

Universidade Federal do Rio de Janeiro

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO
PARAMETRIZADA DE RISCOS
INDIRETOS PARA ORGANIZAÇÕES
SETORIAIS BASEADA NO ARCABOUÇO
REGULATÓRIO NUCLEAR NACIONAL E
INTERNACIONAL

Bruno Costa Filgueiras

Bruno Costa Filgueiras

D.Sc.
COPPE/UFRJ
2025

2025

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO PARAMETRIZADA DE RISCOS
INDIRETOS PARA ORGANIZAÇÕES SETORIAIS BASEADA NO
ARCABOUÇO REGULATÓRIO NUCLEAR NACIONAL E
INTERNACIONAL**

Bruno Costa Filgueiras

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Nuclear.

Orientador(es):

Alan Miranda Monteiro de Lima, D.Sc.

Celso Marcelo Franklin Lapa, D.Sc.

Rio de Janeiro

Abril de 2025

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO PARAMETRIZADA DE RISCOS
INDIRETOS PARA ORGANIZAÇÕES SETORIAIS BASEADA NO
ARCABOUÇO REGULATÓRIO NUCLEAR NACIONAL E
INTERNACIONAL

Bruno Costa Filgueiras

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Orientadores: Alan Miranda Monteiro de Lima
Celso Marcelo Franklin Lapa

Aprovada por: Prof. Alan Miranda Monteiro de Lima, D.Sc.

Prof. Ademir Xavier da Silva, D.Sc.

Prof. Celso Marcelo Franklin Lapa, D.Sc.

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D. Sc.

Dr. Alessandro Facure Neves de Salles Soares, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2025

Filgueiras, Bruno Costa

Metodologia de Avaliação de Riscos Indiretos para Organizações Setoriais baseada no Arcabouço Regulatório Nuclear Nacional e Internacional / Bruno Costa Filgueiras. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XII, 89 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alan Miranda Monteiro de Lima

Celso Marcelo Franklin Lapa

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 88-89.

1. Avaliação de Riscos Indiretos Parametrizada. I. Lima, Alan Miranda Monteiro et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Metodologia de Avaliação de Riscos Indiretos para Organizações Setoriais baseada no Arcabouço Regulatório Nuclear Nacional e Internacional.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO PARAMETRIZADA DE RISCOS INDIRETOS
PARA ORGANIZAÇÕES SETORIAIS BASEADA NO ARCABOUÇO
REGULATÓRIO NUCLEAR NACIONAL E INTERNACIONAL

Bruno Costa Filgueiras

Abril/2025

Orientadores: Alan Miranda Monteiro de Lima

Celso Marcelo Franklin Lapa

Programa: Engenharia Nuclear

O presente trabalho desenvolve uma metodologia inovadora para avaliação de riscos indiretos que possibilita medir a eficácia da alocação de recursos empregados para garantir a minimização de riscos e produzir pontuações numéricas, ponderadas por direcionadores de risco, mediante a execução de um modelo matemático capaz de garantir replicabilidade, adaptabilidade e evolução ao longo do tempo e cuja comparação de resultados obtidos entre a fase embrionária e atual de aplicação da metodologia nas áreas de gamagrafia e de medidores nucleares comprova sua capacidade de mensuração em termos de precisão, acurácia e robustez, por meio da implementação das barreiras de segurança capazes de combater as fragilidade do modelo.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

PARAMETERIZED ASSESSMENT METHODOLOGY OF INDIRECT RISKS FOR
SECTORAL ORGANIZATIONS BASED ON THE NATIONAL AND
INTERNATIONAL NUCLEAR REGULATORY FRAMEWORK

Bruno Costa Filgueiras

Abril/2025

Advisors: Alan Miranda Monteiro de Lima
Celso Marcelo Franklin Lapa

Department: Nuclear Engineering

This work develops an innovative methodology for assessing indirect risks that makes it possible to measure the effectiveness of the allocation of resources used to ensure risk minimization and produce numerical scores, weighted by risk drivers, through the execution of a mathematical model capable of ensuring replicability, adaptability and evolution over time and whose comparison of results obtained between the embryonic and current phases of application of the methodology in the areas of gammagraphy and nuclear meters proves its measurement capacity in terms of precision, accuracy and robustness, through the implementation of safety barriers capable of combating the model's weaknesses.

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra aos meus pais pelo afinho que exerceram na minha criação e na formação do meu caráter e de minha família.

À minha noiva, Dra. Regina Maria Campos da Costa Dias, por todo incentivo emocional e afetivo proporcionado para o desenvolvimento deste trabalho, com sua elegância, sabedoria e atitudes em todos os momentos em que precisei retomar o ânimo para vencer tamanho desafio de desenvolver uma metodologia inovadora com aplicação prática direta para o setor nuclear brasileiro entre outros.

E, finalmente à Jesus Cristo, pelos princípios éticos e valores morais contidos nos textos bíblicos e pela fé inabalável decorrente do seu estudo e benefícios decorrentes de sua aplicação prática em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio de Janeiro que por meio de seu Programa de Engenharia Nuclear que permitiu minha formação, capaz de garantir a conclusão deste curso de doutorado.

Ao meu orientador, Professor Alan Miranda Monteiro de Lima, pela capacidade de escuta e adaptabilidade que permitiram esgotar todas as hipóteses alternativas, comprovando a validade e originalidade da metodologia.

Ao meu orientador, Professor Celso Marcelo Franklin Lapa, pela objetividade fundamental para direcionar e conduzir a conclusão objetiva e precisa do presente trabalho.

Ao meu orientador, Renato Fonseca da Silva, pela acreditação e apoio dados para validação do tema, seleção e validação da metodologia adotada, estimulando ativamente o trabalho.

Ao meu orientador, Alessandro Facure Neves de Sales Soares, pela identificação do potencial da aplicação da metodologia ao setor nuclear brasileira, desde a fase embrionária, incentivando e apoiando o desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa acadêmica.

Ao Professor Ademir Xavier da Silva, por ter sido o primeiro membro do corpo docente do PEN a aceitar o desenvolvimento do tema da tese e por ter recomendado o professor Alan como nosso orientador e por ter aceitado integrar a banca avaliadora da presente de tese de doutorado.

Ao Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, pelas disciplinas das áreas de fatores humanos e lógica Fuzzy ministradas no Instituto de Engenharia Nuclear, indispensáveis para formar as minhas conclusões sobre como estruturar a metodologia ARP e pela vasta produção científica disponibilizada para esta pesquisa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
CAPÍTULO I: Introdução	2
I.1 Conceito de Avaliação de Risco	2
I.2 Motivação	4
I.2.1 Contextualização do Problema	5
I.2.2 Conceito de Risco Indireto	6
I.2.3 Referências Bibliográficas Relativas ao Tema	7
I.3 Objetivo da Pesquisa	10
I.4 Contribuição Original	10
I.5 Estruturação da Tese	11
CAPÍTULO II: Avaliação de Risco Parametrizada (ARP)	13
II.1 Origem	13
II.2 Definições Preliminares	17
II.2.1 Normas	17
II.2.2 Atividades	17
II.2.3 Direcionadores de Risco	17
II.2.4 Notas	17
II.2.5 Evidências Objetivas	17
II.3 Modelo Lógico da Metodologia ARP	18
II.4 Tipos de Direcionadores de Risco	19
CAPÍTULO III: Implementação da Metodologia ARP	21
III.1 Roteiro para Implementação da ARP	21
III.2 Modelo de Quatro Estágios	23
CAPÍTULO IV: Metodologia ARP Aplicada ao Setor Nuclear Brasileiro	24
IV.1 Triagem do Arcabouço Regulatório de Segurança do Setor Nuclear	24
IV.1.1 Estatuto da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)	24
IV.1.2 Hierarquia das Normas da AIEA	25
IV.1.3 Pesquisa Bibliográfica (Publicações da AIEA)	29
IV.1.4 Pesquisa Bibliográfica (Normas da CNEN)	33
IV.2 Estruturação em Árvore da ARP Aplicada ao Setor Nuclear Brasileiro	34
IV.2.1 Processos e Subprocessos Mapeados	35
IV.2.2 Atividades Mapeadas	49
IV.2.3 Evidências Objetivas	50
IV.3 Direcionadores de Risco Atividade (DRA)	52
IV.3.1 Tipos de Direcionadores de Risco Atividade (DRA)	52
IV.3.2 Classes de Risco	54
IV.4 Direcionadores de Risco Nota (DRN)	55

IV.5	Definição de Valores para Classes de Risco das Atividades (DRA)	58
IV.5.1	Primeira Rodada de Simulação de Valores	58
IV.5.2	Segunda Rodada de Simulação de Valores	61
IV.5.3	Regras de Tamanhos Limites das Fatias por Processo	63
IV.6	Checagem das Métricas de Avaliação das Atividades de Minimização de Risco	65
IV.7	Resultados da Aplicação da Metodologia ARP	67
CAPÍTULO V: Modelo Matemático e Resultados		69
V.1	Modelo Matemático da ARP	69
V.2	Resultados da Aplicação da Versão Embrionária da ARP aos Licenciados.....	70
V.3	Resultados da Versão Atual da Metodologia ARP.....	71
CAPÍTULO VI: Análise de Fragilidade da Metodologia.....		75
VI.1	Pré-Requisito para Implementação da Metodologia ARP	75
VI.2	Barreiras de Segurança à Fragilidade da Metodologia.....	75
VI.3.	Roteiro de Cálculo para Estimativa do Desvio Máximo	76
VI.4.	Desenvolvimento de Futuras Pesquisas.....	81
CAPÍTULO VII: Conclusões.....		85
VII.1.1	Estruturação em Árvore.....	85
VII.1.2	Comparabilidade Intertemporal.....	85
VII.1.3	Tomada de Decisões Estratégicas.....	86
VII.1.4	Autoaprendizagem e Adaptabilidade.....	87
VII.1.5	Parametrização Critérios de Julgamento Reduzindo Subjetividade	88
VII.1.6	Gestão do Conhecimento e Difusão da Cultura de Segurança	88
Referências		88

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Planta Visível (Riscos Diretos) e Planta Invisível (Riscos Indiretos)	6
Figura 2: Organograma de Classificação de risco tendo PRA como um gênero que poderia ter “d-PRA” e “i-PRA” como espécies.	8
Figura 3: Referencial Teórico da Metodologia de Avaliação de Risco Parametrizada (ARP).....	13
Figura 4: Fluxo horizontal do trabalho versus estruturas departamentais verticais das organizações	15
Figura 5: Análise de Processo do Negócio x Avaliação de Risco Parametrizada	16
Figura 6: Modelo Lógico da ARP	18
Figura 7: Avaliação de Risco Atividade e Avaliação de Risco Efetivo.....	19

Figura 8: Requisitos para Implementação da Metodologia ARP.....	21
Figura 9: Fluxograma de Implementação da Avaliação de Risco Atividade.....	22
Figura 10: Fluxograma para Implementação da Avaliação de Risco Efetivo.....	22
Figura 11: Formato Piramidal da estrutura hierárquica do arcabouço regulatório da AIEA	24
Figura 12: Roda de Padrões de Segurança da IAEA	28
Figura 13: Organograma dos três níveis de publicações da IAEA	28
Figura 14: Estrutura em Árvore de Processos e Subprocessos Mapeados combinado com Triagem de Normas	35
Figura 15: Sete Processos mapeados na ARP aplicada a Instalações Radiativas	35
Figura 16: Subprocessos da Liderança e Comprometimento	36
Figura 17: Subprocessos de Infraestrutura e Ambiente de Trabalho	39
Figura 18: Subprocessos de Infraestrutura e Ambiente de Trabalho	40
Figura 19: Subprocessos de Prevenção de Acidentes.....	43
Figura 20: Subprocessos de Listas de Verificação	45
Figura 21: Subprocessos de Recursos Humanos	47
Figura 22: Subprocessos de Gestão de Informação e Conhecimento	48
Figura 23: Exemplo de Atividade Mapeada na ARP aplicada à Gamagrafia e Medidores Nucleares	50
Figura 24: Rol Evidências-Objetivas relativas à Pergunta-Direta 1.1.3	51
Figura 25: Formulário “DRA Input” preenchido com Impacto Alto e Probabilidade Média para a Atividade 1.1.2.....	53
Figura 26: Formulário “DRA Input” preenchido com Método Gradual e Frequência Baixa para a Atividade 1.1.1	53
Figura 27: Matriz de Risco para Direcionador de Risco Atividade Tipo 1 (DRA1)	54
Figura 28: Matriz de Risco para Direcionador de Risco Atividade Tipo 2 (DRA2)	55
Figura 29: Formulário DRN Input preenchido com métrica qualitativa, variável eficácia e escala de excelência relativo à atividade nº 1.1.1 vinculada automaticamente ao DRN5	56
Figura 30: Formulário DRN Input preenchido com métrica quantitativa, variável objetiva e escala tipo booleana relativo à atividade mapeada 1.3.2 vinculada automaticamente ao DRN1.....	57
Figura 31: 1ª Rodada de Valores atribuídos às Classes de Risco	58
Figura 32: Quantidades de Perguntas associadas às Classes ABC de Pareto na 1ª Rodada de Simulação de Valores.....	59
Figura 33: Curva ABC de Pareto.....	59

Figura 34: Classificação ABC de Pareto após 1ª Rodada de Valores das Classes de Risco.....	60
Figura 35: Tamanhos de Fatias por Processos resultantes da 1ª Rodada de Simulação de Valores para Classes de Risco	61
Figura 36: 2ª Rodada de Valores atribuídos às Classes de Risco	61
Figura 37: Quantidades de Perguntas-Diretas associadas às Classes ABC de Pareto após 2ª Rodada de Simulação de Valores	62
Figura 38: Classificação ABC de Pareto após 2ª Rodada de Valores das Classes de Risco.....	63
Figura 39: Tamanhos de Fatias por Processos resultantes da 2ª Rodada de Simulação de Valores para Classes de Risco	64
Figura 40: Pontuação Máxima por Processo após 1ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco	65
Figura 41: Pontuação Máxima por Processo após 2ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco	65
Figura 42: Classificação ABC de Pareto dos Direcionadores de Risco Nota (DRN).....	66
Figura 43: Módulos da Ferramenta de Banco de Dados	70
Figura 44: Pontuação Máxima por Processo na Fase Embrionária da ARP	72
Figura 45: Pontuação Máxima por Processo na Fase Atual da ARP	72
Figura 46: Classificação ABC de Pareto do Modelo de ARP embrionário.....	72
Figura 47: Classificação ABC de Pareto do Modelo de ARP fase atual	73
Figura 48: Ajuste das Classes de Risco	73
Figura 49: Quadro resumo: Quantidade de perguntas por tipo de DRA e DRN.....	76
Figura 50: Cálculo do desvio Máximo	80
Figura 51: Cálculo do desvio estimada.....	80
Figura 52: Possíveis combinações de divergências entre notas aplicadas por dois inspetores distintos.....	81
Figura 53: Simulações de 1 a 5 das possíveis combinações de divergências entre notas	82
Figura 54: Simulações de 6 a 11 das possíveis combinações de divergências entre notas	82
Figura 55: Simulações de 12 a 17 das possíveis combinações de divergências entre notas	82
Figura 56: Simulações de 18 a 23 das possíveis combinações de divergências entre notas	82
Figura 57: Simulações de 24 a 29 das possíveis combinações de divergências entre notas	83
Figura 58. Simulações de 29 a 31 das possíveis combinações de divergências entre notas	83
Figura 59: Lógica Fuzzy para eliminação da imprecisão da metodologia.....	84

Figura 60: Comparabilidade Intertemporal da Performance dos Licenciados (Simulação Hipotética).....	86
Figura 61: Ranking de Licenciados e Selo de Segurança Nuclear	86
Figura 62: Planejamento de Decisões Estratégicas.....	87
Figura 63: Classificação dos Licenciados por Selo de Segurança em cada Área de Aplicação Nuclear....	87

CAPÍTULO I: Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da identificação da necessidade do desenvolvimento de uma metodologia capaz de medir riscos indiretos de operações com precisão e acurácia, garantindo a medição da eficácia da aplicação dos Princípios de Segurança na gestão de risco desenvolvida pelos licenciados e a redução da subjetividade dos julgamentos praticados pelos inspetores nas inspeções regulatórias.

A metodologia surge a partir da identificação da oportunidade de adaptação da metodologia de custeio baseado em atividades, criada pelo Prof. Robert S. Kaplan da *Harvard Business School* (KAPLAN, 1998).

No custeio baseado em atividades é possível medir custos indiretos de operações com precisão e acurácia, por meio da alocação eficaz dos recursos, num primeiro momento, às atividades e, num segundo momento, aos objetos de custo.

À semelhança, com a implementação da metodologia é possível garantir a medição com precisão e acurácia de riscos indiretos das operações, por meio da alocação eficaz dos recursos, num primeiro momento, às atividades e, num segundo momento, às notas aplicadas pelos inspetores durante uma inspeção regulatória.

I.1 Conceito de Avaliação de Risco

A revisão bibliográfica do arcabouço regulatório da área nuclear, permitiu identificar as seguintes definições para o conceito de avaliação de risco:

Conforme consta do parágrafo 3.15 da publicação emitida pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) de N° SF-1, intitulada: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), temos que:

3.15. A segurança deve ser avaliada para todas as instalações e atividades, de forma consistente com uma abordagem graduada. A avaliação da segurança envolve a análise sistemática da operação normal e dos seus efeitos, das formas como as falhas podem ocorrer e das consequências de tais falhas. As avaliações de segurança cobrem as medidas de segurança necessárias para controlar o perigo, e o projeto e os recursos de segurança projetados são avaliados para demonstrar que cumprem as funções de segurança que lhes são exigidas. Quando são

necessárias medidas de controle ou ações do operador para manter a segurança, deve ser realizada uma avaliação inicial da segurança para demonstrar que as medidas adotadas são robustas e que podem ser fiáveis. Uma instalação só pode ser construída e comissionada ou uma atividade só pode ser iniciada depois de ter sido demonstrado, a contento do órgão regulador, que as medidas de segurança propostas são adequadas.

