



# Análise de vulnerabilidade do sistema de proteção física de uma instalação nuclear usando análise de caminhos

Tavares<sup>a</sup> R. L., Fiel<sup>b</sup> J. C.B.

<sup>a</sup>Comissão Nacional de Energia Nuclear, 22290-901, Rua General Severiano, 82, Botafogo, Rio de Janeiro/RJ

<sup>b</sup>Instituto Militar de Engenharia, 22290-270, Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro/RJ

renato.tavares@cnen.gov.br

---

## RESUMO

Este estudo apresenta a aplicação de uma abordagem baseada em desempenho para a avaliação de sistemas de proteção física de instalações nucleares. Esta abordagem leva em consideração parâmetros probabilísticos da ameaça, equipamentos, sistemas e forças de resposta empregadas para prevenir, dissuadir e deter atos mal-intencionados contra a integridade de instalações e dos materiais nucleares nelas contidos. No contexto atual do licenciamento de instalações nucleares brasileiras, é utilizada uma abordagem prescritiva tradicional, que, embora tenha vantagens como simplicidade no processo de fiscalização e homogeneidade em termos de requisitos regulatórios para os diferentes tipos de instalações, não leva em consideração a evolução, dinamismo e capacidades das diferentes ameaças internas ou externas às instalações, nem provê métricas de desempenho dos sistemas em face de tais ameaças. Para preservar a confidencialidade dos planos e sistemas reais, foi concebido um modelo de instalação, contemplando um instituto de pesquisa contendo um reator nuclear e um depósito de rejeitos radioativos, sendo o sistema de proteção física concebido de acordo com os requisitos normativos brasileiros vigentes e avaliado através do cálculo da probabilidade de eficácia. A metodologia viabilizou identificar e corrigir vulnerabilidades através de modificações de projeto, o que não seria possível pela mera verificação de conformidades com requisitos normativos. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a adoção da metodologia baseada em desempenho representa uma significativa evolução na avaliação de sistemas de proteção física.

*Palavras-chave: proteção física, segurança física nuclear, instalações nucleares.*

---

**ABSTRACT**

This study presents an application of a performance-based approach to evaluation of physical protection systems for nuclear facilities. Such approach considers probabilistic parameters of the threat, equipment, systems and response forces used to prevent, dissuade and detain malicious acts against the integrity of nuclear facilities and their nuclear materials. Nowadays, in the context of Brazilian nuclear facilities licensing, a purely prescriptive approach is adopted, which despite having advantages such as simplified inspections and homogeneous regulatory requisites amid different fuel cycle facility types, does not consider evolution, dynamism and capacities of external or internal threats to facilities, neither provides metrics to evaluate system performance facing such threats. In order to preserve actual plans and systems confidentiality, a facility model was created, including a research reactor and a waste storage facility, then its physical protection system conceived in accordance with national regulations and evaluated through calculation of its probability of effectiveness. The methodology made possible identifying and correcting vulnerabilities through project modifications, which would not be possible via mere regulation-compliance verification. From the results obtained it's possible to conclude that the performance-based methodology adoption represents a significant evolution on physical protection systems evaluation.

*Keywords:* physical protection, nuclear security, nuclear facilities.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A Segurança Física insere-se no licenciamento de instalações nucleares como um conjunto de medidas com o objetivo de prevenir e mitigar eventos de sabotagem e remoção não autorizada em materiais e instalações nucleares. Proteção Física (PF), nesse contexto, é um conjunto de medidas realizadas pelos operadores nucleares no sentido de atender aos objetivos da Segurança Física [1]. Este trabalho, dentro do contexto da referida área, utiliza uma abordagem baseada em desempenho para a avaliação do sistema de proteção física de uma instalação nuclear concebida de acordo com a realidade brasileira. O processo de avaliação por desempenho descrito no presente estudo foi desenvolvido pelo Departamento de Energia (DoE) do governo dos Estados Unidos da América, através do *Sandia National Laboratories* (SNL), e é ensinado em cursos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) na área de Proteção Física [2]. Avaliação por desempenho de sistemas de proteção física é considerada o estado da arte nesta área do conhecimento [3, 4, 5, 6].

Segurança Física (*Security*) difere conceitualmente de Segurança Tecnológica (*Safety*), pois enquanto esta tem como meta a proteção dos indivíduos (ocupacionalmente expostos ou do público) dos efeitos danosos da radiação [7], aquela tem como meta a proteção do material nuclear ou radioativo contra atos não autorizados perpetrados por adversários internos ou externos à instalação que os utilize [8].

A abordagem por desempenho em proteção física representa uma evolução em relação àquela puramente prescritiva, atualmente adotada no Brasil [9], na qual a autoridade regulatória define as medidas de PF a serem tomadas pelos operadores de instalações nucleares. A abordagem prescritiva, embora tenha as vantagens de clareza na definição de requisitos regulatórios, simplicidade na fiscalização (verificação de conformidades), e homogeneidade em relação a várias instalações, não possibilita uma medição clara e efetiva de desempenho, pode se mostrar inadequada ou mesmo excessiva (com dispêndio exagerado de recursos materiais e humanos), além da possibilidade de prover uma falsa sensação de segurança [6]. É sabido que, na prática, os regimes de Segurança Física Nuclear promovidos por diversos Estados perfazem uma combinação de elementos das duas abordagens citadas, a prescritiva e a baseada em desempenho [4].

