



## **ANÁLISE DE RISCO CONSIDERANDO ACIDENTES EM REATORES NUCLEARES E REFINARIAS DE PETRÓLEO**

Francine Menzel<sup>1</sup>

Gaianê Sabundjian<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Análises de risco consistem em importantes instrumentos para auxílio na tomada de decisão, principalmente relacionadas às escolhas energéticas e suas consequências ambientais. O objetivo do artigo é analisar o risco associado com a implantação e operação de uma instalação nuclear e comparar com o risco associado de outras fontes de energia, como o petróleo. Foi feita uma análise de risco baseada no número de reatores-ano e no número de acidentes que já ocorreram no mundo em usinas nucleares. O mesmo foi feito baseado no número de refinarias-ano e no número de acidentes que já ocorreram no mundo em refinarias de petróleo. Nossos resultados mostraram que o risco de acidente em uma usina nuclear no mundo é menor quando comparado com o risco associado à produção de petróleo. Acreditamos que a análise proposta pode influenciar os processos de tomada de decisão na área ambiental e contribuir para um futuro energético mais sustentável.

Palavras-chave: análise de risco, energia nuclear, petróleo, gestão ambiental.

---

1 Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares - IPEN. Universidade de São Paulo - USP. [fmenzel@ipen.br](mailto:fmenzel@ipen.br)

2 Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares - IPEN. Universidade de São Paulo - USP. [gdjian@ipen.br](mailto:gdjian@ipen.br)



## ABSTRACT

Risk analysis is an important tool to aid in decision-making, especially related to energy choices and their environmental consequences. The objective of this paper is to analyze the risk associated with the deploying and operation of a nuclear installation for later comparison with the risk of other energy sources such as oil. We have conducted a risk analysis based on the number of reactor-years and the number of worldwide accidents that have occurred in nuclear power plants. The same was done based on the number of refineries-year and the number of accidents that have occurred worldwide in oil refineries. Our results show that the risk of nuclear power is small when compared with petroleum production. We believe that the proposed analysis might affect the decision-making processes in the environmental area and contribute to a more sustainable energy future.

Keywords: risk analysis, nuclear energy, oil, environmental management.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação de riscos de um sistema consiste na utilização de todas as informações disponíveis para estimar o risco para indivíduos ou populações, bens ou ambiente, a partir da identificação do perigo e visando a busca por soluções ótimas (SUDDLE, 2009).

Ao se realizar uma análise de risco, é importante perceber que a tomada de decisão sobre a aceitação dos riscos é muito complexa, e não apenas envolve aspectos técnicos, como também econômicos, ambientais, políticos, psicológicos e sociais, que também desempenham um papel importante (SUDDLE, 2009).

Uma análise de risco geralmente contém as seguintes etapas: definição do escopo, identificação do perigo, modelagem de cenários de risco, estimativa de consequências, estimativa de probabilidades e estimativa de riscos. As primeiras três etapas são consideradas como a parte qualitativa e as últimas três etapas como a parte quantitativa (SUDDLE, 2009).

As vantagens da avaliação de um cenário baseado no risco são: levar em conta tanto as probabilidades quanto as consequências, constituir uma base para comparar os efeitos de diferentes cenários e integrar



os efeitos de todos os tipos de cenários. Algumas desvantagens também podem ser citadas, como o fato de que o conceito de risco não é facilmente entendido; a atribuição de valores para a probabilidade é uma tarefa difícil; e as pessoas, de uma maneira geral, tenderem a dar maior importância a eventos catastróficos, mesmo que a probabilidade de ocorrência seja significativamente baixa (IAEA, 1999). Ou seja, o risco é relativo e a percepção das pessoas quanto a ele também.

Nos últimos anos tem ocorrido um ressurgimento do interesse pela energia nuclear como uma opção futura de energia tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. No entanto, a qualificação da energia nuclear como uma opção de energia sustentável continua a ser uma questão muito debatida. A natureza controversa desta questão pode ser relacionada com uma série de fatores inter-relacionados como: a complexidade dos fatos relevantes para análise e a pluralidade de posições, os valores e os desafios que estão em jogo (LAES et al, 2011).