No seu parágrafo 3.16 desta mesma publicação da AIEA, temos que:

3.16. O processo de avaliação de segurança para instalações e atividades é repetido, no todo ou em parte, conforme necessário posteriormente na condução das operações, a fim de levar em conta mudanças nas circunstâncias (como a aplicação de novos padrões ou desenvolvimentos científicos e tecnológicos), o feedback de experiência operacional, modificações e efeitos do envelhecimento. Para operações que continuam por longos períodos de tempo, as avaliações são revisadas e repetidas conforme necessário. A continuação de tais operações está sujeita a estas reavaliações que demonstrem, a contento do órgão regulador, que as medidas de segurança permanecem adequadas.

Na publicação da AIEA de N° GSR Part 3 elenca a avaliação de segurança em seu Décimo Terceiro Requisito Geral de Segurança estabelecendo que:

Requisito 13: Avaliação de segurança. O órgão regulador deverá estabelecer e fazer cumprir requisitos para avaliação de segurança, e a pessoa ou organização responsável por uma instalação ou atividade que dê origem a riscos de radiação deverá realizar uma avaliação de segurança adequada dessa instalação ou atividade.

Além disso, o parágrafo 1.2 da publicação da AIEA de N° GSR Part 4 - Avaliação de Segurança para Instalações e Atividades (*General Safety Requirements N° GSR Part 4 - Safety Assessment for Facilities and Activities*) estabelece como Requisito Geral de Segurança que:

1.2. As avaliações de segurança devem ser realizadas como um meio de avaliar o cumprimento dos requisitos de segurança (e, portanto, a aplicação dos princípios fundamentais de segurança) para todas as instalações e atividades e para determinar as medidas que precisam ser tomadas para garantir a segurança. As avaliações de segurança devem ser realizadas e documentadas pela organização responsável pela operação da instalação ou realização da atividade, devem ser verificados de forma independente e submetidos ao órgão regulador como parte do processo de licenciamento ou autorização.

No seu parágrafo 2.2 da publicação GSR Part 4, temos que:

2.2. Os Princípios Fundamentais de Segurança estabelecem dez princípios que se aplicam para alcançar este objetivo fundamental de segurança. Isto leva, entre outras coisas, à exigência da realização de uma avaliação de segurança.

Em apertada síntese, formado a partir das diversas definições reproduzidas em epígrafe, foi estabelecido, como premissa para o desenvolvimento da metodologia, o conceito de avaliação de risco para instalações radiativas ou nucleares, como sendo:

Sistemática de controle estabelecida por meio de métrica capaz de mapear os processos, subprocessos e atividades relevantes para atingir a eficácia na alocação dos recursos indispensáveis para garantir a minimização do risco cuja mensuração envolve elevada complexidade técnica, delimitação precisa de escopo e alto potencial de impacto resultante de eventuais falhas.

I.2 Motivação

Com base no conceito de avaliação de risco estabelecido em epígrafe, surge como principal pergunta a ser respondida: A gestão de Risco é eficaz? E, como consequência direta desta pergunta, surgem outras duas perguntas: (1) É possível garantir o efetivo cumprimento pelo licenciado dos Princípios de Segurança, preconizados pelos organismos internacionais de controle e fomento da área nuclear e radiativa, tais como: Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Nuclear Regulatory Commission (NRC), Nuclear Safety Commission (NSC), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) etc? E, (2) É possível garantir a efetiva redução da subjetividade das avaliações de risco produzidas pelo Órgão Regulador por meio da parametrização do treinamento dos Fiscais?

Responder a essas perguntas com precisão e acurácia, tornou-se o motor para o desenvolvimento da presente tese de doutorado por meio do desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de risco em Instalações Radiativas e Nucleares, que produza resultados numéricos com precisão e acurácia, com base na estruturação em árvore com diferentes níveis hierárquicos dos tópicos regulatórios avaliados e na parametrização dos critérios de julgamento dos inspetores do órgão regulador.

1.2.1 Contextualização do Problema

O processo de avaliação de risco de instalação nuclear ou radioativa é um processo muito complexo que envolve muitas particularidades técnicas relacionadas a cada área de aplicação específica, que pode ser dividido em duas fases diferentes e bem definidas: Avaliação de riscos diretos; e Avaliação de riscos indiretos.

A primeira é diretamente proporcional ao volume de produção, variando conforme o número de homens-horas de trabalho ou de horas-máquina gastas na produção, sendo profundamente desenvolvida, mapeada e controlada por diferentes técnicas, dentre as quais: análise por meio de árvore de falhas, de defesa em profundidade que envolve a avaliação das redundâncias e que medem os riscos diretos com base nas taxas de falha probabilística dos equipamentos, por meio do tratamento estatístico das séries históricas de eventos de falhas e da aplicação de modelos matemáticos bem desenvolvidos¹.

A segunda está diretamente relacionada às atividades que podem minimizar riscos por meio de um processo eficaz de alocação de recursos como, por exemplo, o processo de experiência operacional em usinas nucleares, que busca disseminar as lições aprendidas pela indústria mundial e semear a cultura de segurança, ambas alcançadas por meio de programas de incentivos aos relatos de quase acidentes, incidentes potenciais, quase acidentes, acidentes sem gravidade, acidentes com dano material, acidente com vítima(s) e acidente com vítima(s) fatal(is).

A metodologia visa estabelecer uma métrica capaz de avaliar o segundo tipo dentre as avaliações de risco definidas acima, por meio da quantificação numérica dos riscos indiretos das operações, garantindo a aplicação do estado da arte dessa temática e demonstrando a contribuição original desta pesquisa acadêmica².

¹ A. TUNC et al., “Some Measure Theoretic Issues in Probabilistic Dynamics”, Nuclear Science and Engineering, 155, 3, 497 (2007); <https://dx.doi.org/10.13182/NSE07-A2680>

² AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, “Incorporating Risk-Informed and Performance-Based Approaches/Attributes in ANS”, 3, 28, 22 (2022); https://www.ans.org/file/6137/RIPB_GD_Rev_Issued_3-28-22_4_Trial-Use.pdf

1.2.2 Conceito de Risco Indireto

O conceito de risco indireto está presente na rotinas das operações de risco, passando despercebido muitas vezes e pode ser melhor evidenciado a partir da constatação inevitável de que, ao lado de toda planta de produção industrial, que recebe insumos para serem transformados em produtos, sempre haverá uma planta industrial invisível, operando em paralelo à primeira, recebendo recursos a serem transformados por meio de atividades de minimização de risco em segurança (Figura 1).

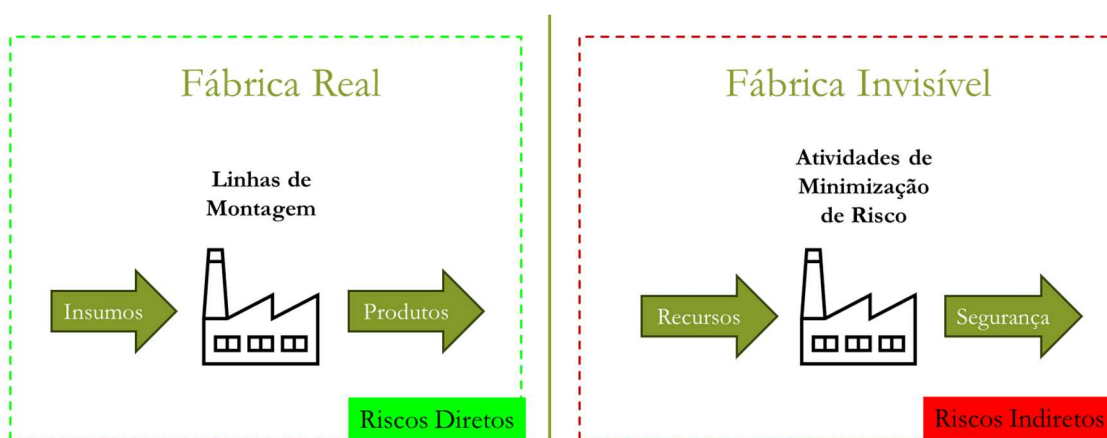


Figura 1: Planta Visível (Riscos Diretos) e Planta Invisível (Riscos Indiretos)

No passado, havia um equilíbrio entre os requisitos de avaliações de risco direto e indireto. Hoje em dia, devido a melhorias tecnológicas, como controladores lógicos programáveis de Inteligência Artificial, o processo de previsão de falhas de equipamentos é avaliado com muito mais precisão, reduzindo o peso do risco direto na avaliação geral de risco. Nesse contexto, a avaliação de risco indireto se tornou mais pesada na escala, resultando na questão: Como avaliar se um licenciado está em conformidade com os Princípios de Segurança recomendados por Organizações Internacionais, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Comissão Reguladora Nuclear (NRC), motivando a presente pesquisa acadêmica.

A Avaliação de Risco Parametrizada (ARP) de uma instalação radiativa ou nuclear é uma atividade de elevada complexidade, tanto pela especificidade técnica como pela necessidade de avaliação de processos, subprocessos e atividades de modo a caracterizar a implementação de um sistema de gestão de risco e de radioproteção eficaz, que garanta o efetivo cumprimento pelo licenciado dos Princípios de Segurança preconizados pelos organismos internacionais de controle e fomento da área nuclear e radiativa, tais como: Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Nuclear

Regulatory Commission (NRC), Nuclear Safety Commission (NSC), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) etc.

I.2.3 Referências Bibliográficas Relativas ao Tema

A sigla ARP, ou do idioma inglês: “*PRA*” (*Probabilistic Risk Assessment*), é mencionada em vários workshops e artigos da Área Nuclear relacionados à metodologia de Avaliação de Risco Probabilístico que explicitamente considera o elemento tempo na evolução do sistema probabilístico, quantifica os efeitos da variabilidade fenomenológica e incertezas, e é conduzida por ferramentas de análise de planta (por exemplo, RELAP, SAFIRA, RISK SPECTRUM)), para modelar possíveis dependências entre eventos de falha que podem surgir de interações hardware/software/humano.

Esta tese de doutorado propõe uma reflexão sobre a forma de classificar métodos de análise probabilística de risco propondo num primeiro nível de divisão a separação entre métodos de avaliação de risco direto e métodos de avaliação de risco indireto; e num segundo nível de divisão a separação relacionada às características de mensuração, seja por meio de indicadores de desempenho e parametrização, seja por meio de abordagens matemáticas e analíticas.

No futuro, esperamos que seja possível a quebra de paradigma que permitirá confirmar a existência do gênero “PRA” e de suas duas espécies chamadas de: “d-PRA” e “i-PRA”, que correspondem, respectivamente, às avaliações de riscos diretos probabilísticas ou parametrizadas e às avaliações de riscos indiretos probabilísticas ou parametrizadas.

A representação esquemática da proposta de reclassificação da sigla “PRA” é apresentada na Figura 2, separando a sigla PRA em duas vertentes: (1) D-PRA, relativa aos métodos Probabilísticos e Parametrizados existentes, para medir Riscos Diretos; e (2) I-PRA, que, no estágio atual de desenvolvimento da metodologia, entendemos ser relativa ao modelo parametrizado capaz de medir com precisão e acurácia a eficácia da alocação de recursos visando a minimização de Riscos Indiretos (“Fábrica Invisível”).

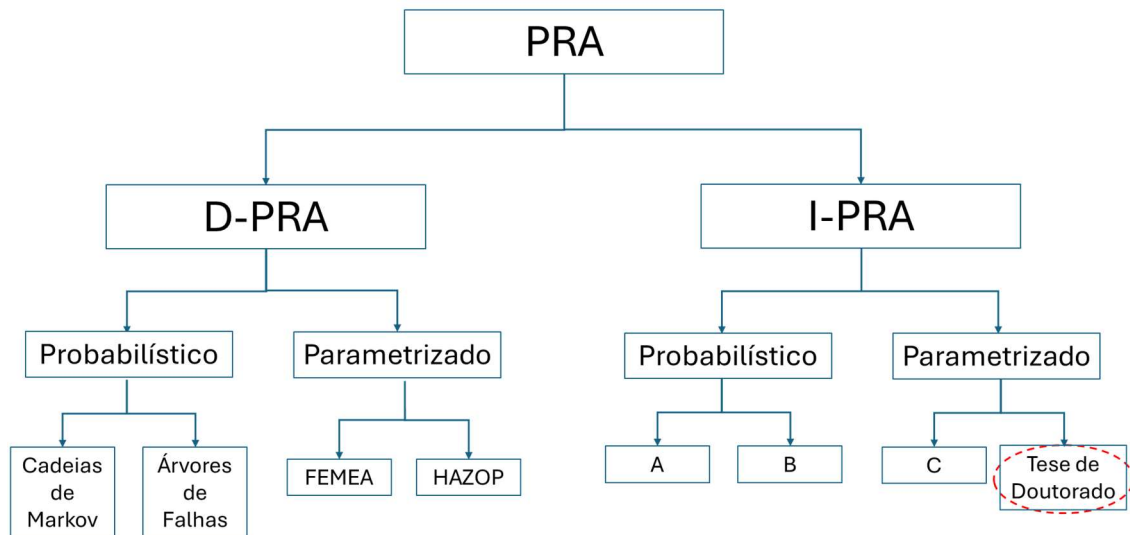


Figura 2: Organograma de Classificação de risco tendo PRA como um gênero que poderia ter “d-PRA” e “i-PRA” como espécies.

É bem conhecido que a Análise de Risco Probabilístico (PRA) foi iniciada pelo Professor Norman Rasmussen em seu artigo de referência WASH-1400 (NUREG-75/014). Desde então, houve inúmeros trabalhos envolvendo análise e modelagem de risco em diferentes áreas da tecnologia^{3, 4, 5}. A grande maioria desses trabalhos, no entanto, especialmente na área nuclear, visava modelar e estimar os riscos diretos de instalações, sistemas e componentes. Essas técnicas de avaliação de risco direto podem ser, por exemplo, classificadas em dois subconjuntos: i) métodos paramétricos ou baseados em índices^{6, 7} e ii) abordagens matemáticas baseadas em lógica booleana (árvores de falhas e eventos) ou estruturas de grafos (cadeias de Markov ou redes

³ F. ZHANG, K. KELLY, “Overview and Recommendations for Cyber Risk Assessment in Nuclear Power Plants”, Nuclear Technology, 209, 3, (2023); <https://www.ans.org/pubs/journals/nt/article-52875>

⁴ M. MODARRES, T. ZHOU, M. MASSOUD, “Advances in multi-unit nuclear power plant probabilistic risk assessment”, Reliability Engineering & System Safety, 157, 87 (2017); <https://ideas.repec.org/a/eee/reensy/v157y2017icp87-100.html>

⁵ H. ZHANG et al., “An Integrated Risk Assessment Process of Safety-Related Digital I&C Systems in Nuclear Power Plants”, Nuclear Technology, 209, 3 (2023); <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00295450.2022.2076486>

⁶ L. BURGAZZI, “Failure Mode and Effect Analysis Application for the Safety and Reliability Analysis of a Thermal-Hydraulic Passive System”. Nuclear Technology, 156, 2, 2006; <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.13182/NT06-A3781>

⁷ P. YARSKY et al., “Risk Plus Some Attributes (R + SA): A New Risk-Informed Method for Prioritizing Inspection Activities During New Fuel Facility Construction”, Nuclear Technology, 211, 2, 358 (2025); <https://doi.org/10.1080/00295450.2024.2326375>

bayesianas). Também houve inúmeros trabalhos realizados na área nuclear nesta segunda classe de métodos de avaliação de risco direto^{8, 9, 10}.

Nenhum dos artigos acima mencionados, no entanto, visava avaliar o desempenho das organizações como um todo. Embora não esteja dentro do escopo dos métodos PRA, a referência¹¹ apresenta um estudo paramétrico que visa medir o desempenho de órgãos reguladores no setor nuclear.

Com enfoque na área de fatores humanos, podemos citar a contribuição da tese de doutorado¹² intitulada: Tomada de Decisão de Operadores de Usinas Nucleares, que, embora trata do tema de avaliação de risco, enfoque análise de riscos diretos.

À luz do que foi superficialmente apresentado no parágrafo anterior, após detalhada pesquisa bibliográfica, pode-se afirmar que a metodologia da presente tese de doutorado é pioneira e original, sendo classificada como um método paramétrico para avaliação do risco indireto de organizações setoriais, especificamente, com aplicação direta no setor nuclear.