O presente estudo tem como objetivo geral observar possíveis melhorias oriundas da aplicação da abordagem baseada em desempenho na avaliação de vulnerabilidades de uma instalação hipotética cujo sistema de proteção física foi concebido de acordo com os requisitos normativos hoje vigentes no Brasil (a norma CNEN NE-2.01) [1]. Assim, o trabalho pretende trazer como contribuição para a área a percepção da necessidade de atualização regulatória, procedimental e operacional nos sistemas de proteção física das instalações nucleares brasileiras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo geral do estudo, descrito na seção 1, os seguintes materiais e informações foram utilizados:

- Uma instalação hipotética, denominada “Potiratom”, contendo um reator de pesquisas e um depósito de rejeitos radioativos, concebida em [13] e descrita sucintamente na seção 2.2 deste trabalho;

- A ameaça (definida em [8], [10] e [12] como “indivíduo ou grupo de indivíduos com motivação, intenção e capacidades de cometer atos de roubo ou sabotagem em materiais e instalações nucleares”) e a ameaça-base de projeto (definida em [10] como “uma descrição detalhada e abrangente das motivações, intenções e capacidades das ameaças”), são oriundas de [13].

- Os parâmetros probabilísticos de desempenho dos elementos de proteção física da instalação, especificamente os tempos de retardo de barreiras físicas ( $T_D$ ) e as probabilidades de detecção ( $P_D$ ) associadas a sensores, controles de acesso e à força de resposta, são oriundos de [11] e [14];

- Os parâmetros de desempenho da força de resposta, como os tempos de comunicação, preparação e deslocamento ao local do alarme, são oriundos de [13];

- As probabilidades de neutralização ( $P_N$ ), considerando-se iguais as capacidades (armamentos, táticas) da força de segurança da instalação e dos adversários, são oriundas de [11];

Com as informações e dados acima elencados, a análise de vulnerabilidade é feita através dos seguintes passos (conforme [11], [12], [14]):

- Realizar uma análise de múltiplos caminhos no sistema projetado, determinando as rotas mais vulneráveis (ou seja, de menor probabilidade de interrupção -  $P_I$ ) no tocante à intrusão do adversário constante da ameaça-base de projeto. A análise de múltiplos caminhos foi escolhida pela simplicidade computacional, uma vez que se dispõe de dados representativos de desempenho ([11], [14]), e pelo método ter reprodutibilidade em outras instalações, ao contrário, por exemplo, de uma análise de cenários, que demandaria opiniões de especialistas diversos, e seria específica para cada instalação;

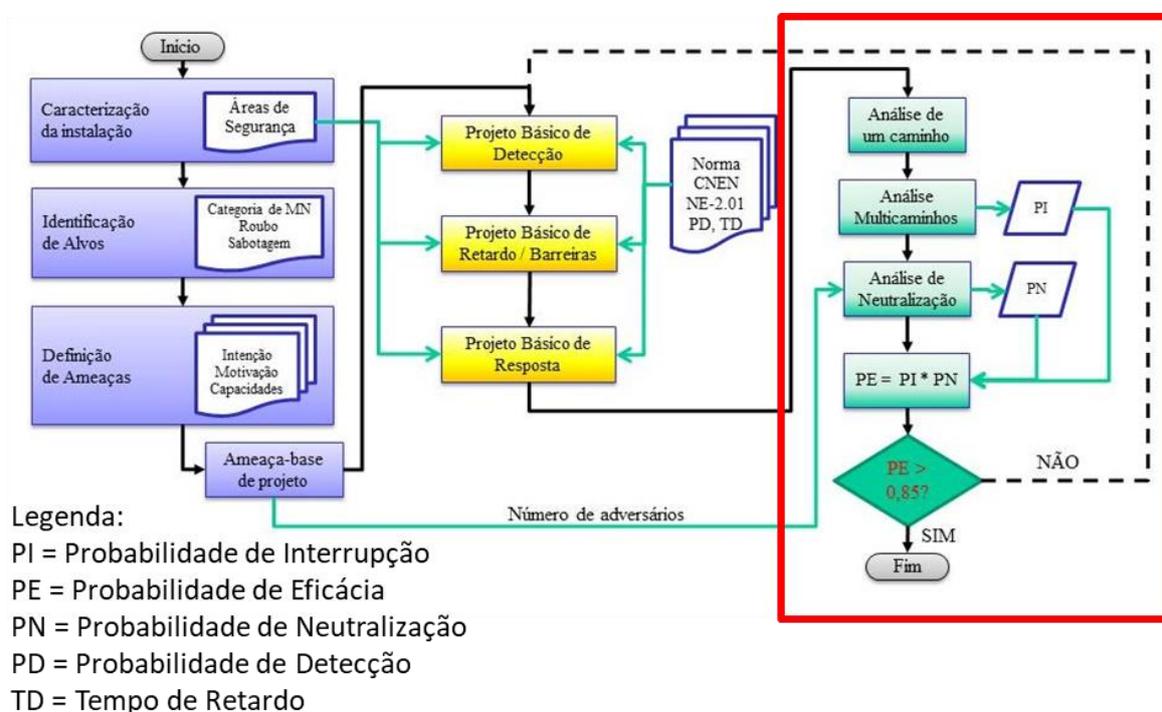
- As possíveis rotas dos adversários, e os elementos de proteção física associados, são visualizados através da ferramenta DSA- Diagrama de Sequência de Adversário ([11], [13], [14]);