O presente trabalho tem como objetivo identificar e analisar os riscos associados com a implantação e operação de uma instalação nuclear e compará-los com os riscos associados à produção de petróleo. Tal comparação justifica-se pela introdução dos veículos elétricos no mercado de veículos leves de passageiros e pela crença de que uma maior massificação desta tecnologia não esteja distante. Dentro deste contexto, pretende-se verificar como a análise de risco se enquadra dentro do processo de tomada de decisão quanto à sua escolha como fonte de geração de energia elétrica.

## **2. REATORES NUCLEARES**

Atualmente existem 433 reatores nucleares em operação no mundo, sendo estes distribuídos entre os países de maneira heterogênea. Na França, há 58 reatores em operação, nos Estados Unidos 104, e na Rússia 32. No Brasil, existem hoje dois reatores em operação e um em construção (IAEA, 2011).

O país possui vantagens comparativas em relação à energia nuclear, associadas a reservas de urânio e tecnologia de produção de combustível. Em razão das políticas de não proliferação de armas nucleares, o desenvolvimento e transferência da tecnologia relacionada ao ciclo de combustível tornaram-se fortemente restritivos, destacando a importância do domínio desta tecnologia para o país (ALVIM et al., 2007).



Ao longo das décadas, a segurança nuclear vem sendo aperfeiçoada, procurando-se reduzir as probabilidades de falhas e acidentes com consequências graves. Acordos Internacionais geridos pela IAEA garantem que as experiências e novas exigências sejam cumpridas por todos os países (Gonçalves & Almeida, 2005).

As principais desvantagens associadas à energia nuclear estão relacionadas aos riscos ambientais, que se configuram como fonte de preocupação de ambientalistas, mas que se disseminam para a sociedade como um todo. Estes riscos podem ser discriminados em quatro aspectos: riscos na operação normal da usina, riscos em caso de acidente, riscos no ciclo do combustível e riscos no armazenamento dos rejeitos (ALVIM et al., 2007).

Em vista desses riscos, as instalações nucleares são construídas visando à máxima segurança, buscando evitar qualquer liberação de material radioativo para o meio ambiente. Isso é feito através de um conjunto de sistemas, medidas operacionais e barreiras físicas que são estipuladas para assegurar que não ocorram contratempos (RIBEIRO, 2007). Uma característica importante relacionada à segurança provém da padronização dos reatores, facilitando a identificação das fontes de perigo e possibilitando que dados e valores de estudos anteriores sejam comuns a todos os reatores do mesmo tipo (Vieira & Correa, 1997).

O surgimento das instalações nucleares colaborou com o desenvolvimento das análises de risco. Os acidentes associados às instalações nucleares são de baixa frequência de ocorrência, porém podem trazer consequências catastróficas, sendo classificadas como instalações de alto risco potencial (Sanchez, 2006).

### **3. PETRÓLEO**

Outra fonte de energia amplamente utilizada no mundo é o petróleo que, sendo usado para diversos fins, tem em sua cadeia de produção uma série de impactos e riscos à população.

Para a viabilização do uso de petróleo como combustível em veículos é preciso que ele passe pelo processo de refino (EPE, 2007). Este processo é caracterizado principalmente pela necessidade de capital intensivo e por abranger diferentes etapas que culminam em um complexo sistema de operações múltiplas (Mariano, 2005).



Uma refinaria pode ser associada com uma série de impactos e riscos ambientais. A poluição é um dos principais problemas ambientais e os riscos de acidentes - incêndios, explosões ou vazamentos - constantemente permeiam estas instalações (EPE, 2007).

#### 4. MÉTODOS

Kammen e Hassenzahl (1992), no livro "Should we risk it?" desenvolveram uma análise de risco onde compararam o número de reatores-ano e o número de acidentes envolvendo instalações nucleares para estimar a probabilidade de uma grande liberação por reator ano. A partir do modelo desenvolvido pelos autores, tem-se a análise de risco a seguir.