E ainda, quanto à originalidade do tema, a metodologia tem um aspecto que a diferencia de todas as outras, pois é aplicada aos licenciados em inspeções regulatórias de licenciados que alimentam e definem os indicadores, sua importância e seus pesos, sendo auto construtiva. Por isso, não necessita de pesquisas de opinião com especialistas ou amostragem como nas técnicas convencionais, testes de materiais para determinar taxas de falhas etc. No nosso caso, a abordagem da metodologia define sua importância e seus pesos e indicadores, no processo de definição de direcionadores de risco da atividade, sendo autoajustável e auto modelável, característica absolutamente original,

⁸ H. BUI et al., “An algorithm for enhancing spatiotemporal resolution of probabilistic risk assessment to address emergent safety concerns in nuclear power plants panel”, Reliability Engineering & System Safety, 185, 405 (2019); <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.01.004>

⁹ D. MANDELLI, A. ALFONSI, A. TUNC, “Automatic Generation of Event Trees and Fault Trees: A Model-Based Approach”. Nuclear Technology, 9, 11, 1653 (2023); <https://doi.org/10.1080/00295450.2022.2105780>

¹⁰ D. DIONIZIO et al., “Availability of the Emergency Safety Electrical System of a Konvoi Nuclear Power Plant Considering Mobile Arrangements of Diesel Generators After Fukushima”, Nuclear Technology, 210, 3, 436 (2024); <https://doi.org/10.1080/00295450.2023.2229182>

¹¹ J. CARVALHO et al., “A Method for Monitoring and Evaluating the Management of a Nuclear Regulatory Body Using a New Approach for Cross-Cutting Indicators”, 208, 10, 1562 (2022)

¹² CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues de. A Ergonomia e a Gestão de Risco em Organizações que Lidam com Tecnologias Perigosas: Tomada de Decisão de Operadores de Usinas Nucleares. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2003.

resultante da adaptação da metodologia Activity-Based Costing e Activity-Based Management.

I.3 Objetivo da Pesquisa

O objetivo da metodologia ARP é comprovar a viabilidade da estruturação de uma Avaliação de Risco capaz de gerar pontuação numérica percentual, comparável ao longo do tempo, tendo como diferencial a adaptabilidade a modificações metodológicas e a alterações do arcabouço regulatório do setor nuclear.

I.4 Contribuição Original

Visando demonstrar a contribuição original do tema da pesquisa, é necessário definir os seguintes conceitos fundamentais:

- A acurácia destaca a proximidade dos resultados em relação ao valor verdadeiro, enquanto a precisão destaca a consistência e repetibilidade das medições.
- A replicabilidade significa que um resultado obtido por um experimento ou estudo observacional deve ser alcançado novamente com alto grau de concordância quando o estudo é replicado com a mesma metodologia por diferentes pesquisadores.

A presente de tese de doutorado visa desenvolver uma metodologia de Avaliação de Risco Parametrizada (ARP) que permita medir riscos indiretos com precisão e acurácia pela triagem do arcabouço regulatório do setor nuclear, estruturação em árvore das atividades de minimização de risco e definição de notas de eficácia ponderadas por direcionadores de risco via modelagem matemática capaz de garantir replicabilidade, adaptabilidade e evolução no tempo.

É inegável a relevância do tema tendo em vista a necessidade de regulação e controle das atividades relativas à fiscalização, à regulação e ao licenciamento de instalações radiativas e nucleares, seja pelo controle de fontes radioativas, pela segurança e proteção radiológica dos trabalhadores e do público em geral, pela qualidade dos serviços prestados à população no tratamento de doenças via medicina nuclear ou pela

geração de energia termonuclear, de modo a garantir a minimização dos riscos inerentes a tais práticas.

A adoção da metodologia ARP é fundamental, por estar fundamentada na adoção de critério científico que garantirá resultados numéricos idênticos para duas avaliações de risco ARP aplicadas às cegas, por dois inspetores distintos, simultaneamente em determinada instalação radiativa ou termonuclear, comprovando assim a cientificidade do modelo.

I.5 Estruturação da Tese

O capítulo I traz a introdução ao tema da tese elencando a sua motivação, a contextualização do problema, a revisão bibliográfica realizada, o objetivo a ser alcançado e as contribuições da metodologia, a relevância do tema para a área nuclear e radiológica e a inovação da metodologia demonstrando o que falta aperfeiçoar no assunto.

O capítulo II apresenta a origem, as definições preliminares, o modelo lógico e os tipos de Direcionadores de Risco da metodologia ARP visando atingir a acurácia na medição de riscos indiretos.

O capítulo III apresenta o roteiro de implementação da Metodologia ARP e a sistemática para a estruturação em árvore dos processos, subprocessos e atividades com base na metodologia da Análise de Processo do Negócio.

O capítulo IV apresenta a aplicação da Metodologia ARP ao Setor Nuclear Brasileiro nas áreas de gamagrafia e medidores nucleares, resultando na obtenção da pontuação máxima alcançável por um licenciado nessas duas áreas de aplicação industrial.

O capítulo V apresenta a modelagem matemática empregada para gerar os resultados numéricos alcançados pela metodologia ARP e a comparação dos resultados obtidos mediante a aplicação da Metodologia ARP ao Setor Nuclear brasileiro nas fases embrionária e atual.

O capítulo VI apresenta a análise de fragilidade da metodologia, os pré-requisitos para implementação da metodologia ARP, as barreiras de segurança propostas

para combater à fragilidade da metodologia e o roteiro de cálculo para estimar o desvio máximo tolerável e a proposta para o desenvolvimento de futuras pesquisas por meio da adoção da lógica Fuzzy.

O capítulo VII apresenta as conclusões decorrentes do potencial emprego da metodologia ARP na área nuclear no Brasil, garantindo: a estruturação em árvore da avaliação de riscos, indispensável para formatar planos de ação nos níveis estratégico, tático e operacional; a comparabilidade intertemporal dos resultados; a tomada de decisões estratégicas, permitindo antecipar eventos indesejáveis como, por exemplo, a necessidade de cassar a licença de operação de um licenciado da área de medicina nuclear, numa região carente de outros licenciados; a autoaprendizagem e adaptabilidade intrínsecas e decorrentes da implementação da metodologia ARP; a parametrização de critérios de julgamento dos inspetores reduzindo a subjetividade das avaliações de risco; e a gestão do conhecimento com a difusão da cultura de segurança.

CAPÍTULO II: Avaliação de Risco Parametrizada (ARP)

II.1 Origem

Até a década de 70, a gestão por números era suficiente para garantir vantagem competitiva baseada na redução de custos alcançada por economias de escala baseadas no aumento do volume de produção das linhas de montagem devido ao modelo de produção de Henry Ford.

Depois disso, a competição passou a ser baseada em qualidade e flexibilidade com foco nas atividades que agregavam valor ao cliente, quando surgiu a Gestão Baseada em Atividades (ABM) através do modelo Toyota de Produção. A ABM forneceu excelentes ferramentas já utilizadas em muitas empresas, divididas em dois braços: (1) o braço operacional, como o JIT (*Just-in-Time*) e o TQM (*Total Quality Management*) e (2) o braço econômico, o ABC (*Activity Based Costing*), desenvolvido pelo Professor Robert S. Kaplan da *Harvard Business Schools*, visando garantir a otimização dos retornos sobre os investimentos (NAKAGAWA, 1994:23).

Esta tese propõe estabelece o terceiro braço da ABM por meio do desenvolvimento da Metodologia de Avaliação de Riscos Parametrizada que visa atingir a minimização de riscos indiretos (Figura 3).

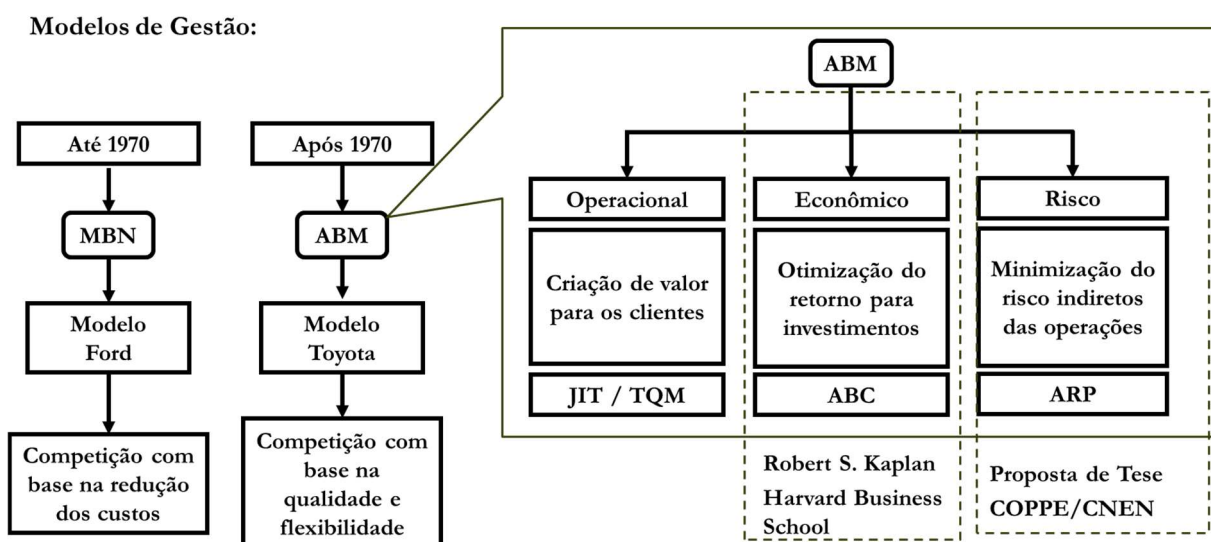


Figura 3: Referencial Teórico da Metodologia de Avaliação de Risco Parametrizada (ARP)

A metodologia de Avaliação de Riscos Parametrizada tem origem na modelagem de Custeio Baseado em Atividades, que considera a análise de Gestão Baseada em

Atividades para garantir a eficácia do processo de mensuração dos custos indiretos, que não são diretamente proporcionais ao volume de produção nas indústrias, desde seu início, com base na afirmação lógica de que qualquer organização empresarial gasta recursos para executar atividades voltadas ao desenvolvimento de produtos ou outros objetos.

A complexidade inerente ao processo de medição de custos indiretos, solucionada pela adoção da metodologia de custeio baseado em atividades, é semelhante ao processo de avaliação de risco indiretos em indústrias que envolvem operações de alto risco. De forma análoga aos métodos de custeio, que tratam da mecânica de alocação de custos, propomos a criação da metodologia ARP, que trata da mecânica de alocação de riscos indiretos, como será detalhado ao longo desse capítulo.

A medição de riscos em indústrias pode envolver dois tipos de avaliações: (1) Avaliação de Riscos Diretos, que são aqueles diretamente relacionados ao número de horas-máquina ou ao volume de produção e que são estimados por meio de metodologias como a de árvores de falhas, que traçam diferentes cenários compondo uma matriz de risco correlacionando a probabilidade de ocorrência de determinado evento com a gravidade da sua ocorrência. Como exemplo, temos a apuração estatística da probabilidade de quebra dos componentes de um sistema de combate a incêndio de uma usina nuclear, com os respectivos índices de falha associados a cada componente e a provável consequência daquela hipótese; e (2) Avaliação de Riscos Indiretos, que são aqueles inerentes aos processos, subprocessos e atividades realizados para garantir a minimização de risco das operações com cargas e materiais perigosos, como os radioativos, por exemplo.

Os sistemas tradicionais de avaliação de risco medem com precisão riscos proporcionalmente ao número de itens produzidos. Contudo, existem muitos outros riscos em uma organização que decorrem de atividades não diretamente relacionadas com o volume físico das unidades produzidas. Em consequência, os sistemas tradicionais de avaliação de risco apresentam distorções ou sequer apuram a eficiência dos processos, subprocessos e atividades voltados para a minimização de risco, carecendo de uma métrica capaz de identificar aqueles que devem ser estimulados e eliminar atividades com baixa eficácia na alocação de recursos que resultem em menos risco.

Usualmente, empresas se organizam com especialistas de formação semelhante, os quais formam centros de conhecimentos e habilidades capazes de executar tarefas em grupos funcionais verticais específicos para cada especialidade. Porém, nem sempre os processos fluem na vertical, mas entre departamentos, fato que dificulta a apuração da eficácia de alocação de recursos visando a minimização dos riscos, devido à impossibilidade de relacionar o recurso com a atividade que de fato o consome (Figura 4).

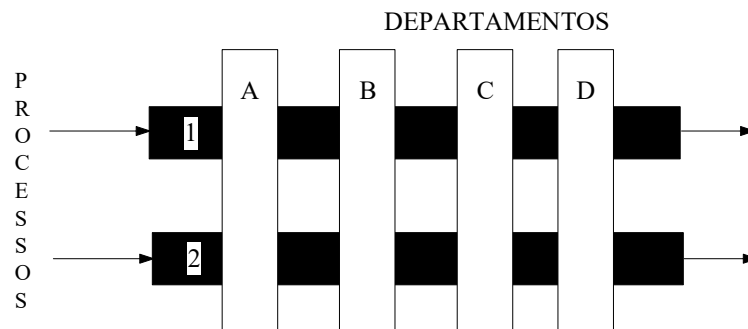


Figura 4: Fluxo horizontal do trabalho versus estruturas departamentais verticais das organizações

A importância do emprego da metodologia de avaliação de risco ARP é demonstrada pelo fato de que se observarmos qualquer processo produtivo industrial, veremos que ao lado de toda fábrica existente no mundo real, por onde fluem as operações com insumos numa linha de montagem como a de automóveis, por exemplo, existe uma outra fábrica invisível, e paralela à primeira, por onde fluem diversos processos de minimização de risco das operações cruzando horizontalmente diversos departamentos verticalizados da organização, de modo a viabilizar a produção do produto acabado da empresa.

Para resolver esse problema, a Análise de Processo do Negócio (*Business Process Analysis - BPA*) começa dividindo os processos em atividades e estas se tornam o ponto focal para identificar oportunidades de melhoria dos processos. De forma semelhante, a ARP primeiro organiza todos os padrões de segurança que deseja vincular às atividades em grupos de risco indireto com base na análise BPA, para gerar as pontuações de eficácia da alocação de recursos para avaliar as atividades de minimização de risco (Figura 5).

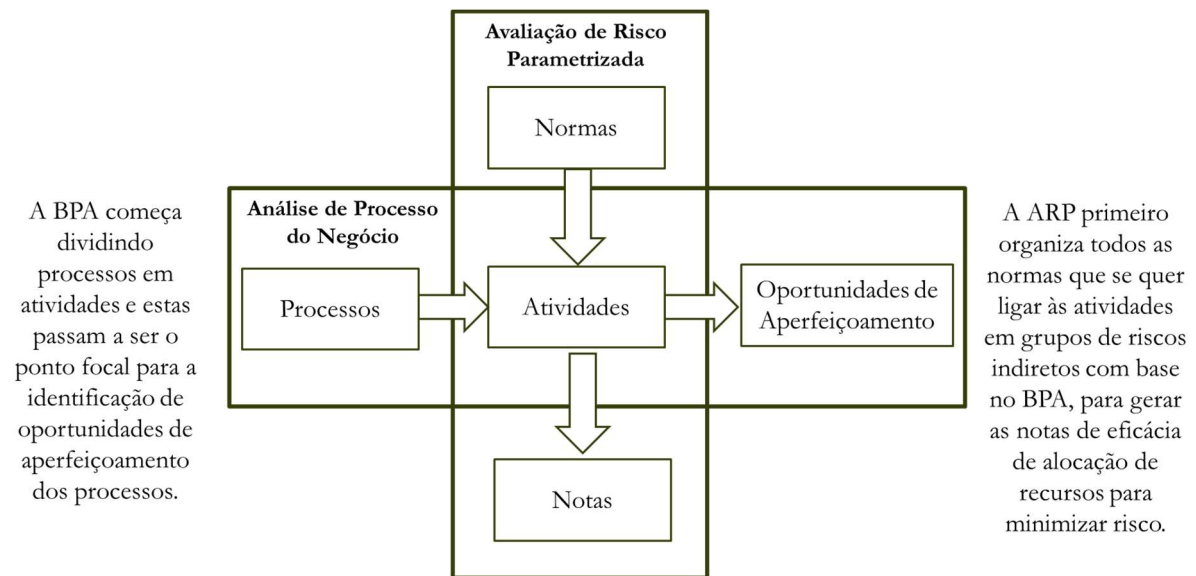


Figura 5: Análise de Processo do Negócio x Avaliação de Risco Parametrizada

Em apertada síntese, a análise de processo do negócio pode ser definida como sendo:

- Conjunto de ferramentas e técnicas que visa identificar processos e dividi-los em atividades, garantindo sua profunda compreensão e melhoria continua.
- Uma etapa preliminar à implementação de outras técnicas, dentre as quais o custeio baseado em atividades (ABC) e a avaliação de risco parametrizada (ARP).

Portanto, essa tese utiliza conceitos e técnicas, oriundas da análise de processo do negócio e da metodologia de custeio baseado em atividades, que adaptados permitem à metodologia ARP:

- Estabelecer uma base para se gerenciar os riscos indiretos a partir de vários ângulos ou objetivos; e
- Entender por que um risco indireto requer maior alocação de recursos do que outro e a ação corretiva a ser executar e auxiliar na tomada de decisões estratégicas de longo prazo.

II.2 Definições Preliminares

II.2.1 Normas

Normas, no enfoque da metodologia ARP, são o resultado da triagem do arcabouço normativo daquele setor produtivo correlacionados com os processos, subprocessos e atividades realizados por uma organização visando garantir a minimização de risco.

II.2.2 Atividades

As atividades triadas são transformadas em perguntas-diretas a serem formuladas pelo inspetor ao licenciado no momento da Avaliação de Risco Parametrizada capazes de avaliar o grau de efetividade da transformação dos recursos pelas atividades com o objetivo de garantir a minimização do risco operacional.

II.2.3 Direcionadores de Risco

Critérios para alocação de riscos indiretos às atividades e às pontuações do inspetor.