- Propor melhorias no sistema de proteção física, em termos de resposta, detecção e retardo, de forma a reduzir a vulnerabilidade nos caminhos indicados, aumentando-se o  $P_I$ ;

- Refazer a análise multicaminhos até que seja alcançado um valor predefinido do parâmetro de eficácia ( $P_E$ ) do sistema, obtido pelo produto de  $P_I$  com a probabilidade de neutralização ( $P_N$ ).

A Figura 1 resume em um fluxograma o sequenciamento das etapas do estudo, destacado na cor vermelha.

**Figura 1:** Metodologia do estudo.

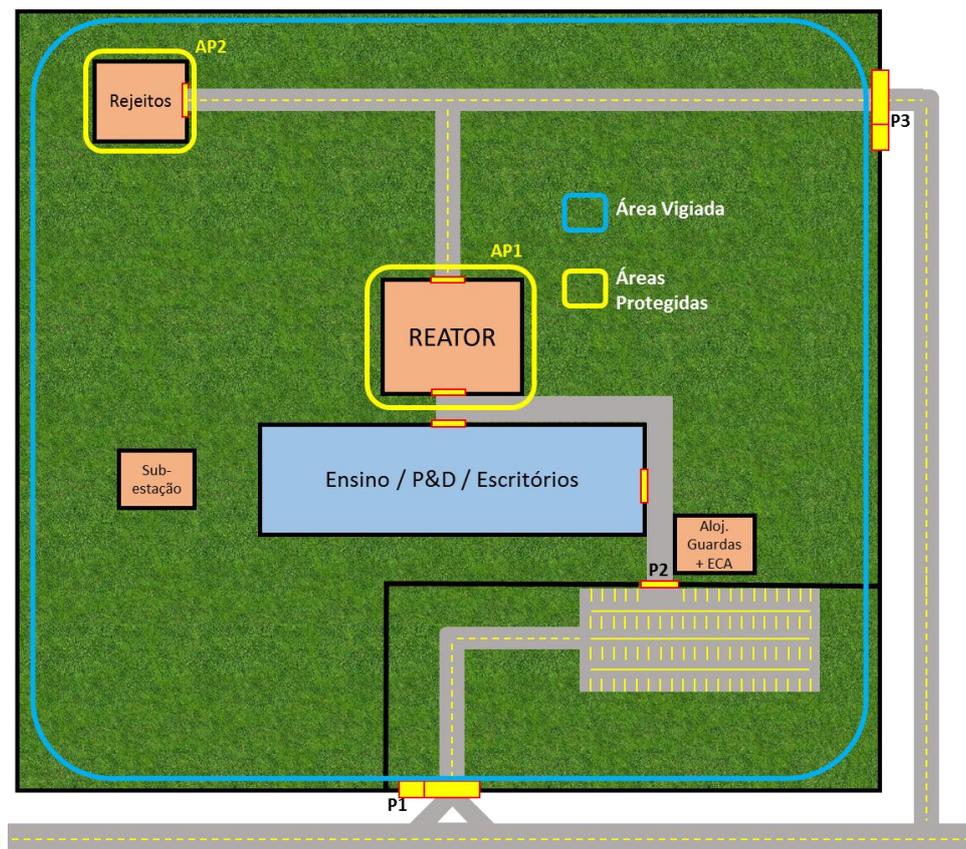


Fonte: adaptado de [13].

## 2.1. O objeto de estudo : a instalação Potiratom

A instalação (figura 2) é basicamente uma propriedade no formato de quadrado com área total de 4km<sup>2</sup> onde se realiza pesquisa e desenvolvimento de tecnologia nuclear, possuindo um reator de pesquisa, de 20MW de potência, com combustível de urânio enriquecido a 19,99 % (portanto, urânio de baixo enriquecimento ou LEU, o que o torna alvo preferencial em ações de sabotagem, pela dificuldade em se considerar eventos de roubo do combustível em uso), um depósito de rejeitos oriundos da própria instalação e também recolhidos de outros locais do país, sendo alguns de baixa atividade (NORM e material contaminado) e outros de alta atividade (cabecotes em desuso de equipamentos utilizados em radioterapia, com fontes de <sup>60</sup>Co e <sup>137</sup>Cs), possíveis alvos de roubo ou sabotagem, dependendo do material. O instituto dispõe ainda de prédios administrativo e de ensino. Neste trabalho será considerado um ataque ao reator de pesquisas.