As etapas para elaboração da análise de risco da energia nuclear foram as seguintes:

1. Identificação do número de reatores existentes em 2011;
2. Verificação da idade de cada um deles;
3. Cálculo do valor de reatores-ano (ano base 2011);
4. Identificação do número de acidentes ocorridos ao longo dos 41 anos de história da energia nuclear;
5. Cálculo da probabilidade de ocorrer um acidente por reator-ano;

As etapas para elaboração da análise de risco da energia do petróleo foram às seguintes:

1. Identificação do número de refinarias de petróleo existentes em 2011;
2. Cálculo do valor de refinarias-ano;
3. Identificação dos acidentes ocorridos ao longo de 41 anos em refinarias de petróleo;
4. Cálculo da probabilidade de ocorrer um acidente por refinaria-ano;
5. Comparação final entre a probabilidade de ocorrer um acidente nuclear e um acidente relacionado à produção de petróleo.



O funcionamento do reator de grande potência nuclear começou por volta do ano de 1970, e hoje há aproximadamente 433 reatores nucleares em operação no mundo (IAEA, 2011). Considerando os 433 reatores existentes, foi obtido o valor de 11249 reatores-ano (apêndice), multiplicando a idade pelo número de centrais nucleares correspondentes e somando os resultados, como demonstra a equação 1:

Somatória do número de centrais nucleares X Idade = valor de reatores-ano (1)

O gráfico 1 demonstra o número de unidades e os anos em que estas foram sendo construídas, nos eixos y e x, respectivamente. As bolhas representam a potência das usinas instaladas no ano, em MW, sendo estas proporcionais ao tamanho das bolhas.

É possível observar uma tendência das usinas e suas respectivas potências, uma vez que as usinas mais antigas possuem potências menores do que as de idade intermediária. Por sua vez, as mais novas possuem também potências menores, o que demonstra menos projetos, com menor potência instalada a cada ano. Podemos inferir que o interesse pela energia nuclear veio diminuindo ao longo dos últimos anos. Por sua vez, o uso da energia do petróleo veio crescendo nos últimos anos, como demonstra o gráfico 2.

Gráfico 1. Número de reatores instalados, idade e potência adicional por ano.

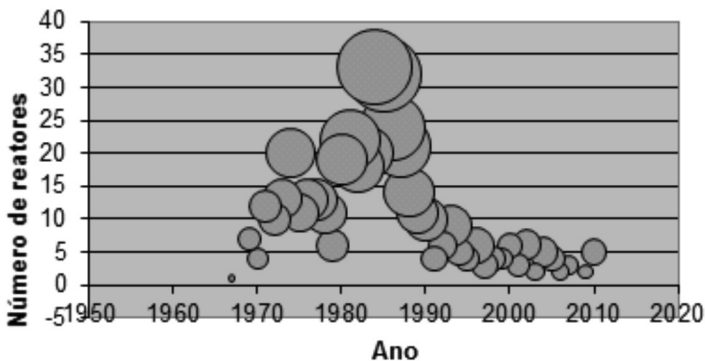
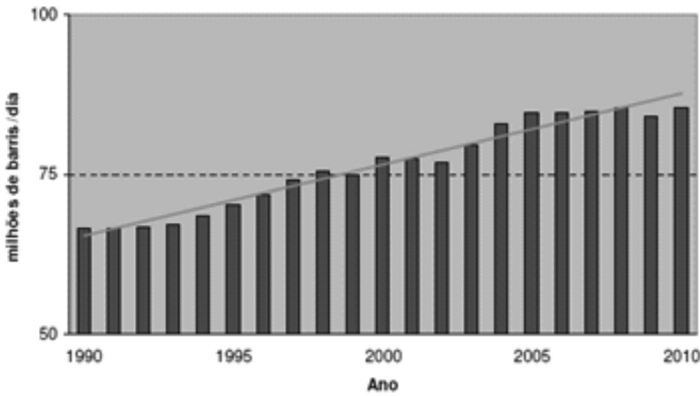


Gráfico 2. Produção de petróleo em milhões de barris por dia nos anos de 1990-2010.