II.2.4 Notas

Valores numéricos resultantes do julgamento do inspetor quanto à qualidade das evidências objetivas materiais ou imateriais apresentadas pelo licenciado, numa escala parametrizada.

II.2.5 Evidências Objetivas

Rol não-taxativo de provas materiais ou imateriais a serem coletadas pelo inspetor no momento da avaliação de risco parametrizada capazes de atestar a efetividade da alocação de recursos, garantindo a minimização do risco.

II.3 Modelo Lógico da Metodologia ARP

A metodologia de avaliação de risco parametrizada é uma técnica de avaliação de risco, que tem por finalidade garantir a acurácia na avaliação da alocação de recursos visando a minimização de risco.

O modelo lógico da metodologia ARP, estabelece dois estágios bem definidos: avaliação de risco atividade e avaliação de risco real, que, por meio dos chamados direcionadores de risco, relacionam normas, atividades e notas do inspetor (Figura 6).

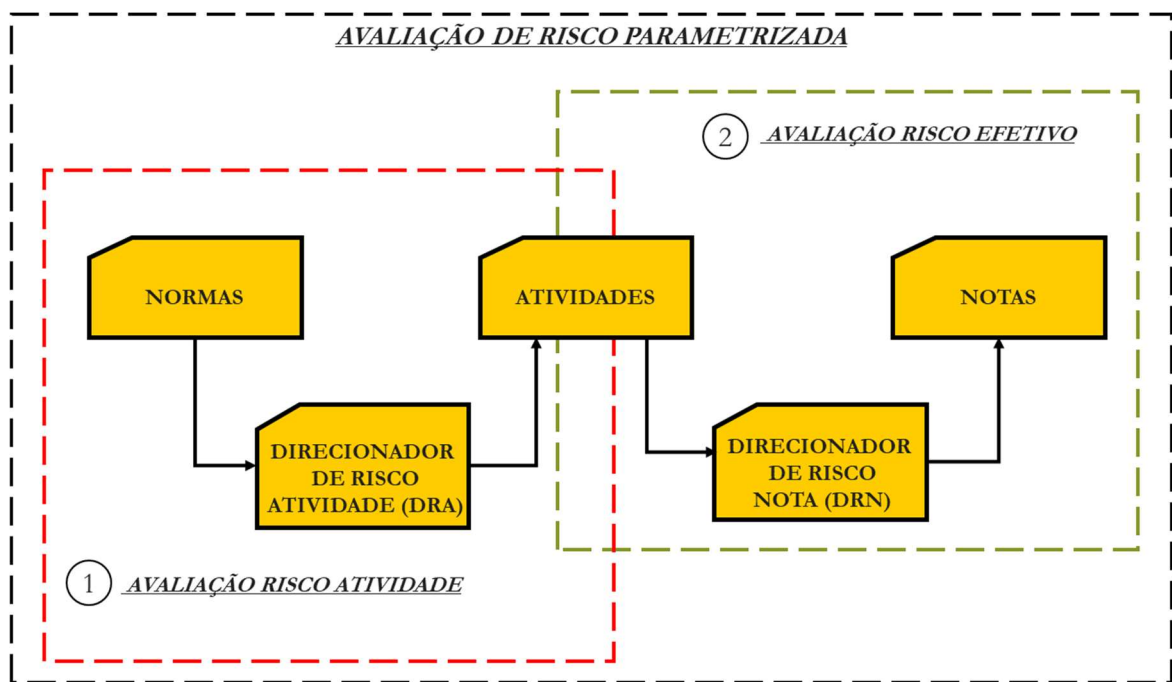


Figura 6: Modelo Lógico da ARP

A etapa de avaliação de risco da atividade envolve o desenvolvimento de duas ações principais: (1) Triagem do arcabouço regulatório de segurança do setor para produzir uma estrutura em árvore de processos, subprocessos e atividades; e (2) Avaliação das atividades de risco da organização com definição dos direcionadores de risco da atividade (ARD). A etapa de avaliação de risco efetiva requer: (3) Análise dos resultados anteriores para definir os direcionadores de risco de pontuação (SRD); e (4) Definição dos valores das classes de risco com base na classificação ABC de Pareto para obter a avaliação de risco efetiva (Figura 7).

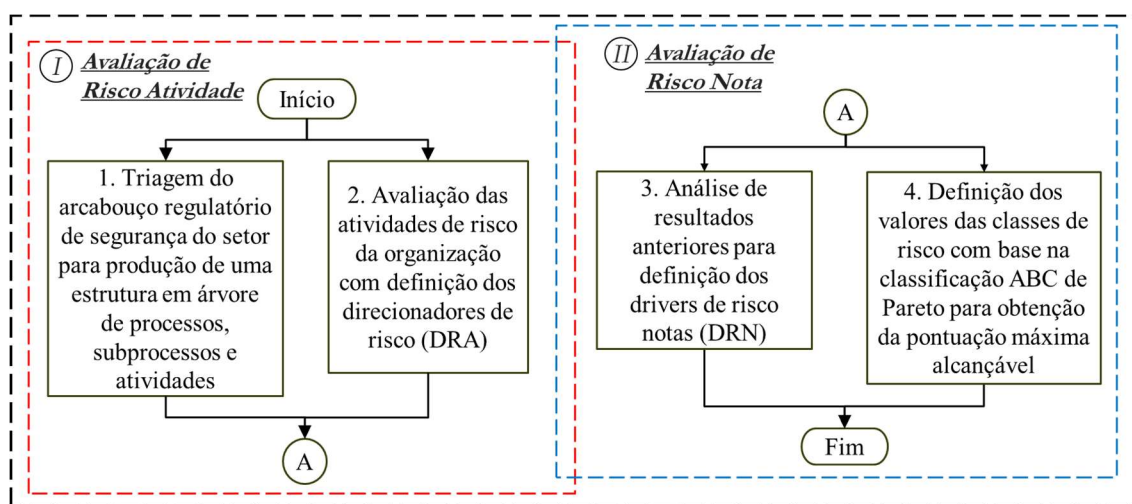


Figura 7: Avaliação de Risco Atividade e Avaliação de Risco Efetivo

A etapa 1 da modelagem de sistemas de avaliação de risco parametrizada prevê a triagem do arcabouço regulatório do setor e resulta na estruturação em árvore dos processos, subprocessos e atividades da organização.

A etapa 2 da modelagem de sistemas de avaliação de risco parametrizada tem início pela definição das classes de direcionadores de risco atividade (DRA), com base na análise realizada na etapa anterior.

A etapa 3 da modelagem de sistemas de avaliação de risco parametrizada se inicia pela análise das perguntas-diretas definidas na etapa anterior, para que possam ser estabelecidos os direcionadores de risco nota (DRN), que correspondem às métricas capazes de delimitar os parâmetros do julgamento a ser feito pelo inspetor, a partir da avaliação das evidências objetivas apresentadas durante a avaliação de risco parametrizada.

A etapa 4 da modelagem de sistemas de avaliação de risco parametrizada consiste no reagrupamento por classes de risco, com base na classificação ABC de Pareto, obtendo o risco por subprocessos, processos e global.

II.4. Tipos de Direcionadores de Risco

Existem dois tipos de direcionadores de risco na metodologia da ARP:

- **Direcionador de Risco Atividade (DRA):** Critério capaz de correlacionar padrões a atividades, definindo o peso relativo a ser atribuído a cada questão

direta por grupo temático inerente a cada processo, subprocesso e atividade de minimização de risco, que combina impacto e probabilidade de ocorrência do risco ou combina método de avaliação e frequência com que as atividades de minimização de risco são realizadas; e

- **Direcionador de Risco Nota (DRN):** Critério capaz de correlacionar atividades às pontuações do inspetor, por meio de perguntas diretas, estabelecendo a métrica capaz de delimitar os parâmetros do julgamento das evidências objetivas apresentadas durante a avaliação de risco parametrizada, que é uma medida qualitativa ou quantitativa da frequência, duração e intensidade com que as atividades de minimização de risco são realizadas.

CAPÍTULO III: Implementação da Metodologia ARP

III.1 Roteiro para Implementação da ARP

A sistemática de implementação do ARP é detalhada nos fluxogramas a seguir, tendo como objetivo identificar a pontuação máxima possível de ser atingida por um licenciado numa avaliação de risco parametrizada (Figura 8, Figura 9 e Figura 10).

Uma vez definida a pontuação máxima possível de ser atingida por um licenciado, deve ser aplicada a metodologia ARP sobre toda população de licenciados do setor nuclear, de modo a garantir: (1) a tomada de decisões estratégicas que garantam a melhor alocação de recursos entre as atividades de minimização de risco; e (2) a comparabilidade dos resultados entre licenciados dentro daquela rodada de avaliações de risco.

Posteriormente, caso as perguntas-diretas formuladas se tornem obsoletas, é possível substituí-las ou rever seus pesos-relativos e, ainda assim, a metodologia ARP garante a comparabilidade intertemporal, por ter seu resultado aferido em bases percentuais.

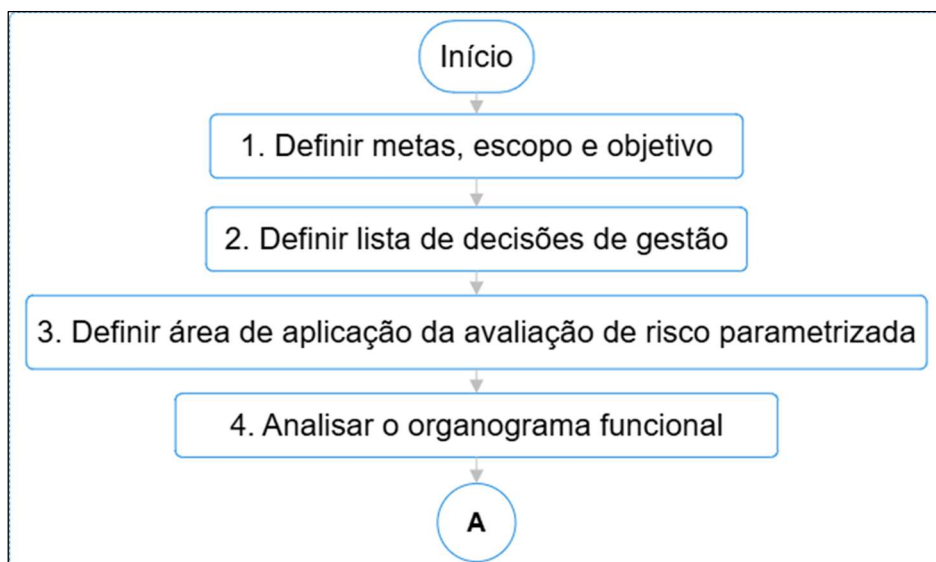


Figura 8: Requisitos para Implementação da Metodologia ARP

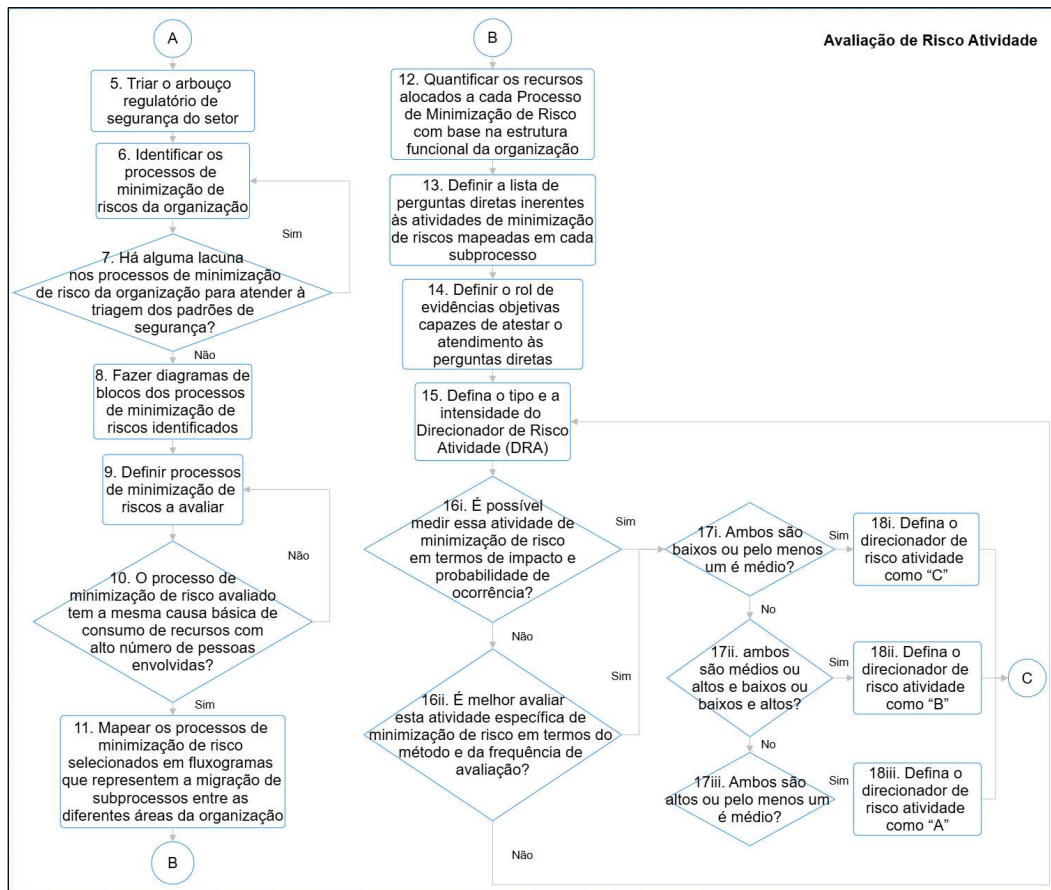


Figura 9: Fluxograma de Implementação da Avaliação de Risco Atividade

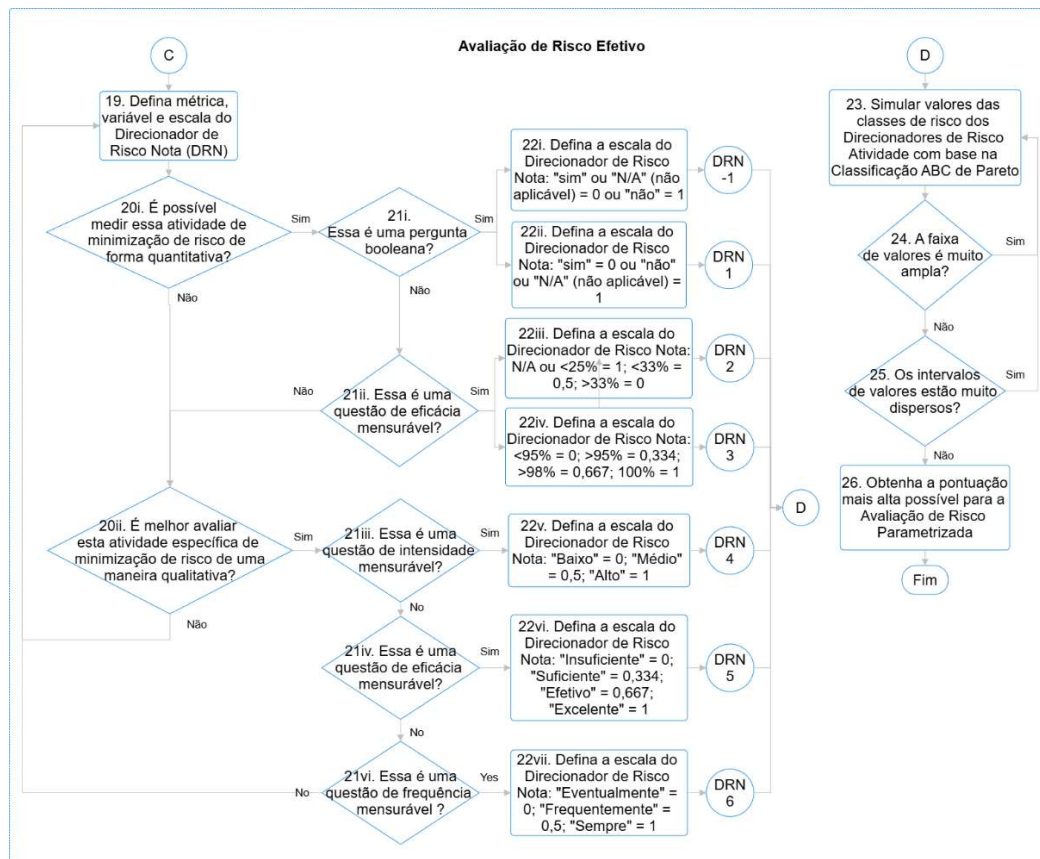


Figura 10: Fluxograma para Implementação da Avaliação de Risco Efetivo

III.2 Modelo de Quatro Estágios

Nos passos de 1 a 4 do fluxograma de implementação da ARP (Figura 8), temos conceitos oriundos da Teoria da Análise de Processos do Negócio (*Business Process Analysis - BPA*), que devem ser empregados para definir o escopo, as metas e os objetivos a serem alcançados pela Avaliação de Risco Parametrizada.

Nos passos de 5 a 18 (Figura 9), temos a triagem do arcabouço regulatório de segurança do setor, a estruturação em árvore dos processos, subprocessos e atividades mapeados e a definição dos Direcionadores de Risco Atividade, concluindo a fase intitulada Avaliação de Risco Atividade.

Nos passos de 19 a 26 (Figura 10), temos a dos Direcionadores de Risco Nota e as Simulações dos Valores das Classes de Risco, resultando na pontuação máxima possível de ser atingida por um licenciado, completando a fase intitulada Avaliação de Risco Efetivo.