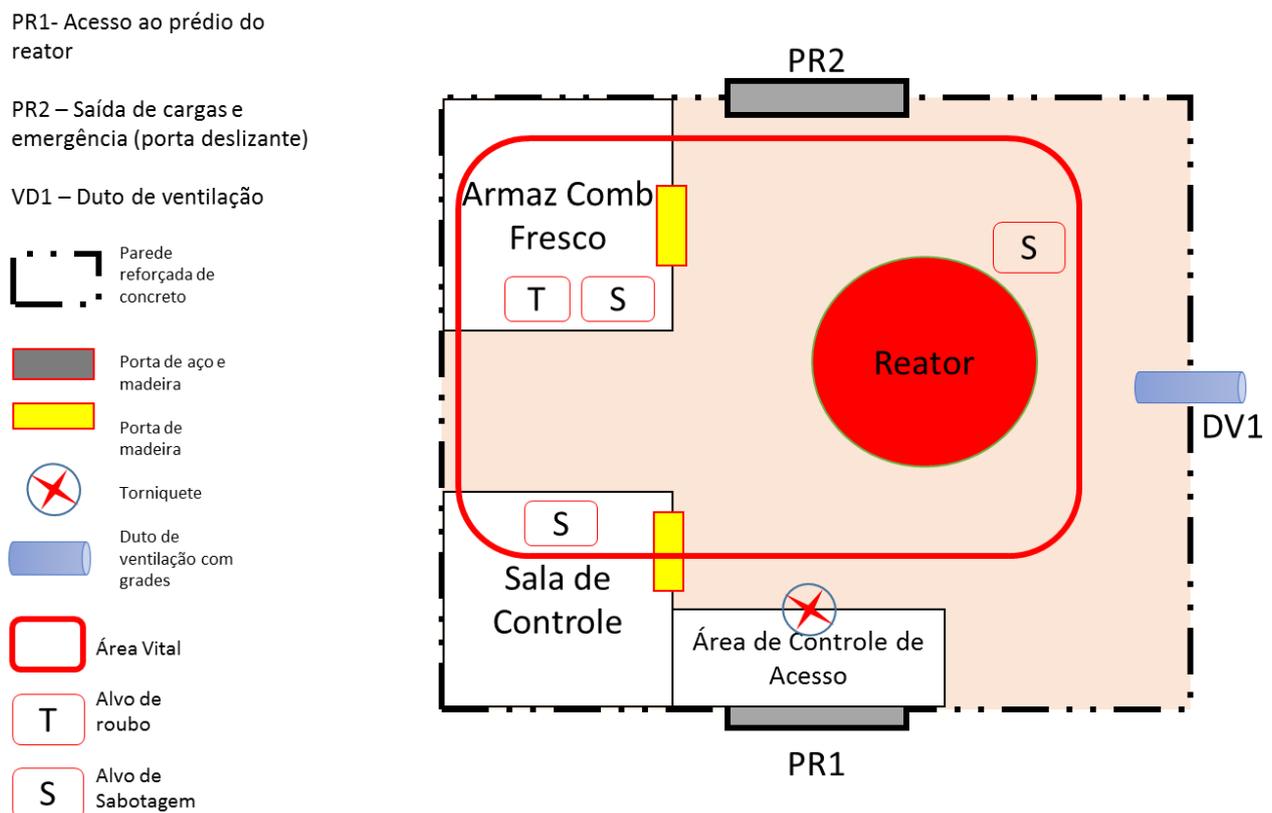
**Figura 2:** A instalação Potiratom.



Fonte: [13].

Considerando a categorização de material nuclear adotada pela CNEN [1], observa-se que no prédio do reator o material nuclear é classificado como Categoria II. No tocante à delimitação das áreas de segurança, a área vigiada e áreas protegidas podem ser visualizadas na Figura 2 e, para o reator, sua área vital (AVt1) inclui o interior do prédio do reator e a sala de controle (Figura 3) :

**Figura 3:** Área vital do Reator de pesquisa (Avt1).



Fonte: [13].

No tocante à definição de ameaças, utilizou a ameaça-base de projeto postulada em [13], de um grupo de 5 (cinco) adversários com intenção de executar ato de sabotagem no prédio do reator de pesquisa, sendo as capacidades tabuladas no formato de ameaça-base de projeto, conforme preconizado no Nuclear Security Series nº10 da AIEA [10]:

**Tabela 1:** Ameaça-base de projeto (ABP) para a instalação “Potiratom”. Fonte: [13].

<b>Características da Ameaça</b>	<b>ABP (sabotagem no Reator)</b>
Número de adversários	5
Armas	Fuzil, pistola
Explosivos	Dinamite
Ferramentas	Mecânicas e Elétricas
Transporte	1 veículo comum
Conhecimento da instalação	Alto
Habilidades técnicas	Alto
Financiamento	Médio
Conluio com agentes internos	Sim
Estrutura de apoio	Médio
Dispostos a matar/morrer	Sim

No que se refere ao desempenho da força de resposta da instalação, em [14] há uma metodologia para coletar os dados descritos na Tabela 2. Esses dados são específicos de cada instalação, pois levam em conta fatores como o nível de treinamento do pessoal, recursos materiais e distâncias entre as forças e os alvos. Para a instalação hipotética em estudo, foram utilizados os seguintes parâmetros da atuação da força de resposta, extraídos de [13]:

**Tabela 2:** Dados de desempenho da força de resposta da instalação Potiratom. Fonte: [13]

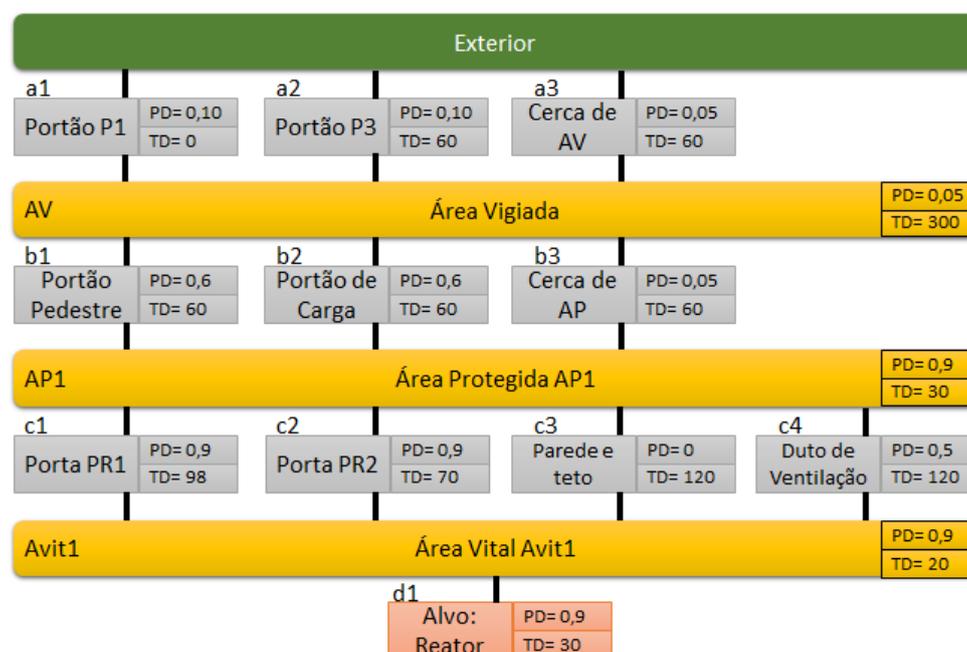
<b>Descrição</b>	<b>Área Protegida do Reator</b>
Tempo de ativação do alarme	1s
Tempo de avaliação do alarme	45s
Comunicação à força de resposta	18s
Tempo de preparação da força de resposta	60s
Tempo para o time na Estação Central de Alarmes chegar à Área Protegida do Reator	0s
Tempo para o time na Estação Secundária de Alarmes chegar à Área Protegida do Reator	90s
Tempo para o posicionamento das forças	30s
Total para um efetivo de 10 homens	244s
Tempo médio para os dois rondantes chegarem à AP sob ataque	80s
Tempo para força total de 12 homens	324s

## 2.2. A avaliação por desempenho do sistema de proteção física

Tendo como base a planta da instalação e os parâmetros de desempenho ( $P_D$ ,  $T_D$ ), são montados os diagramas de sequência de adversário (DSA) e calculadas as probabilidades de interrupção ( $P_I$ ), primeiramente para um caminho aleatoriamente escolhido e em seguida para todos os caminhos possíveis da instalação.

Diagramas de Sequência de Adversário [11] são usados para modelar todos os caminhos possíveis de um adversário até um determinado alvo, seja para roubo ou sabotagem. É uma ferramenta gráfica que possibilita a determinação dos caminhos mais vulneráveis, ou seja, de menor  $P_I$ , e que podem ser usados para estimar a eficácia do SisPF como um todo. Um DSA também possibilita a verificação rápida do balanceamento em termos de retardo e de detecção em uma mesma área de segurança (comparando-se os elementos de proteção física na direção horizontal), da defesa em profundidade ( $T_D$  e  $P_D$  crescentes, do exterior da instalação até o alvo) e até de eventuais saltos ou caminhos mais curtos para o acesso ao material. A Figura 4 permite visualizar um DSA obtido da instalação Potiratom [13].

**Figura 4:** Exemplo de DSA. Adaptado de [12].



Observa-se que o DSA da figura 4 consolida as informações dos elementos de proteção física constantes das figuras 2 e 3 (portões, sensores, cercas e seus respectivos dados de desempenho), nos blocos na cor cinza e as áreas de segurança (vigiada, protegida e vital) na cor amarela. Cada possibilidade de linha vertical ligando o exterior ao alvo (reator) é um caminho. Assim, para esse DSA, há 3 possibilidades de se passar do exterior para a área vigiada, 3 possibilidades de se passar da área vigiada para a área protegida do reator e 4 possibilidades de passar da área protegida do reator para a área vital, num total de 36 possíveis caminhos do exterior até o reator. Cada caminho pode ser descrito como um vetor [ax, bx, cx, d1], cujos índices são os elementos de proteção física descritos no DSA.

Observe-se, ainda, que a cada caminho corresponde um retardo (tempo) diferente desde o exterior até o alvo. Assim, há diferentes pontos críticos de detecção (PCD ou CDP) em cada caminho. O PCD é definido em [12] como o ponto de detecção imediatamente anterior ao qual há um retardo ao longo do caminho do adversário imediatamente maior ou igual ao tempo da força de resposta, contabilizado a partir do alvo. O resultado representativo do sistema é considerado como o pior caso (menor  $P_I$ ) dentre todos os caminhos possíveis.  $P_I$  é calculado em um determinado caminho pela equação (extraída de [12]):

$$P_I = 1 - [(1-P_{D1}) \cdot (1-P_{D2}) \dots (1-P_{Dn})] \quad (1)$$

Onde:

$P_I$ : Probabilidade de interrupção em um dado caminho; e

$P_{D1}, P_{D2}, \dots, P_{Dn}$  : Probabilidade de detecção nos pontos anteriores ao PCD.