Durante o período de 41 anos, ocorreram três acidentes de grandes proporções, envolvendo reatores nucleares: o de Fukushima, no Japão, em março de 2011; o de Chernobyl, em 1986; e o de Three-Mile Island, em 1979. Nessa base, a probabilidade aproximada de uma grande liberação por reator-ano é de 26 em 100.000. Esse valor é obtido pela divisão do número de acidentes ocorridos pelo valor encontrado da relação reator-ano, como demonstra a equação 2:

Acidentes em reatores nucleares ocorridos no período considerado/valor obtido de reatores-ano = probabilidade aproximada de um acidente em um reator nuclear em um ano (2)

No mundo, existem 657 refinarias de petróleo bruto (PENNWELL, 2007). Na literatura foram relatados 397 acidentes em refinarias (ENERGIE-SPIEGEL, 2005). Considerando que o primeiro acidente documentado foi no ano de 1970, a idade de todas as refinarias que foi considerada é de 41 anos. Assim, multiplicando-se o número de refinarias existentes pela idade, tem-se o valor de 26937 refinarias-ano, como demonstra a equação 3:

Somatória do número de refinarias X Idade = valor de refinarias – ano (3)

Dessa forma, dividindo-se o número de acidentes em refinarias pelo valor obtido de refinarias-ano, tem-se o valor de 0,014 ou 14 em 1000, representando a probabilidade de ocorrência de acidentes por refinaria por ano, representado pela equação 4:



Acidentes em refinarias ocorridos no período considerado/ valor obtido de refinarias-ano = probabilidade aproximada da ocorrência de um acidente em uma refinaria em um ano (4)

## 5. RESULTADOS

Os resultados inicialmente obtidos relacionam-se a probabilidade de ocorrer um acidente nuclear, sendo esta de 0,00026 por reator - ano, ou 26 em 100.000.

Análise semelhante foi feita para a produção do petróleo, sendo que tanto a gasolina produzida através do petróleo quanto à eletricidade produzida através das instalações nucleares podem servir de combustível para carros. Os resultados demonstram a probabilidade de ocorrer um acidente em uma refinaria em um ano, sendo esta de 0,014 por refinaria-ano, ou 1400 em 100.000.

Os valores obtidos na análise baseada na produção do petróleo demonstraram um valor de  $1,4 \times 10^{-2}$  para a probabilidade de acidentes em todas as refinarias em um ano. Este valor é bem maior quando comparado com os acidentes relacionados às instalações nucleares ( $2,6 \times 10^{-4}$ ), sendo o primeiro, duas ordens de magnitude superior ao segundo.

## 6. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na presente análise demonstram que o risco de um acidente nuclear é significativamente baixo quando comparado ao risco de acidentes associados à produção de petróleo (duas ordens de magnitude inferior). Porém, quando refletimos a cerca do número de fatalidades, os acidentes em uma usina nuclear tem consequências de longo prazo muito maiores, muitas vezes de difícil mensuração.

Alguns pressupostos do método levaram ao resultado exposto, tais como a consideração da idade das refinarias como sendo todas de 40 anos, uma vez que o primeiro acidente documentado foi em 1960 e seria impossível determinar a idade de cada refinaria existente no mundo.

Cabe salientar também que esta análise de risco, como qualquer análise similar, trata de probabilidades, chegando a valores muito variáveis, que





se diferenciam conforme o enfoque abordado. Portanto, é muito importante a transparência na demonstração dos dados na análise de risco, para que os resultados sejam não somente conhecidos como também identificados e compreendidos através dos caminhos e métodos que levaram aos mesmos.

## 7. CONCLUSÕES

O presente trabalho nos permite concluir que o risco associado à energia nuclear é bem menor do que o risco associado à produção de petróleo, quando tratamos do número de acidentes associados a cada fonte de energia.

Análises como esta poderão ser utilizadas para prevenir e mitigar consequências danosas de acidentes de projetos de elevada complexidade. Seu valor para sociedade reside na possibilidade de se aceitar o compartilhamento dos riscos, assim como sua redução e mitigação das consequências de acidentes, por meio do estabelecimento de padrões e aperfeiçoamento da confiabilidade e da segurança de sistemas tecnológicos.