Estruturação em Árvore dos Processos, Subprocessos e Atividades que requer a elaboração o mapeamento dos processos em fluxogramas funcionais da organização com o objetivo de identificar aqueles cujas decisões gerenciais produzem maior impacto em termos de minimização de riscos indiretos das operações.

Em função da complexidade dos processos mapeados, é necessário delimitar a área de aplicação da ARP, que pode: (1) abarcar integralmente toda instalação, como no caso da aplicação detalhada no capítulo IV; ou (2) se limitar a um processo específico ou grupo de processos, a depender do grau de complexidade da instalação, como no caso das instalações termo-nucleares, elencadas como futuras contribuições decorrentes dessa pesquisa acadêmica.

CAPÍTULO IV: Metodologia ARP Aplicada ao Setor Nuclear Brasileiro

IV.1 Triagem do Arcabouço Regulatório de Segurança do Setor Nuclear

Na primeira etapa do processo de implementação da ARP, a triagem do Arcabouço Regulatório Nuclear considerou os guias de segurança da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que é representada por sua hierarquia piramidal em uma sequência de cima para baixo: Fundamentos, Requisitos e Padrões (Figura 11).

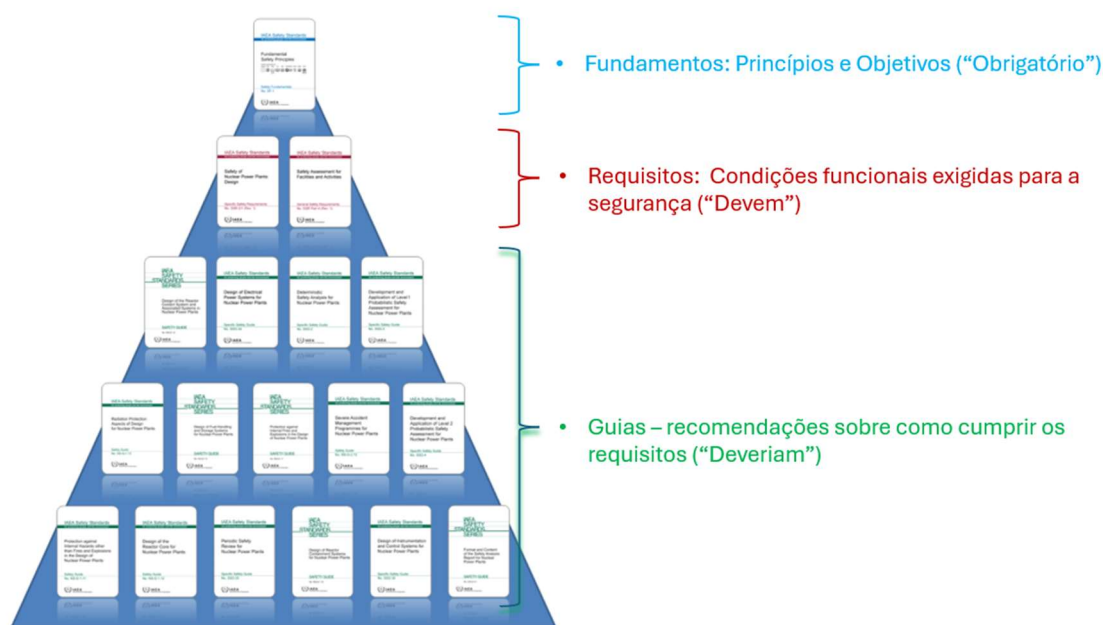


Figura 11: Formato Piramidal da estrutura hierárquica do arcabouço regulatório da AIEA

IV.1.1 Estatuto da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)

Em 1956, foi aprovado o Estatuto da Agência Internacional de Energia Atômica, que define como objetivo da sua criação, o trecho reproduzido abaixo, contido no artigo II:

A Agência procurará acelerar e ampliar a contribuição da energia atômica para a paz, a saúde e a prosperidade em todo o mundo. Deverá assegurar, na medida do possível, que a assistência prestada por si, ou a seu pedido, ou sob a sua supervisão ou controle, não seja utilizada de forma a promover quaisquer fins militares.

E, como uma de suas funções, incentivar e apoiar o desenvolvimento e a prática da energia atômica, conforme o trecho reproduzido abaixo, contido no artigo III, A.1:

Incentivar e apoiar a investigação, o desenvolvimento e a aplicação prática da energia atômica para utilizações pacíficas em todo o mundo; e, se solicitado, atuar como intermediário para fins de garantir a execução de serviços ou o fornecimento de materiais, equipamentos ou instalações de um membro da Agência para outro; e realizar qualquer operação ou serviço útil na investigação, desenvolvimento ou aplicação prática da energia atômica para fins pacíficos.

E, ainda como outra função, estabelecer padrões de segurança, conforme o trecho contido no artigo III, A.6, que estabelece:

Estabelecer ou adotar, em consulta e, quando apropriado, em colaboração com os órgãos competentes das Nações Unidas e com as agências especializadas envolvidas, **padrões de segurança** para proteção da saúde e minimização do perigo para a vida e a propriedade (incluindo tais padrões condições de trabalho), e prever a aplicação destas normas às suas próprias operações, bem como às operações que utilizam materiais, serviços, equipamentos, instalações e informações disponibilizadas pela Agência ou a seu pedido ou sob seu controle ou supervisão; e prever a aplicação destas normas, a pedido das partes, a operações no âmbito de qualquer acordo bilateral ou multilateral, ou, a pedido de um Estado, a qualquer uma das atividades desse Estado no domínio da energia atômica. (Grifos nossos)

IV.1.2 Hierarquia das Normas da AIEA

A hierarquia dos Padrões de Segurança da Agência Internacional de Energia Atômica, AIEA (*IAEA Safety Standards*), é estruturada em três níveis:

Nível 1: Fundamentos da Segurança (*Safety Fundamentals*) – SF1

Situada no topo da pirâmide dos Padrões de Segurança emitidos pela AIEA, contém os princípios fundamentais de segurança, conceitos de segurança que fornecem as bases base para os requisitos de segurança da AIEA e seu programa relacionado à segurança.

Define que o objetivo fundamental de segurança é proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos nocivos das radiações ionizantes. Estabelece que foram formulados dez princípios de segurança, com base nos quais são desenvolvidos requisitos de segurança e devem ser implementadas medidas de segurança para atingir o objetivo fundamental de segurança. Os princípios de segurança formam um conjunto aplicável na sua totalidade, embora, na prática, diferentes princípios possam ser mais ou menos

importantes em relação às circunstâncias específicas, sendo necessária a seleção adequada dos princípios relevantes.

Princípio 1: Responsabilidade pela segurança. A principal responsabilidade pela segurança deve recair sobre a pessoa ou organização responsável pelas instalações e atividades que dão origem a riscos de radiação.

Princípio 2: Papel do governo. Deve ser estabelecido e sustentado um quadro jurídico e governamental eficaz para a segurança, incluindo um órgão regulador independente.

Princípio 3: Liderança e gestão para a segurança. A liderança e gestão eficazes para a segurança devem ser estabelecidas e sustentadas nas organizações preocupadas com os riscos de radiação e nas instalações e atividades que lhes dão origem.

Princípio 4: Justificação das instalações e atividades - As instalações e atividades que dão origem a riscos de radiação devem produzir um benefício global.

Princípio 5: Otimização da proteção. A proteção deve ser otimizada para fornecer o mais alto nível de segurança que possa ser razoavelmente alcançado.

Princípio 6: Limitação dos riscos para os indivíduos. As medidas para controlar os riscos de radiação devem garantir que nenhum indivíduo corre um risco inaceitável de danos.

Princípio 7: Proteção das gerações presentes e futuras. As pessoas e o ambiente, presente e futuro, devem ser protegidos contra os riscos da radiação.

Princípio 8: Prevenção de acidentes - Todos os esforços práticos devem ser feitos para prevenir e mitigar acidentes nucleares ou de radiação.

Princípio 9: Preparação e resposta a emergências - Devem ser tomadas medidas para preparação e resposta a emergências para incidentes nucleares ou de radiação.

Princípio 10: Ações de proteção para reduzir os riscos de radiação existentes ou não regulamentados - As ações de proteção para reduzir os riscos de radiação existentes ou não regulamentados devem ser justificadas e otimizadas.

Nível 2: Requisitos da Segurança (*Safety Requirements*)

Publicações que estabelecem os requisitos que devem ser cumpridos para garantir a proteção das pessoas e do ambiente, tanto agora como no futuro. Os requisitos são regidos pelos objetivos e princípios dos Fundamentos de Segurança. Se os requisitos não forem cumpridos, devem ser tomadas medidas para atingir ou restaurar o nível de segurança exigido. O formato e o estilo dos requisitos facilitam a sua utilização para o estabelecimento, de forma harmonizada, de um quadro regulamentar nacional. Os requisitos são expressos como declarações do tipo “devem”. Muitos requisitos não são endereçados a uma parte específica, o que implica que as partes apropriadas são responsáveis pelo seu cumprimento.

Nível 3: Guias de Segurança (*Safety Guides*)

Os Guias de Segurança fornecem recomendações e orientações sobre como cumprir os requisitos de segurança, indicando um consenso internacional das medidas recomendadas a serem tomadas. Os Guias de Segurança apresentam boas práticas internacionais e refletem cada vez mais as melhores práticas, visando ajudar aos utilizadores que se esforçam por alcançar elevados níveis de segurança. As recomendações fornecidas nos Guias de Segurança são expressas como declarações do tipo “deveriam”.

A página da AIEA na internet traz ainda duas representações esquemáticas para auxiliar no entendimento da estrutura hierárquica de suas publicações: (1) representação na forma de Roda de Padrões de Segurança da AIEA, que contempla todas as publicações recentes da AIEA, classificadas de acordo com as áreas temáticas (Figura 12); e (2) representação em forma de organograma dos três níveis de publicações da IAEA (Figura 13).

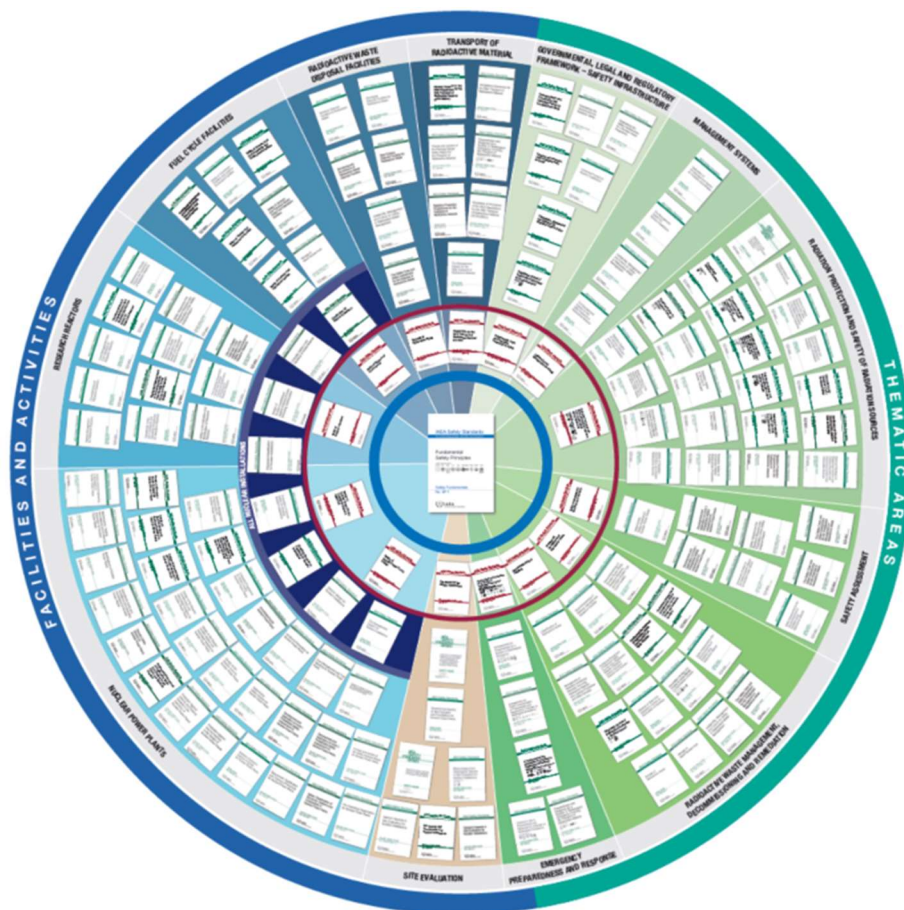


Figura 12: Roda de Padrões de Segurança da IAEA

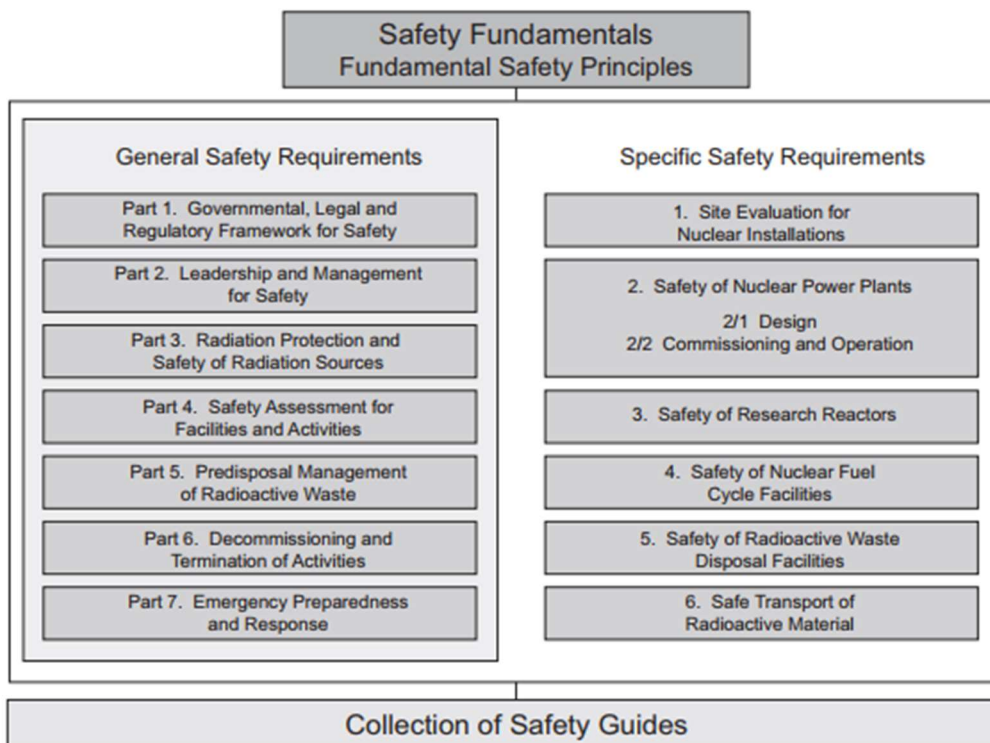


Figura 13: Organograma dos três níveis de publicações da IAEA

IV.1.3 Pesquisa Bibliográfica (Publicações da AIEA)

Com base no Princípio 5 e no parágrafo 3.24 da publicação da AIEA N° SF-1, reproduzidos abaixo, foi elaborada a modelagem estruturada em árvore para Avaliações de Segurança em Inspeções Regulatórias objetivando a otimização da proteção no nível mais alto de segurança que possa ser razoavelmente alcançado por meio do mapeamento dos processos e atividades inerentes à implementação do sistema de radioproteção e de segurança em tantos níveis hierárquicos quanto se façam necessários, para a obtenção de resultados, com acurácia e precisão, capazes de mensurar os riscos inerentes às operações com radiação ionizante com transparência, desde o nível hierárquico mais alto da gestão da instalação nuclear ou radiativa, até o nível de detalhamento e de especificidade, necessários para identificar possíveis falhas nas rotinas das operações de campo, que podem passar despercebidas e permanecerem ocultas sem o devido tratamento, podendo resultar em acidentes com danos materiais e físicos elevados para a sociedade.

Princípio 5: Otimização da proteção - A proteção deve ser otimizada para fornecer o mais alto nível de segurança que possa ser razoavelmente alcançado.

3.24. Os recursos dedicados à segurança pelo licenciado, e o âmbito e rigor dos regulamentos e da sua aplicação, devem ser proporcionais à magnitude dos riscos de radiação e à sua facilidade de controlo. O controle regulatório pode não ser necessário quando não for justificado pela magnitude dos riscos de radiação.

A análise do arcabouço regulatório da AIEA resultou na seleção de quatro publicações intituladas Padrões de Segurança da Agência Internacional de Energia Atômica, “*IAEA Safety Standards*”, mais diretamente relacionadas ao tema das Inspeções Regulatórias, sendo as duas primeiras do tipo Requerimentos Gerais de Segurança (*General Safety Requirements*) e as duas últimas publicações do tipo Guias de Segurança (*Safety Guides*), cujos objetivos foram detalhados abaixo:

GSR Part 2: Requisitos Gerais para Segurança - Liderança e Gestão para Segurança (*General Safety Requirements Part 2 - Leadership and Management for Safety*).

O objetivo desta publicação é estabelecer requisitos que apoiem o princípio 3, em relação ao estabelecimento, sustentação e melhoria contínua da liderança e gestão para a segurança e de um sistema de gestão eficaz. Isto é essencial para promover e sustentar

uma forte cultura de segurança em uma organização. Outro objetivo é estabelecer requisitos que garantam a aplicação do princípio 8 garantindo que todos os esforços práticos devem ser feitos para prevenir e mitigar acidentes nucleares ou de radiação.