O valor de  $P_I$  do sistema será utilizado para o cálculo da probabilidade global de eficácia ( $P_E$ ) do sistema, juntamente com a probabilidade de neutralização ( $P_N$ ), obtida a partir dos dados da ameaça-base de projeto (tabela 1) e do quantitativo da força de resposta (tabela 2). O valor de  $P_E$  obtido será comparado com uma meta, que neste trabalho será definida em 85%, a exemplo do praticado por [11]. Caso o valor obtido seja menor que a meta, serão propostas melhorias nos parâmetros de projeto e repetidos os cálculos, iterativamente, até que se alcance o  $P_E$  desejado ou superior. Para o cálculo de  $P_E$ , usa-se a seguinte equação (extraída de [12]):

$$P_E = P_I \cdot P_N \quad (2)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo como ponto de partida o Sistema de Proteção Física da instalação Potiratom, concebido em [13], bem como seus parâmetros de desempenho, constantes de [11], [13] e [14], realizou-se inicialmente a determinação de  $P_I$  e do PCD em um caminho qualquer da instalação, para ilustrar a análise de caminhos, resultando nos dados da Tabela 3:

**Tabela 3:** Determinação do PCD em um caminho aleatório da instalação. Adaptado de [13].

Ponto de Detecção	Elemento / Área	Descrição da Tarefa	Probabilidade de Detecção	Tempo de retardo (s)	Tempo restante após 1ª Detecção
1	Portão Externo (P1)	Pular o portão P1	0,05	15	565
2	Área Viguada	Correr	0,05	300	265
3	Cerca da AP1	Cortar a cerca	0	65	200
4	Área Protegida	Correr	0,9	30	170
5	Porta de Carga PR2	Penetrar usando explosivos	0,9	120	50
6	Interior da Área Vital	Correr até o Reator	0,9	20	30
7	Vaso do Reator	Montar explosivo e detonar	0,5	30	0

Como o tempo para atuação da força de resposta, pela tabela 2, é de 324s, e contabilizando-se a partir do alvo, o PCD está entre os pontos de detecção 2 e 1, logo apenas o ponto 1 é contabilizado para determinação de  $P_I$ . Calculando-se  $P_I$  pela equação 1, temos:

$$P_I = 1 - (1 - P_{D1}) \rightarrow P_I = 1 - (1 - 0,05) = 0,05 = 5\% \quad (3)$$

O valor de 5% para a probabilidade de interrupção em um caminho é extremamente baixo, inviabilizando a consecução da meta de 85% para a probabilidade de eficácia global do sistema (pois para o produto  $P_I * P_N$  resultar em 0,85 a probabilidade de neutralização teria que ser superior a 1). Portanto, torna-se necessário promover melhorias no sistema de forma a alcançar a meta.

A primeira melhoria proposta foi reduzir o tempo de acionamento da força de resposta, através de melhorias em procedimentos, recursos e treinamentos nos passos descritos na tabela 2, de forma a melhorar a prontidão e reduzir o tempo total para 150s, obtendo-se a seguinte configuração:

**Tabela 4:** Determinação do Ponto Crítico de Detecção em um caminho. Adaptada de [13].

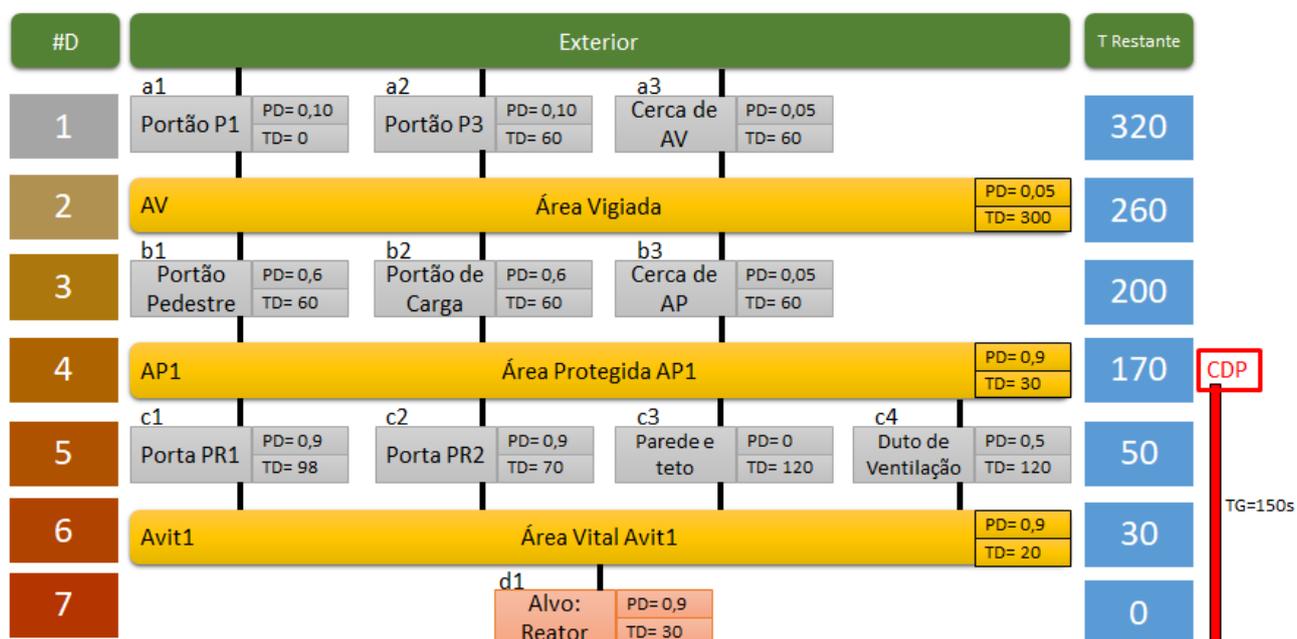
Ponto de Detecção	Elemento / Área	Descrição da Tarefa	Probabilidade de Detecção	Tempo de retardo (s)	Tempo restante 1ª Det.
1	Portão Externo (P1)	Pular o portão P1	0,05	15	565
2	Área Viglada	Correr	0,05	300	265
3	Cerca da AP1	Cortar a cerca	0	65	200
4	Área Protegida	Correr	0,9	30	170
5	Porta de Carga PR2	Penetrar usando explosivos	0,9	120	50
6	Interior da Área Vital	Correr até o Reator	0,9	20	30
7	Vaso do Reator	Montar explosivo e detonar	0,5	30	0