## REFERÊNCIAS

Alvim, C. F.; Eidelman, F.; Mafra, O.; Ferreira, O. C. Energia nuclear em um cenário de trinta anos. Estudos avançados., v. 21, n. 59. São Paulo, 2007.

Brasil. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Plano Nacional de Energia 2030, Volume 1 – Análise Retrospectiva, 2007

Eletronuclear. Panorama da Energia Nuclear no Mundo. Junho, 2009. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/pdf/panorama.pdf>. Acesso em 24.11.2011.

Energie-Spiegel. Severe Accidents in the Energy Sector. No.13/Maio, 2005.

Gonçalves, O. D. ; Almeida, I. P. S. A energia nuclear e seus usos na sociedade. Ciência Hoje, v. 37, p. 36-44. Brasil, 2005.

IAEA. Near surface disposal of radioactive waste. Safety Standars Series No. WS-R-1, IAEA, Vienna, 1999.

IAEA. PRIS – Power Reactor Information System. Disponível em: <<http://>



[www.iaea.org/programmes/a2/](http://www.iaea.org/programmes/a2/)> Acesso em 24.11.2011

Kammen, D. M.; Hassenzahl, D. M. Should we risk it? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving. Princeton University Press: United Kingdom, 1992.

Laes, E; Meskens, G.; Sluijs, J. On the contribution of external cost calculations to energy system governance: The case of a potential large-scale nuclear accident. *Energy Policy* v. 39, pgs. 5664-5673. 2011.

Mariano, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. 01 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. v. 01. 230 p.

Pennwell Publishing. Worldwide Refining Survey 2006. *Oil & Gas Journal*, 2007. PLUNKETT RESEARCH, Ltd. Automobile Industry Introduction. 2008. Disponível em <<http://www.plunkettresearch.com/Industries/AutomobilesTrucks/AutomobileTrucks/tabid/89/Default.aspx>>. Acesso em 23.10.2011.

Ribeiro, J.a. Um estudo simplificado da percepção pública dos benefícios e riscos de centrais termonucleares: sugestões para a comunicação de valor com o público. Dissertação de mestrado. IPEN. São Paulo, 2007.

Sánchez, L. E. . Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. v. 1. 496 p.

Silva, C. C. A. E. . Gerenciamento de Riscos Ambientais. In: Arlindo Philippi Junior; Marcelo de Andrade Romero; Gilda Bruna. (Org.). Curso de gerenciamento Ambiental. 1º ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2004, v., p. 1-900.

Suddle, S. The weighted risk analysis. *Safety Sciences*. v. 47, pg. 668-679, 2009.

Vieira Neto, A.s; Correa, F. Visão geral de métodos de análise de risco aplicados a instalações perigosas. In: 11th Meeting on Reactor Physics and Thermal Hydraulics, Encontro Nacional de Física de Reatores e Termo-Hidraulica, August 18-22, 1997, Poços de Caldas, MG. p. 592-597

## APÊNDICE

Número, idade e potência de instalações nucleares e valores parciais e total de reatores-ano.



<b>Idade</b>	<b>Número de unidades</b>	<b>Total MW(e)</b>	<b>Idade X Unidades</b>
0	5	2437	0
1	5	3763	5
2	2	1068	4
4	3	1785	12
5	2	1423	10
6	4	3662	24
7	5	4785	35
8	2	1647	16
9	6	5095	54
10	3	2734	30
11	6	3144	66
12	4	2841	48
13	4	3135	52
14	3	3705	42
15	6	7030	90
16	4	3334	64
17	5	4233	85
18	9	9031	162
19	6	4806	114
20	4	3678	80
21	10	10694	210
22	11	10242	242
23	14	13868	322
24	21	21220	504
25	24	24452	600
26	32	31784	832
27	33	32029	891
28	20	15654	560
29	18	15441	522
30	22	19770	660
31	19	14820	589
32	6	5647	192
33	11	10053	363
34	13	9611	442
35	13	9824	455
36	11	8148	396
37	20	13478	740
28	13	9109	364
39	10	6071	390
40	12	5879	480
41	4	2423	164
42	7	2820	294
44	1	217	44
<b>Total:</b>	<b>433</b>	<b>366590</b>	<b>11249</b>