Os requisitos estabelecidos nesta publicação devem ser utilizados: (a) Pelo requerente ou licenciado, para estabelecer e manter a liderança e gestão por parte de organizações e gestores responsáveis por instalações e atividades que dão origem a riscos de radiação; (b) Pelo requerente ou licenciado, para especificar a um vendedor ou fornecedor de produtos e equipamentos, ou a um contratante de serviços, e a qualquer outra organização relevante, quaisquer requisitos que devam ser atendidos pelo sistema de gestão do vendedor ou fornecedor; (c) Pela entidade reguladora, como parte da base para a regulação de instalações e atividades; (d) Pelo órgão regulador e outras organizações governamentais relevantes, como base para cumprir as suas responsabilidades pelos acordos relativos à liderança e gestão, em conjunto com os requisitos estabelecidos na publicação GSR Part 1 da AIEA.

GSR Part 3: Requisitos Gerais para Segurança - Proteção contra Radiação e Segurança de Fontes de Radiação: Padrões Básicos de Segurança Internacional (*General Safety Requirements Part 3 - Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*).

Esta publicação contém normas que estabelecem requisitos para a proteção das pessoas e do meio ambiente contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes e para a segurança das fontes de radiação.

GSR Part 4: Requisitos Gerais para Segurança - Avaliação de Segurança para Instalações e Atividades (*General Safety Requirements - Safety Assessment for Facilities and Activities, IAEA*).

O objetivo desta publicação é estabelecer os requisitos geralmente aplicáveis a serem cumpridos na avaliação de segurança de instalações e atividades, com atenção especial dada à defesa em profundidade, análises quantitativas e a aplicação de uma abordagem graduada às gamas de instalações e de atividades abordadas. A publicação também aborda a verificação independente da avaliação de segurança que deve ser realizada pelos criadores e utilizadores da avaliação de segurança, pretendendo fornecer

uma base consistente e coerente para a avaliação de segurança em todas as instalações e atividades, o que facilitará a transferência de boas práticas entre organizações que realizam avaliações de segurança e ajudará a aumentar a confiança de todas as partes interessadas de que um nível adequado de segurança foi alcançado para instalações e atividades.”

GSR Part 7: Requisitos Gerais para Segurança: Preparação e Resposta a uma Emergência Nuclear ou Radiológica (*General Safety Requirements - Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA*).

Esta publicação estabelece os princípios e objetivos da preparação e resposta a uma emergência nuclear ou radiológica, reproduzidos abaixo:

Objetivo da proteção: prevenir a ocorrência de efeitos determinísticos em indivíduos, mantendo as doses abaixo do limiar relevante e garantir que sejam tomadas todas as medidas razoáveis para reduzir a ocorrência de efeitos estocásticos na população no presente e no futuro.

Objetivo de segurança: proteger os indivíduos, a sociedade e o meio ambiente contra danos, estabelecendo e mantendo defesas eficazes contra riscos radiológicos provenientes de fontes.

2.2. A publicação intitulada: Fundamentos de Segurança sobre a Segurança das Instalações Nucleares apresenta os objetivos principais das instalações nucleares, como:

Objetivo da proteção contra radiações: Garantir a mitigação das consequências radiológicas de quaisquer acidentes.

Objetivo de segurança técnica: Tomar todas as medidas razoavelmente práticas para prevenir acidentes em instalações nucleares e mitigar as suas consequências caso ocorram; assegurar com um elevado nível de confiança que, para todos os possíveis acidentes tidos em conta na concepção da instalação, incluindo os de probabilidade muito baixa, quaisquer consequências radiológicas seriam menores e abaixo dos limites prescritos.

2.3. Numa emergência nuclear ou radiológica, os objetivos práticos da resposta a emergências são:

- (a) Para recuperar o controle da situação;
- (b) Prevenir ou mitigar consequências no local;

- (c) Prevenir a ocorrência de efeitos determinísticos sobre a saúde dos trabalhadores e do público;
- (d) Prestar primeiros socorros e gerir o tratamento de lesões radioativas;
- (e) Prevenir, na medida do possível, a ocorrência de efeitos estocásticos sobre a saúde da população;
- (f) Prevenir, na medida do possível, a ocorrência de efeitos não radiológicos nos indivíduos e na população;
- (g) Proteger, na medida do possível, a propriedade e o meio ambiente;
- (h) Preparar-se, na medida do possível, para a retoma da atividade social e econômica normal.

2.4. A tomada de medidas para atingir esses objetivos (realização de intervenções) é sempre regida pelos princípios estabelecidos na publicação *Safety Fundamentals on Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources* e derivados das recomendações da ICRP. Esses princípios são:

“Justificativa da intervenção: Qualquer intervenção proposta fará mais bem do que mal.”

“Otimização da intervenção: A forma, escala e duração de qualquer a intervenção deve ser otimizada para que o benefício líquido seja maximizado.”

OBJETIVOS DE PREPARAÇÃO PARA EMERGÊNCIAS

2.5. É mais provável que os objetivos da resposta a emergências sejam alcançados de acordo com os princípios de intervenção, tendo em vigor um programa sólido de preparação para emergências como parte da infraestrutura de proteção e segurança.

2.6. O objetivo prático da preparação para emergências pode ser expresso como:

Garantir que existam disposições para uma resposta oportuna, gerida, controlada, coordenada e eficaz no local, e a nível local, regional, nacional e internacional, a qualquer emergência nuclear ou radiológica.

GS-G-3.1: Guia Geral para Segurança - Aplicação do Sistema de Gestão de Instalações e Atividades (*General Safety Guide - Application of the Management System for Facilities and Activities*).

O objetivo desta publicação é fornecer orientação genérica para estabelecer, implementar, avaliar e melhorar continuamente um sistema de gestão que integre elementos de segurança, saúde, meio ambiente, segurança, qualidade e economia, a fim de atender aos requisitos estabelecidos na publicação da AIEA intitulada Princípios de Segurança (SF1). Este Guia de Segurança também fornece exemplos ilustrativos da aplicação dos requisitos do sistema de gestão.

GSG-7: Guia Geral para Segurança - Proteção Contra Radiação Ocupacional (*General Safety Guide - Ocupacional Radiation Protection*)

O objetivo deste Guia de Segurança é fornecer orientação sobre o cumprimento dos requisitos para desenvolvimento e implementação de sistemas de gestão para prestadores de serviços técnicos em segurança radiológica.

IV.1.4 Pesquisa Bibliográfica (Normas da CNEN)

NN-3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, Resolução CNEN CD N° 27 de 17/12/2004 (Aprovação da Norma), Publicação D.O.U N 04 de 06/01/2005, páginas 10 a 13.

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante.

NE-3.02: Serviços de Radioproteção, DOU de 01/08/1988.

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos relativos à implantação e ao funcionamento de Serviços de Radioproteção.

NN-6.04: Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial, Resolução CNEN 31/88, Publicação D.O.U de 26/01/1989.

Dispõe sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica necessários para o funcionamento das instalações de radiografia industrial, de acordo com resolução específica sobre licenciamento de instalações radiativas.

IV.2 Estruturação em Árvore da ARP Aplicada ao Setor Nuclear Brasileiro

Conforme o modelo de implementação da ARP apresentada no capítulo anterior e tomando por base a pesquisa bibliográfica dos Guias de Segurança da Agência Internacional de Energia Atômica, Normas da CNEN e formulários utilizados ao longo dos anos nas Inspeções Regulatórias pela CNEN, definimos os processos, subprocessos e atividades.

O processo de triagem da estrutura de segurança do setor nuclear combinado com o processo de Análise de Processos do Negócio (*Business Process Analysis – BPA*) das atividades de minimização de risco realizadas pelos licenciados resultaram numa estrutura em árvore, contendo: sete processos, vinte e cinco subprocessos e sessenta e oito atividades, para a área de aplicação escolhida de gamagrafia e medidores nucleares.

Dentre as atividades mapeadas, aquelas com maior potencial de minimização de risco foram transformadas em perguntas-diretas a serem feitas ao licenciado durante a inspeção regulatória.

Os sete processos e os vinte e cinco subprocessos mapeados foram correlacionados com os seus respectivos princípios e requisitos de segurança, resultantes do processo de triagem do arcabouço regulatório, por meio de uma ferramenta de banco de dados capaz de gerar diferentes relatórios e análises de dados (Figura 14).

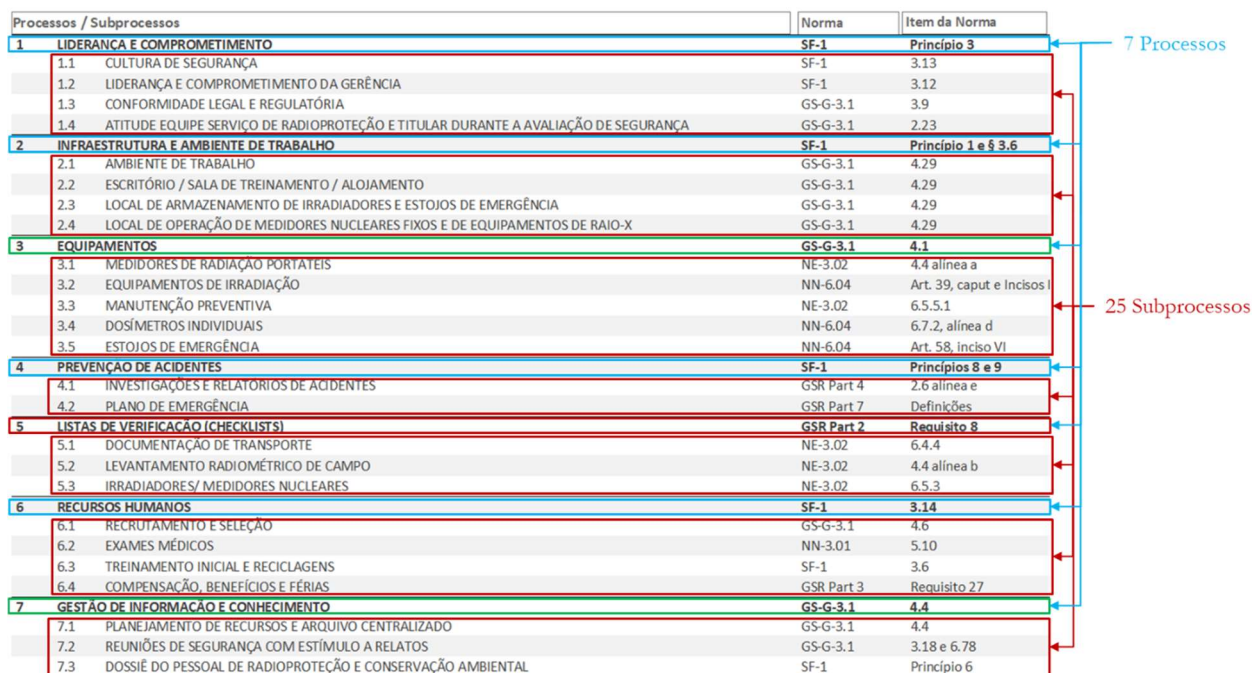


Figura 14: Estrutura em Árvore de Processos e Subprocessos Mapeados combinado com Triagem de Normas

IV.2.1 Processos e Subprocessos Mapeados

O resultado da pesquisa bibliográfica realizada, nessas três publicações da AIEA resultou na definição de sete processos elencados para uma Avaliação de risco parametrizada em Instalações Radiativas: (1) Liderança e Comprometimento; (2) Infraestrutura e Ambiente de Trabalho; (3) Equipamentos; (4) Prevenção de Acidentes; (5) Listas de Verificação; (6) Recursos Humanos e (7) Gestão de Informação e Conhecimento. (Figura 15)

1. LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO
2. INFRAESTRUTURA E AMBIENTE DE TRABALHO
3. EQUIPAMENTOS
4. PREVENÇÃO DE ACIDENTES
5. LISTAS DE VERIFICAÇÃO
6. RECURSOS HUMANOS
7. GESTÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO

Figura 15: Sete Processos mapeados na ARP aplicada a Instalações Radiativas

1. Liderança e Comprometimento

Com base na pesquisa bibliográfica realizada e na triagem do arcabouço normativo do setor nuclear, definimos que o primeiro processo da modelagem de estruturação em árvore da Avaliação de Risco Parametrizada do setor nuclear seria “Liderança e Comprometimento” fundamentada pelo Terceiro Princípio Fundamental de Segurança, constante da publicação da AIEA de N° SF-1: Princípios Fundamentais de Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), reproduzido abaixo:

Princípio 3: Liderança e gestão para segurança. A liderança e a gestão eficazes da segurança devem ser estabelecidas e sustentadas nas organizações envolvidas, nas instalações e nas atividades que dão origem aos riscos de radiação.”

Na sequência, foram definidos os quatro “subprocessos” capazes de avaliar qualitativa e quantitativamente em termos de gestão da segurança o processo de nº 1: “Liderança e Comprometimento”, na modelagem estruturada em árvore para Avaliações de Segurança em Inspeções Regulatórias (Figura 16).

1. LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO	
1.1.	CULTURA DE SEGURANÇA
1.2.	LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO DA GERÊNCIA
1.3.	CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA
1.4.	ATITUDE EQUIPE SERVIÇO DE radioproteção e titular DURANTE A AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

Figura 16: Subprocessos da Liderança e Comprometimento

1.1 Cultura de Segurança

No parágrafo 3.13 da publicação da AIEA de N° SF-1: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), temos que:

3.13. Uma cultura de segurança que rege as atitudes e o comportamento em relação à segurança de todas as organizações e indivíduos envolvidos deve ser integrada no sistema de gestão. A cultura de segurança inclui:

- Compromisso individual e coletivo com a segurança por parte da liderança, da gestão e do pessoal a todos os níveis;
- Responsabilidade das organizações e dos indivíduos a todos os níveis pela segurança;
- Medidas para encorajar uma atitude de questionamento e aprendizagem e para desencorajar a complacência em relação à segurança.

1.2 Liderança e Comprometimento da Gerência

No parágrafo 3.12 da publicação da AIEA de N° SF-1: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), temos que:

3.12. A liderança em questões de segurança deve ser demonstrada nos níveis mais altos de uma organização. A segurança deve ser alcançada e mantida por meio de um sistema de gestão eficaz. Este sistema tem de integrar todos os elementos de gestão para que os requisitos de segurança sejam estabelecidos e aplicados de forma coerente com outros requisitos, incluindo os de desempenho humano, qualidade e segurança, e para que a segurança não seja comprometida por outros requisitos ou exigências. O sistema de gestão também deve garantir a promoção de uma cultura de segurança, a avaliação regular do desempenho de segurança e a aplicação das lições aprendidas com a experiência.

1.3 Conformidade Legal e Regulatória

Conforme definido no parágrafo 3.9 do Guia de Segurança da AIEA intitulado GS-G-3.1, temos que o subprocesso 1.3 intitulado conformidade legal e regulatória deve ser garantida e controlada por meio de:

3.9. A alta administração deve garantir que a organização identificou todos os requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis aos seus produtos, processos e atividades, e deve incluir no sistema de gestão os métodos para cumprir esses requisitos.

1.4 Atitude da equipe do Serviço de Radioproteção e do Titular durante a Avaliação de risco parametrizada

Conforme definido no parágrafo 2.23 do Guia de Segurança da AIEA intitulado GS-G-3.1, temos que o subprocesso 1.4, intitulado atitude da equipe do Serviço de Radioproteção e do Titular durante a Avaliação de risco parametrizada, deve ser avaliado sob os seguintes aspectos:

2.23. O indivíduo que ocupa a posição gerencial mais sênior da organização deve ser responsável por garantir que o sistema de gestão seja implementado. A implementação do sistema de gestão exige esforços colaborativos dos gestores, daqueles que executam o trabalho e daqueles que avaliam o trabalho. Para uma implementação satisfatória, é necessário planejar e mobilizar recursos adequados. Todos os indivíduos devem ser treinados para alcançar proficiência. Deve ser assegurado que todos os indivíduos compreendem os processos de gestão que se aplicam ao desempenho do seu trabalho. A eficácia do sistema de gestão deve ser avaliada e revista em todas as fases da implementação. As informações obtidas nas avaliações devem ser utilizadas para alcançar melhorias contínuas no desempenho do trabalho.

2. Infraestrutura e Ambiente de Trabalho

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, definimos que o segundo processo da modelagem estruturada em árvore da Avaliação de Segurança seria “Infraestrutura e Ambiente de Trabalho” fundamentado no Primeiro Princípio Fundamental de Segurança e no parágrafo 3.6 da publicação da AIEA de N° SF-1: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), reproduzidos abaixo:

Princípio 1: Responsabilidade pela segurança. A principal responsabilidade pela segurança deve recair sobre a pessoa ou organização responsável pelas instalações e atividades que dão origem a riscos de radiação.

3.6. O licenciado é responsável por verificar a concepção adequada e a qualidade adequada das instalações e atividades e dos equipamentos associados.

Na sequência, foram definidos os seis subprocessos capazes de avaliar qualitativa e quantitativamente em termos de gestão da segurança o processo de nº 2:

Liderança e Comprometimento, na modelagem estruturada em árvore para Avaliações de Segurança em Inspeções Regulatórias (Figura 17).