PCD

Com o tempo de resposta da força de segurança em 150s, move-se o PCD para um ponto entre os pontos de detecção 4 e 5. Assim, a oportunidade ótima de detecção se localiza no ponto de detecção 4 (imediatamente anterior), sendo a probabilidade de interrupção para este caso:

$$P_I = 1 - [(1 - P_{D1})(1 - P_{D2})(1 - P_{D3})(1 - P_{D4})] \rightarrow P_I = 1 - [(1 - 0,05)(1 - 0,05)(1 - 0)(1 - 0,9)] = 0,90975 = 91\% \quad (4)$$

Tal valor evidencia uma substancial melhoria em termos da probabilidade de interrupção, viabilizando a análise multicaminhos usando a ferramenta DSA. O DSA da figura 5 inclui duas colunas a mais que o da figura 4: uma coluna “#D”, que corresponde à oportunidade de detecção, e uma coluna “T restante”, que é específica do tempo da força de resposta da instalação, o que permite identificar em que possibilidade de detecção se encontra o PCD (ou CDP).

**Figura 5:** Diagrama de sequência de adversário para o alvo do Reator.

Fonte: Adaptado de [13].

A partir da figura 5, é possível observar que para um  $T_G$  (tempo de resposta) de 150s (após a primeira melhoria proposta no subitem anterior), o PCD encontra-se entre os pontos de detecção 4 e 5 (coluna à direita do DSA), ou seja, o cálculo da probabilidade de interrupção para todos os caminhos deve incluir até o ponto de detecção 4, exceto no caso dos caminhos que incluem o elemento c2, cujo tempo de retardo menor eleva o PCD para o ponto 4, sendo o cálculo de  $P_i$ , nesse caso, até o ponto de detecção 3. Utilizou-se uma planilha feita no Microsoft Excel para o cálculo dos valores de  $P_i$  (através da equação 1) para todos os 36 caminhos possíveis até o Reator. Os resultados obtidos na primeira iteração da análise multicaminhos podem ser visualizados na figura 6:







termos de custos. A terceira linha da tabela mostra uma possibilidade mais próxima da meta, com um custo menor em termos de pessoal, para oito respondedores. Os custos também poderiam ser reduzidos através da escolha de tecnologias menos custosas de implantar e manter, ainda que tais escolhas levassem a um  $P_1$  ligeiramente menor.

#### 4. CONCLUSÕES

Dado o caráter dinâmico das ameaças aos programas nucleares em diversos países, fato mencionado em diversos tratados internacionais como o a Convenção Internacional para Supressão de Atos de Terrorismo Nuclear [15] e a Emenda à Convenção de Proteção Física de Material Nuclear (CPPNM) [16], tornou-se inegável a necessidade de repensar a estratégia nacional de segurança física, para que a modalidade de geração de energia nuclear continue sendo uma alternativa limpa, segura e competitiva para as próximas gerações. O Brasil vive um processo de transição regulatória na área, em que se está buscando adequar os requisitos normativos nacionais aos métodos e processos adotados e recomendados pela comunidade internacional.

Nesse contexto, este estudo apresentou a aplicação de uma abordagem baseada em desempenho para a avaliação de um sistema de proteção física, sendo capaz de prover uma probabilidade de eficácia global de 85% para o sistema projetado face à ameaça-base de projeto postulada para a instalação hipotética “Potiratom”.

A análise multicaminhos possibilitou a identificação de um projeto inicial deficiente, seja por uma proteção desbalanceada em termos de retardo (terceira melhoria), por não permitir a ação da força de resposta em tempo hábil à neutralização da força adversa (primeira melhoria), ou por não prover uma probabilidade de detecção adequada (segunda melhoria).

