the Cracks in the Crystal Ball: A Maturity Model for Quantitative Risk Assessment”, *Reliability Engineering and System Safety* 125 67–81 (2014).
- [15] Aven, T., “A New Perspective on How to Understand, Assess and Manage Risk and the Unforeseen”, *Reliability Engineering and System Safety* 121 1–10 (2014).
- [16] Paté-Cornell, M. E., “Uncertainties in Risk Analysis: Six Levels of Treatment”, *Reliability Engineering and System Safety* 54 95–111 (1996).
- [17] ISO 31000:2009. “Risk management – Principles and Guidelines”. Geneva, Switzerland (2009).

- [18] Yang, X., Haugen, S., “Classification of Risk to Support Decision-Making in Hazardous Processes”, *Safety Science* 80 115–126 (2015).
- [19] Jonkman, S. N., van Gelder, P.H.A.J.M., Vrijling, J.K., “An Overview of Quantitative Risk Measures for Loss of Life and Economic Damage”, *Journal of Hazardous Materials* A99 1–30 (2003).
- [20] AIChE, “Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis” (2th ed.). New York. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. (2000)
- [21] Raoni, R, Secchi, A., “Procedures to Model and Solve Probabilistic Dynamic System Problems”, *article in submission* (2016).
- [22] Creed, G. D., “Quantitative Risk Assessment: How Realistic are Those Frequency Assumptions?”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24 203-207 (2011).
- [23] Yang, X., Haugen, S., “Risk Information for Operational Decision-Making in the Offshore Oil and Gas Industry”, *Safety Science* 86 98–109 (2016).
- [24] Amundrud, Ø., Aven, T., “On How to Understand and Acknowledge Risk”, *Reliability Engineering and System Safety* 142 42–47 (2015).
- [25] Berner, C., Flage, R., “Strengthening Quantitative Risk Assessments by Systematic Treatment of Uncertain Assumptions”, *Reliability Engineering and System Safety* 151 46–59 (2016).
- [26] Kaplan, S., Garrick, B. J., 1981, “On the Quantitative Definition of Risk”, *Risk Analysis*, Vol. I, No. I, (1981).
- [27] Aven, T., “On the meaning of a black swan in a risk context”, *Safety Science* 57, 44–51 (2013)
- [28] Marseguerra, M.; Zio, E., “Monte Carlo approach to PSA for dynamics process systems”, *Reliability Engineering and system safety*, 52, 227-241 (1996).