2. INFRAESTRUTURA E AMBIENTE DE TRABALHO	
2.1.	AMBIENTE DE TRABALHO
2.2.	ESCRITÓRIO/ SALA DE TREINAMENTO/ ALOJAMENTO
2.3.	LOCAL DE ARMAZENAMENTO DE IRRADIADORES E ESTOJOS DE EMERGÊNCIA
2.4.	LOCAL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDORES NUCLEARES E EQUIPAMENTOS DE RAIO-X

Figura 17: Subprocessos de Infraestrutura e Ambiente de Trabalho

2.1 Ambiente de Trabalho

Conforme definido no parágrafo 4.5 do Guia de Segurança da AIEA GS-R-3, temos que:

4.5. A alta administração deve determinar, fornecer, manter e reavaliar a infraestrutura e o ambiente de trabalho necessários para que o trabalho seja realizado de maneira segura e para que os requisitos sejam atendidos.

2.2 Escritório/ Sala de Treinamento/ Alojamento

Conforme parágrafo 4.5 do Guia de Segurança da AIEA GS-R-3, reproduzido acima.

2.3 Local de Armazenamento de Irradiadores e Equipamentos de Emergência

Conforme definido no art. 58, inciso VI da Norma CNEN-NN-6.04, o subprocesso de intitulado local de armazenamento de irradiadores e equipamentos de emergência, temos que:

Art. 58 O programa de emergência deve assegurar que, na eventualidade de um acidente ou situação de emergência, serão tomadas medidas apropriadas para garantir a segurança dos IOE e do público e prevenir danos à propriedade e ao meio ambiente, devendo incluir, no mínimo, as seguintes informações:

VI - relação de materiais e equipamentos de emergência, a serem especificados no plano de proteção radiológica, devendo incluir, no mínimo: recipientes de emergência, medidores individuais de leitura direta, pinças, garras, cordas, placas de sinalização e blindagens, além do medidor de radiação de área portátil com escala de 10 mSv/h a 100 mSv/h.

2.4 Local de Operação: Medidores Fixos Nucleares e Equipamentos de Raios-X

Conforme definido no parágrafo 4.5 do Guia de Segurança da AIEA GS-R-3, reproduzido acima.

3. Equipamentos

Com base no parágrafo 4.1 da publicação da AIEA de N° de N° GS-G-3.1 - Aplicação do Sistema de Gestão de Instalações e Atividades (*Safety Standards N° GS-G-3.1 – Application of the Management System for Facilities and Activities*) reproduzido abaixo, definimos “equipamentos” como sendo o terceiro processo da modelagem de estruturação em árvore da Avaliação de Segurança.

4.1. A alta gerência deve garantir que os recursos essenciais para a implementação da estratégia do sistema de gestão e para a consecução dos objetivos da organização sejam identificados e disponibilizados.

Obs.: ‘Recursos’ incluem indivíduos, infraestrutura, ambiente de trabalho, informação e conhecimento, e fornecedores, bem como recursos materiais e financeiros.

Na sequência da modelagem em árvore, foram definidos, com base na pesquisa bibliográfica realizada, os “subprocessos” relacionados ao processo de nº 3 intitulado “Equipamentos” (Figura 18).

3.	EQUIPAMENTOS
3.1.	MEDIDORES DE RADIAÇÃO PORTÁTEIS
3.2.	EQUIPAMENTOS DE IRRADIAÇÃO
3.3.	MANUTENÇÃO PREVENTIVA
3.4.	DOSÍMETROS INDIVIDUAIS
3.5.	KIT DE EMERGÊNCIA

Figura 18: Subprocessos de Infraestrutura e Ambiente de Trabalho

3.1 Medidores Portáteis de Radiação

Conforme definido no parágrafo 4.4 alínea a da Norma CNEN-NE-3.02, temos que:

4.4 EQUIPAMENTOS - Em função das suas necessidades, o SR deve possuir os equipamentos necessários para: a) monitoração individual de trabalhadores.

3.2 Equipamentos de Irradiação

Conforme definido no art. 39, caput e incisos da Norma CNEN-NN-6.04, temos que:

Art. 39 Para os equipamentos de radiografia gama e acessórios devem ser verificados os seguintes itens, de acordo com a NORMA ABNT NBR 8670, de 11/1984, que estabelece os requisitos e condições necessárias para equipamentos destinados à radiografia gama:

I - identificação;

II - tampas nas extremidades;

III - alça para transporte;

IV - sistema de travamento;

V - indicador da posição da fonte no irradiador;

VI - sistema de acoplamento com o controle remoto e tubo guia;

VII - estado geral de conservação do conjunto irradiador-controle remoto-tubo guia;

VIII - estado de conservação do canal interno (teste de fuga);

IX - engate do cabo de comando (gabarito);

X - compatibilidade dos comprimentos do cabo de comando e tubo guia;

XI - fixação do terminal de exposição do tubo guia; e

XII - eficiência da blindagem.

3.3 Manutenção Preventiva

Conforme definido no Art. 37, caput e § único da Norma CNEN-NN-6.04, temos que:

Art. 37 O subprograma de controle de equipamentos, fontes e acessórios de radiografia industrial deve estar em conformidade com a resolução específica sobre serviços de proteção radiológica, incluindo equipamentos de radiografia gama e respectivas fontes radioativas incorporadas, equipamentos de raios-x e respectivos acessórios.

Parágrafo único. O subprograma deve abranger o controle sobre as ações de inspeções regulares atendendo às necessidades de manutenção preventiva e corretiva dos aparelhos de raios-x, dos equipamentos de radiografia gama e acessórios, conforme instruções do fabricante.

Além disso, conforme definido no parágrafo 6.5.5.1 da Norma CNEN-NE-3.02, temos que:

6.5.5.1 O Supervisor de Radioproteção (SR) deve executar ou providenciar a manutenção preventiva periódica e as medidas corretivas de todos os seus equipamentos, sempre que necessário.

3.4 Dosímetros Individuais

Conforme definido pelo parágrafo 6.7.2, alínea d constante da Norma CNEN-NN-6.04, temos que:

6.7.2. Trabalhadores - O SR deve manter atualizado um registro individual de cada trabalhador da instalação, contendo as seguintes informações: d) dosímetros individuais empregados.

3.5 Estojos de Emergência

Conforme definido no art. 58, inciso VI da Norma CNEN-NN-6.04, temos que:

Art. 58 O programa de emergência deve assegurar que, na eventualidade de um acidente ou situação de emergência, serão tomadas medidas apropriadas para garantir a segurança dos IOE e do público e prevenir danos à propriedade e ao meio ambiente, devendo incluir, no mínimo, as seguintes informações:

VI - Relação de materiais e equipamentos de emergência, a serem especificados no plano de proteção radiológica, devendo incluir, no

mínimo: recipientes de emergência, medidores individuais de leitura direta, pinças, garras, cordas, placas de sinalização e blindagens, além do medidor de radiação de área portátil com escala de 10 mSv/h a 100 mSv/h.

4. Prevenção de Acidentes

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, definimos o quarto processo da modelagem de estruturação em árvore da Avaliação de Segurança como sendo a “Prevenção de Acidentes” fundamentado pelo Oitavo e pelo Nono Princípios Fundamentais de Segurança da publicação da AIEA de N° SF-1: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles*), reproduzidos abaixo:

Princípio 8: Prevenção de acidentes - Todos os esforços práticos devem ser feitos para prevenir e mitigar acidentes nucleares ou de radiação.

Princípio 9: Preparação e resposta a emergências- Devem ser tomadas medidas para preparação e resposta a emergências em caso de incidentes nucleares ou de radiação.

Na sequência da modelagem em árvore, foram definidos, com base na pesquisa bibliográfica realizada, os “subprocessos” relacionados ao processo de nº 4 “Prevenção de Acidentes” (Figura 19).

4.	PREVENÇÃO DE ACIDENTES
4.1.	INVESTIGAÇÕES E RELATÓRIOS DE ACIDENTES
4.2.	PLANO DE CONTINGÊNCIA

Figura 19: Subprocessos de Prevenção de Acidentes

4.1 Investigações e Relatórios de Acidentes

Conforme definido no parágrafo 2.6 alínea e da publicação da AIEA de N° GSR Part 4 - Avaliação de Segurança para Instalações e Atividades (*General Safety Requirements N° GSR-Part 4 - Safety Assessment for Facilities and Activities*), temos a seguinte condição de funcionamento para o processo “Prevenção de Acidentes” exigida para se atender à segurança:

2.6. A avaliação de segurança também fornece informações para a aplicação de outros princípios fundamentais, como segue:

(e) Princípio 8 sobre a prevenção de acidentes: determinar se todos os esforços possíveis foram feitos para evitar a perda de controle sobre o núcleo de um reator nuclear, reação nuclear em cadeia, fonte radioativa ou outra fonte de radiação que possa dar origem a riscos de radiação.

Além disso, conforme definido no parágrafo 5.13.1.4 alínea “d” da Norma CNEN-NN-3.01, temos que:

5.13.1.4. Com relação a acidentes que envolvam exposições médicas diferentes daquelas pretendidas, conforme definido pela CNEN, os titulares devem:

d) submeter à CNEN, logo após a investigação, um relatório escrito que esclareça as causas do acidente, bem como as providências tomadas.

4.2 Plano de Emergência

Conforme definido no Princípio 9 da publicação da AIEA intitulada Fundamentos da Segurança - N° SF-1: Princípios Fundamentais da Segurança (*Safety Fundamentals - N° SF-1: Fundamental Safety Principles, IAEA*), temos que:

Princípio 9: Preparação e resposta a emergências. Devem ser tomadas medidas para preparação e resposta a emergências em caso de incidentes nucleares ou de radiação.

E ainda, conforme consta das definições da publicação da AIEA intitulada Requisitos Gerais de Segurança - N° GSR-Part 7: Preparação e Resposta a uma Emergência Nuclear ou Radiológica (*General Safety Requirements – N° GSR Part 7: Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*), temos que:

Plano de Emergência é uma descrição dos objetivos, política e conceito das operações de resposta a uma emergência e da estrutura, autoridades e responsabilidades para uma resposta sistemática, coordenada e eficaz. O plano de emergência serve de base para o desenvolvimento de outros planos, procedimentos e listas de verificação.

5. Listas de Verificação (*Checklists*)

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, definimos o quinto processo da modelagem de estruturação em árvore da Avaliação de Segurança como sendo as “Listas de Verificação (*Checklists*)” fundamentado no Oitavo Requisito Geral de Segurança da

publicação da AIEA de N° GSR Part 2: Liderança e Gestão para Segurança (*General Safety Requirements - No. GSR Part 2: Leadership and Management for Safety*), reproduzido abaixo:

Requisito 8: Documentação do sistema de gestão. O sistema de gestão deve ser documentado. A documentação do sistema de gestão deve ser controlada, utilizável, legível, claramente identificada e prontamente disponível no ponto de utilização.

E, segundo art. 25, caput e §único da Norma CNEN-NN-6.04, temos que:

Art. 25. O programa de controle administrativo deve conter itens que descrevam a organização da instalação de radiografia industrial, discriminando a documentação e os registros de controle e verificação que integram o sistema de garantia da qualidade.

Parágrafo único. Esses itens devem atender à Resolução CNEN nº15/99 “Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações.

Na sequência, foram definidos os quatro “subprocessos” capazes de avaliar qualitativa e quantitativamente em termos de gestão da segurança o processo de nº 5: “Listas de Verificação (*Checklists*)”, na modelagem estruturada em árvore para Avaliações de Segurança em Inspeções Regulatórias (Figura 20).

5. LISTAS DE VERIFICAÇÃO	
5.1.	DOCUMENTAÇÃO DE TRANSPORTE
5.2.	LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO DE CAMPO
5.3.	IRRADIADORES
5.4.	MEDIDORES NUCLEARES

Figura 20: Subprocessos de Listas de Verificação

5.1 Documentação de Transporte

Conforme definido no parágrafo 6.4.4 da Norma CNEN-NE-3.02, qualquer transporte de fontes de radiação deve ser realizado com autorização do Supervisor de Radioproteção, em conformidade com normas específicas.

5.2 Levantamento Radiométrico de Campo

Conforme definido no parágrafo 4.4, alínea b da Norma CNEN-NE-3.02, em função das suas necessidades, o Serviço de Radioproteção deve possuir os equipamentos necessários para a monitoração de área.

5.3 Irradiadores

Conforme definido no parágrafo 6.5.3, caput e alíneas da Norma CNEN-NE-3.02, o Serviço de Radioproteção (SR) deve estabelecer e executar um programa de inspeções dos seus equipamentos visando à verificação dos seguintes aspectos: (a) condições físicas; (b) condições de instalação e segurança; (c) procedimentos de uso e de armazenamento; (d) condições de funcionamento; e (e) presença de contaminações.

5.4 Medidores Nucleares

Pelas mesmas razões expostas no parágrafo anterior.

6. Recursos Humanos

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, definimos o sexto processo da estruturação em árvore, como sendo: “Recursos Humanos”, com fundamentação teórica baseada no parágrafo 3.14 da publicação SF-1, que estabelece o reconhecimento de toda a gama de interações dos indivíduos em todos os níveis com a tecnologia e com as organizações, como um fator importante para um sistema de gestão eficaz, de modo a prevenir falhas humanas e organizacionais, os fatores humanos têm de ser considerados e o bom desempenho e as boas práticas têm de ser apoiados.

Na sequência, foram definidos os quatro “subprocessos” capazes de avaliar qualitativa e quantitativamente em termos de gestão da segurança o processo de nº 6: “Recursos Humanos”, de modelagem estruturada em árvore para Avaliações de Segurança em Inspeções Regulatórias (Figura 21).

6. RECURSOS HUMANOS	
6.1.	RECRUTAMENTO E SELEÇÃO
6.2.	EXAMES MÉDICOS / ASO
6.3.	TREINAMENTO INICIAL E RECICLAGEM
6.4.	COMPENSAÇÃO/ BENEFÍCIOS/ FÉRIAS

Figura 21: Subprocessos de Recursos Humanos

6.1 Recrutamento e Seleção

No parágrafo 4.6 da publicação da AIEA de N° GS-G-3.1 é estabelecido que a alta administração deve garantir que as competências individuais necessárias estão disponíveis para o funcionamento eficaz e eficiente da organização e avaliar as necessidades presentes e esperadas de competências em relação às competências já disponíveis na organização.

6.2 Exames Médicos

O parágrafo 6.1.3.1 da Norma CNEN-NE-3.02 estabelece que o Serviço de Radioproteção deve prover supervisão médica adequada a todos os trabalhadores da instalação.

6.3 Treinamento Inicial e Reciclagem

O parágrafo 3.6 da publicação da AIEA de N° SF-1 afirma que o licenciado é responsável por estabelecer e manter as competências necessárias e fornecer treinamento e informação adequadas.

6.4 Compensação/ Benefícios/ Férias

Conforme previsto no Requisito 27 da publicação da AIEA GSR Parte 3, fica estabelecido que empregadores, contratantes e licenciados não devem oferecer benefícios como substitutos de medidas de proteção e segurança. E, ainda no parágrafo 3.111, fica estabelecido que as condições de serviço dos trabalhadores serão independentes do fato

de estarem ou poderem estar sujeitos à exposição profissional. Acordos compensatórios especiais, ou contrapartidas preferenciais em relação a salário, cobertura de seguro especial, horário de trabalho, duração de férias, férias adicionais ou benefícios de aposentadoria, não serão concedidos nem utilizados como substitutos de medidas de proteção e segurança de acordo com os requisitos normativos.

7. Gestão de Informação e Conhecimento

O parágrafo 4.4 da publicação GS-G-3.1 estabelece que os dados devem ser convertidos em informação para o desenvolvimento contínuo do conhecimento de uma organização, e a gestão superior deve tratar a informação como um recurso fundamental que é essencial para a tomada de decisões baseadas em fatos e para estimular a inovação. Para gerenciar informações e conhecimento, a alta administração deve: (a) identificar as necessidades de informação da organização; (b) identificar e aceder a fontes de informação internas e externas; (c) converter informação em conhecimento útil para a organização; (d) utilizar os dados, informações e conhecimentos para definir e cumprir as estratégias e objetivos da organização; (e) garantir segurança e confidencialidade adequadas; (f) avaliar os benefícios derivados da utilização da informação, a fim de melhorar a gestão da informação e do conhecimento; (g) garantir a preservação do conhecimento organizacional e capturar o conhecimento tácito para conversão apropriada em conhecimento explícito.

Na sequência da modelagem em árvore, foram definidos, com base na pesquisa bibliográfica realizada, os “subprocessos” relacionados ao processo de nº 7 “Gestão de Informação e Conhecimento” (Figura 22).

7. GESTÃO DE INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO	
7.1.	PLANEJAMENTO DE RECURSOS E ARQUIVO CENTRALIZADO
7.2.	REUNIÕES DE SEGURANÇA PARA ENCORAJAR REPORTES
7.3.	DOSSIÊ DO PESSOAL DE RADIOPROTEÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

Figura 22: Subprocessos de Gestão de Informação e Conhecimento

7.1 Planejamento de Recursos e Arquivo Centralizado

O parágrafo 4.4, alíneas “c” e “g” da publicação GS-G-3.1 estabelecem que a alta administração deve converter informação em conhecimento útil para a organização, garantir a preservação do conhecimento organizacional e capturar o conhecimento tácito para conversão apropriada em conhecimento explícito.

7.2 Reuniões de Segurança com Estímulo a Reportes

O parágrafo 3.8 da publicação GS-G-3.1, estabelece que o indivíduo responsável pelo sistema de gestão deve ter autoridade para levantar questões relacionadas ao sistema de gestão nas reuniões da alta administração e para relatar o status das ações corretivas e melhorias e, se necessário, o indivíduo deve se envolver na resolução de conflitos.