Importante mencionar que as melhorias propostas ao longo do estudo dificilmente seriam visualizadas por uma verificação de conformidades com requisitos normativos. A utilização do DSA possibilitou identificar, de forma gráfica, o desbalanceamento em termos de detecção na cerca da área protegida e de retardo na porta de carga do prédio do reator, o que se confirmou através dos cálculos de  $P_1$  para todos os caminhos, possibilitando as medidas de reposicionamento da força de segurança e sua consequente readequação no que tange ao tempo de resposta, no balanceamento de detecção na cerca da área protegida do Reator e de retardo na porta de carga do prédio do Reator,

que impactaram positivamente a probabilidade de interrupção ( $P_I$ ) e conseqüentemente a ( $P_E$ ) global do sistema.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de aperfeiçoamento regulatório, procedimental e operacional, que tenha como objetivo a mitigação dos efeitos de possíveis ameaças às instalações nucleares brasileiras.

## REFERÊNCIAS

- [1] CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN-NE-2.01, **Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear**. Rio de Janeiro, 2011.
- [2] National Nuclear Security Administration. **NNSA and IAEA Celebrate the 25th International Training Course**, 2015, disponível na página eletrônica:  
<https://www.energy.gov/nnsa/articles/nnsa-and-iaea-celebrate-25th-international-training-course>. Acesso em setembro/2018.
- [3] BUNN, M., BUNN, G. **Strengthening Nuclear Security Against Post-September 11 Threats of Theft and Sabotage**. In : Journal of Nuclear Materials Management, Vol. 30, Issue 3, 2002. Disponível na página eletrônica :  
[https://scholar.harvard.edu/files/matthew\\_bunn/files/bunn\\_strengthening\\_nuclear\\_security\\_against\\_post-september\\_11\\_threats\\_of\\_theft\\_and\\_sabotage.pdf](https://scholar.harvard.edu/files/matthew_bunn/files/bunn_strengthening_nuclear_security_against_post-september_11_threats_of_theft_and_sabotage.pdf). Acesso em abril de 2019.
- [4] DUGUAY, R. **Performance-Based Approach to the Security of Radioactive Sealed Sources: A Canadian Perspective**. In : Journal of Physical Security 7(3), pp. 16-23, 2014. Disponível na página eletrônica :  
<http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/resources/Performance-Based-Approach-Security-Radioactive-Sealed-Sources.pdf>. Acesso em abril de 2019.
- [5] BUNN, M., KOVCHGIN, D. **Nuclear security in Russia: can progress be sustained?** In : The Nonproliferation Review, 24:5-6, pp. 527-551, 2018. Disponível na página eletrônica :  
[https://scholar.harvard.edu/files/matthew\\_bunn/files/bunn\\_nuclear\\_security\\_in\\_russia\\_can\\_progress\\_be\\_sustained.pdf](https://scholar.harvard.edu/files/matthew_bunn/files/bunn_nuclear_security_in_russia_can_progress_be_sustained.pdf). Acesso em abril de 2019.

- [6] MITSUTOCHI, S., DEMACHI, K. **Security by facility design for sabotage protection**. In: Journal of Nuclear Science and Technology, 55:5, 559-567, 2017. Disponível na página eletrônica : <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1417170>. Acesso em abril de 2019.
- [7] IAEA – International Atomic Energy Agency. **IAEA Safety Glossary**, 2007, disponível na página eletrônica : [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1290\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1290_web.pdf). Acesso em outubro/2018.
- [8] IAEA – International Atomic Energy Agency. **Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Rev.5)**. Nuclear Security Series n° 13, Vienna, 2011.
- [9] TAVARES, R.L.A, MONTEIRO FILHO, J.S, TORRES, L.F.B, **Evolution of Brazilian Physical Protection Regulations**. In: IAEA International Conference on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, Vienna, Austria, 2017.
- [10] IAEA – International Atomic Energy Agency. **Development, Use and Maintenance of the Design Basis Threat**, Nuclear Security Series n°10, Vienna, Austria, 2009.
- [11] Sandia National Laboratories. **International Training Course on Physical Protection of Nuclear Material and Facilities**, 2015, disponível na página eletrônica: <https://share-ng.sandia.gov/itc/> Acesso em 12/08/2017.
- [12] GARCIA, M.L., **The Design and Evaluation of Physical Protection Systems - Second Edition**, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington,MA, USA, 2008.
- [13] TAVARES, R.L.A. **Projeto e Avaliação do Sistema de Proteção Física de uma Instalação Nuclear**. 2018. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear). Instituto Militar de Engenharia, 2018.
- [14] GARCIA, M. L., **Vulnerability Assessment of Physical Protection Systems**, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington,MA, USA, 2006.
- [15] BRASIL. **Decreto Legislativo n°267**. Brasília, 2009. Disponível na página eletrônica : <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2009/decretolegislativo-267-10-junho-2009-588744-publicacaooriginal-113464-pl.html>. Acesso em abril de 2019.
- [16] IAEA – International Atomic Energy Agency. **Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material**. Vienna, 2016. Disponível na página eletrônica : <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc274r1m1.pdf>. Acesso em abril de 2019.