7.3 Dossiê do Pessoal de Radioproteção e Conservação Ambiental

Com base no Sexto Princípio da publicação SF-1 reproduzido abaixo, foram elencadas as seguintes perguntas-diretas capazes de mensurar o subprocesso 7.3 intitulado dossiê do pessoal de radioproteção e conservação ambiental na modelagem em árvore da Avaliação de Segurança numa Avaliação de risco parametrizada.

“Princípio 6. Limitação de riscos para indivíduos: As medidas para controlar os riscos de radiação devem garantir que nenhum indivíduo corre um risco inaceitável de danos.”

IV.2.2 Atividades Mapeadas

O mapeamento de processos, subprocessos e atividades combinado com a triagem do arcabouço regulatório do setor nuclear permitiram definir sessenta e oito perguntas-diretas a serem formuladas pelo inspetor para avaliar a eficácia da alocação de recursos às atividades de minimização de risco, em função da restrição temporal equivalente às oito horas de trabalho disponíveis para a realização da avaliação de risco nas áreas de Gamagrafia e de Medidores Nucleares.

Portanto, na modelagem ARP, foi definido o tempo médio disponível de sete minutos, para que um inspetor do órgão regulador consiga gerar a pontuação

correspondente a cada uma das sessenta e oito perguntas-diretas, com base na avaliação das evidências objetivas apresentadas pelos licenciados.

Conforme mencionado anteriormente, foi desenvolvida uma ferramenta de banco de dados, para auxiliar o mapeamento de processos, subprocessos e atividades combinado com a triagem do arcabouço regulatório do setor nuclear, que permitiu representar de maneira agrupada num único relatório as informações combinadas (Figura 23).


Norma	Tipo de Norma	Título da Norma	Estruturação em Árvore (ARP)
GS-G-3.1	Guias de Segurança (Safety Guides)	Aplicação do Sistema de Gestão de Instalações e Atividades (Application of the Management System for Facilities and Activities)	 68 Activities
Item	Descrição		# Atividade (Pergunta-Direta)
2.18	2.18. Os gestores e supervisores devem encorajar e acolher a comunicação por outros indivíduos de potenciais preocupações de segurança, incidentes e quase-acidentes, e precursores de acidentes, e devem responder às preocupações válidas prontamente e de uma forma positiva. Quando apropriado, os empreiteiros deverão dar a mesma alta prioridade à segurança, especialmente quando estiverem trabalhando em uma instalação.		7.2.2 Nas reuniões mensais de segurança, há estímulo aos relatos de incidentes potenciais, quase acidentes, acidentes sem gravidade, falhas de manutenção etc.?

Figura 23: Exemplo de Atividade Mapeada na ARP aplicada à Gamagrafia e Medidores Nucleares

À título de exemplo, na Figura 23, é mostrada uma das sessenta e oito perguntas-diretas resultantes do processo de triagem das normas de segurança combinado com o mapeamento de processos, gerada a partir do item 2.18 triado do Guia de Segurança GS-G-3.1 da AIEA, que estabelece:

Gerentes e supervisores devem encorajar e acolher o relato de outras pessoas sobre potenciais preocupações de segurança, incidentes e quase acidentes, e precursores de acidentes, e devem responder a preocupações válidas prontamente e de forma positiva.

E, a pergunta-direta correspondente de número 7.2.2 na base de dados, que avalia a eficácia desta atividade de minimização de riscos (Figura 23):

Relatos de possíveis incidentes, quase acidentes, acidentes menores, falhas de manutenção etc. são incentivados nas reuniões mensais de segurança? (Figura 23)

IV.2.3 Evidências Objetivas

Para completar as etapas de 1 a 14 estabelecidas nos fluxogramas do roteiro de implementação da ARP (Figura 8 e Figura 9), é necessário estabelecer o rol de evidências objetivas relacionadas a cada pergunta-direta e a sua não-conformidade correspondente, para definir a penalidade prevista na legislação nuclear brasileira.

O rol de evidências objetivas é uma lista não exaustiva, uma vez que decorre da experiência e conhecimento dos membros do órgão regulador, e deve ser usado como uma ferramenta útil e indispensável para o treinamento de futuros inspetores.

À título de exemplo, reproduzimos abaixo a pergunta-direta de número 1.1.3 da base de dados (Figura 24):

A cultura de segurança é forte? Existem indicadores de desempenho desenvolvidos pelo Serviço de Proteção Radiológica com metas definidas? A comunicação com o Supervisor de Proteção Radiológica é fácil?

Para essa pergunta-direta, foi estabelecido o seguinte rol de evidências objetivas a serem avaliadas pelo inspetor para gerar sua nota na avaliação de risco ARP (Figura 24):

Entrevistar o titular e os gestores seniores, perguntando sobre: (1) A existência de algum relatório de análise dos relatos trazidos pelos trabalhadores ocupacionalmente expostos aos Supervisores de Proteção Radiológica e o tratamento dado em cada caso? (2) Quais os indicadores desenvolvidos para mensurar o desempenho em proteção radiológica? (3) Quais as ações corretivas propostas no Ofício da última inspeção regulatória? (4) Qual o percentual de ações corretivas implementadas daquelas contidas no Ofício da última inspeção regulatória?

É importante destacar também que a metodologia ARP permite estabelecer penalidades para dupla checagem de algumas questões diretas que apresentam alto grau de subjetividade, conforme estabelece a nota contida na lista de evidências objetivas da questão 1.1.3, reproduzida abaixo:

(Nota: Caso o item 7.2 “Reuniões de Segurança com Incentivo à Denúncia” receba nota zero em alguma de suas perguntas diretas, a nota obtida no item 1.1 “Cultura de Segurança” deverá ser reduzida pela metade)

1	LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO	Norma SF-1	Item Princípio 3
1.1	CULTURA DE SEGURANÇA	Norma SF-1	Item 3.13
1.1.3	A cultura de segurança é forte? Há indicadores de performance desenvolvidos pelo Serviço de Radioproteção com metas definidas? A comunicação com o Supervisor de Radioproteção é fácil? (Obs.: Caso item 7.2 – “Reuniões de Segurança com Estímulo a Relatos” obtenha nota zero para qualquer de suas perguntas-diretas, a pontuação obtida no item 1.1 - “Cultura de Segurança” deve ser reduzida à metade)	Norma GS-G-3.1	Item 2.36
EVIDÊNCIA OBJETIVA	Entrevistar o titular e os SPR questionando sobre: (1) A existência de algum relatório de análise dos relatos trazidos pelos IOE's para os Supervisores de Radioproteção e a tratativa dada em cada caso? (2) Quais são os indicadores elaborados para medir a performance em radioproteção? (3) Quais as ações corretivas propostas no Ofício da última inspeção regulatória? (4) Qual o percentual de ações corretivas implementadas daquelas constantes do Ofício da última inspeção regulatória?		
Não-Conformidade	Durante a Inspeção Regulatória, foi evidenciada inexistência de indicadores de performance para apurar a efetividade das ações do Serviço de Radioproteção nas principais variáveis envolvidas. Aplicar sanção correspondente prevista na Legislação aplicável.		

Figura 24: Rol Evidências-Objetivas relativas à Pergunta-Direta 1.1.3

IV.3 Direcionadores de Risco Atividade (DRA)

IV.3.1 Tipos de Direcionadores de Risco Atividade (DRA)

Na etapa 16 do fluxograma de implementação do ARP, é necessário definir, para cada uma das sessenta e oito perguntas-diretas, qual o critério de avaliação mais adequado em termos de: (1) Impacto e Probabilidade de ocorrência de falha nas atividades de minimização de risco – DRA1; ou (2) Método e Frequência de Avaliação das atividades de minimização de risco – DRA2.

E, na etapa 17 do fluxograma de implementação da ARP, é necessário definir a intensidade do Direcionador de Risco de Atividade (DRA), com base em cada pergunta direta e seu rol de evidências objetivas.

Para completar essas duas etapas do fluxograma de implementação da ARP, foi elaborado, na ferramenta de banco de dados, um formulário intitulado “DRA Input”, que apresenta cada pergunta direta e seu correspondente rol de evidências objetivas em uma única tela, permitindo o preenchimento dos campos correspondentes relacionados ao tipo e intensidade de cada DRA específico.

À título de exemplo, é apresentado abaixo o formulário “DRA Input” que busca automaticamente na base de dados a pergunta direta de número 1.1.2 e o seu correspondente rol de evidências objetivas.

No processo de modelagem da ARP, a partir da análise da pergunta-direta de número 1.1.2 e do seu correspondente rol de evidências objetivas, foram preenchidos os campos do formulário “DRA Input” correspondentes a uma atividade cujo critério de avaliação de risco deve considerar o impacto e a probabilidade de ocorrência, vinculando automaticamente o Direcionador de Risco Atividade do tipo 1 (DRA1) à pergunta-direta de número 1.1.2 (Figura 25).

DRA Input	
Código	2
1.1.2	Os gerentes seniores comunicam as crenças que fundamentam as políticas da organização por meio de seu próprio comportamento e práticas de gerenciamento? A comunicação com o Supervisor de Radioproteção é fácil?
Evidencia Objetiva	Solicitar Atas de Reuniões do Serviço de Radioproteção e as listas de presença dos três últimos treinamentos realizados para apurar se: (1) O titular participou dos últimos treinamentos? (2) O titular sugere ações corretivas no programa de radioproteção? (3) O titular visita as obras e operações em clientes? (3) Existe relatório de análise de reportes trazidos pelos IOE's para os Supervisores de Radioproteção e a tratativa dada por eles em cada caso, para garantir a efetiva implantação da Cultura de Segurança na organização.
Impacto	Alto
Probabilidade	Média
Forma de Apuracao	
Periodicidade	

Figura 25: Formulário "DRA Input" preenchido com Impacto Alto e Probabilidade Média para a Atividade 1.1.2

Como outro exemplo, é apresentado abaixo o formulário intitulado "DRA Input" que busca na base de dados a pergunta-direta de número 1.1.1 e o seu correspondente rol de evidências objetivas.

No processo de modelagem da ARP, a partir da análise da pergunta-direta de número 1.1.1 e do seu correspondente rol de evidências objetivas, foram preenchidos os campos do formulário "DRA Input" correspondentes a uma atividade cujo critério de avaliação de risco deve considerar o método de avaliação e frequência de realização das atividades de minimização de risco, vinculando automaticamente o Direcionador de Risco Atividade do tipo 2 (DRA2) à pergunta-direta de número 1.1.1 (Figura 26).

DRA Input	
Código	1
1.1.1	A Instituição possui sua própria Política de Gestão da Radioproteção com métodos definidos para divulgação e avaliação da sua conscientização junto aos IOE's?
Evidencia Objetiva	Avaliar os métodos empregados para garantir a divulgação e avaliar o grau de conscientização da Política de Gestão de Radioproteção pelos IOE's. Há perguntas na avaliação dos treinamentos sobre a Política de Gestão da Radioproteção da empresa?
Impacto	
Probabilidade	
Forma de Apuracao	Gradativa
Periodicidade	Baixa

Figura 26: Formulário "DRA Input" preenchido com Método Gradual e Frequência Baixa para a Atividade 1.1.1

IV.3.2 Classes de Risco

Seguindo a sequência do fluxograma do procedimento de implementação do ARP, na etapa 18 é necessário definir a classe de risco do Direcionador de Risco da Atividade.

No primeiro exemplo acima, foi vinculado à pergunta-direta 1.1.2 o Direcionador de Risco Atividade do tipo 1 (DRA1), que considera impacto e probabilidade de ocorrência de falha em atividades de risco de minimização.

Como no formulário “DRA Input” os campos de “impacto” e “probabilidade” foram preenchidos com os termos “alto” e “média”, respectivamente, a Classe de Risco resultante para essa combinação é a Classe “A”, conforme definido pela Matriz de Risco para DRA1 (Figura 27)

		Probabilidade		
		Baixa	Média	Alta
Impacto	Baixo	D	C	B
	Médio	C	B	A
	Alto	B	A	A

Figura 27: Matriz de Risco para Direcionador de Risco Atividade Tipo 1 (DRA1)

No segundo exemplo mostrado acima, foi vinculado à pergunta-direta de número 1.1.1 o Direcionador de Risco Atividade do tipo 2 (DRA2), que considera método e frequência de realização da atividade de minimização de risco.

Como no formulário “DRA Input” os campos “método” e “frequência” foram preenchidos com os termos “gradual” e “baixa”, respectivamente, a Classe de Risco resultante para essa combinação é a Classe “C”, conforme definido pela Matriz de Risco para DRA2 (Figura 27)

		Frequência		
		Baixo	Médio	Alto
Método	Amostragem	C	C	B
	Gradual	C	B	A
	Sempre	B	A	A

Figura 28: Matriz de Risco para Direcionador de Risco Atividade Tipo 2 (DRA2)

A definição da Classe de Risco é feita para cada Direcionador de Risco vinculado a cada uma das sessenta e oito atividades de minimização de risco definidas por meio da triagem do arcabouço regulatório combinado com a análise de processo do negócio.

O bloco “Avaliação de Risco Atividade” foi finalizado com a conclusão das etapas 1 a 18 do fluxograma de implementação do ARP. Agora, é hora de iniciar o bloco “Avaliação de Risco Efetivo” seguindo as etapas 19 a 26 do fluxograma de implementação do ARP.

IV.4 Direcionadores de Risco Nota (DRN)

Conforme estabelecido na etapa 20 do fluxograma de implementação da ARP, é necessário definir a métrica do Direcionador de Risco Nota (DRN), o tipo de variável de interesse e sua escala. Para isso, foi desenvolvido na ferramenta de banco de dados um formulário intitulado “DRN Input”, que apresenta cada pergunta-direta e seu correspondente rol de evidências objetivas exibidas em uma única tela que permite o preenchimento dos campos correspondentes relacionados à métrica, variável e escala de cada DRN específico. Por exemplo, é possível encontrar na figura abaixo o formulário “DRN Input” apresentando na mesma tela a pergunta-direta relativa à atividade nº 1.1.1:

A Instituição possui uma Política própria de Gestão de Proteção Radiológica com métodos definidos para disseminação e avaliação da conscientização entre indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE's)?

Exibindo também na mesma tela, seu correspondente rol de evidências objetivas:

Avalie os métodos usados para garantir a disseminação e avalie o nível de conscientização da Política de Gestão de Proteção Radiológica pelos

IOE's. Há perguntas na avaliação do treinamento sobre a Política de Gestão de Proteção Radiológica da empresa?

Com base na pergunta-direta e nas evidências-objetivas trazidas automaticamente da base de dados pela ferramenta de banco de dados relativas à atividade nº 1.1.1, é possível preencher os campos “métrica”, “variável” e “escala” e definir que esta atividade específica de minimização de risco nº 1.1.1, corresponde a uma pergunta-direta “qualitativamente” mensurável, que tem como variável de interesse a “eficácia” e como limite de escala superior a “excelência”, resultando num Direcionador de Risco Nota do tipo 5 (DRN5), automaticamente vinculado à atividade nº 1.1.1 pela ferramenta de banco de dados (Figura 29).

DRN_Input	
Código	1
Atividade	1.1.1
Pergunta-Direta	A Instituição possui sua própria Política de Gestão da Radioproteção com métodos definidos para divulgação e avaliação da sua conscientização junto aos IOE's?
Evidências-Objetivas	Avaliar os métodos empregados para garantir a divulgação e avaliar o grau de conscientização da Política de Gestão de Radioproteção pelos IOE's. Há perguntas na avaliação dos treinamentos sobre a Política de Gestão da Radioproteção da empresa?
Métrica	Qualitativo
Variável	Eficácia
Escala	Excelência
DRN	QualitativoEficáciaExcelência
Cod_DRN	DRN5

Figura 29: Formulário DRN Input preenchido com métrica qualitativa, variável eficácia e escala de excelência relativo à atividade nº 1.1.1 vinculada automaticamente ao DRN5

Como segundo exemplo, é possível encontrar na próxima figura o formulário “DRN Input” relativo à atividade nº 1.3.2, que apresenta numa única tela a seguinte pergunta-direta:

O Documento Oficial da Licença está atualizado e válido? O titular do Documento Oficial da Licença do licenciado permanece o mesmo? O mesmo supervisor permaneceu por mais de 1 ano? Se não, o Formulário Oficial correspondente foi enviado para notificação do órgão regulador?

E, seu respectivo rol de evidências objetivas:

Solicitar o Documento Oficial de Licença para: (1) Verificar sua validade; (2) Comparar o nome do Titular presente no momento da vistoria regulatória com o nome do Titular no Documento Oficial de Licença; (3) Verificar a data de contratação do Supervisor de Proteção Radiológica (RPS); e (4) Caso contrário, solicitar o comprovante de envio do Formulário Oficial de Alteração de Dados Cadastrais correspondente ao Órgão Regulador.

Com base na pergunta-direta e nas evidências-objetivas reproduzidas acima e trazidas automaticamente da base de dados pela ferramenta de banco de dados relativas à atividade nº 1.3.2, é possível preencher os campos “métrica”, “variável” e “escala” para definir que esta atividade específica de minimização de risco nº 1.3.2, corresponde a uma pergunta-direta “quantitativamente” mensurável, que se refere a uma variável do tipo “objetiva” e cuja escala é do tipo “booleana”, resultando num Direcionador de Risco Nota do tipo 1 (DRN1), automaticamente vinculado à atividade nº 1.3.2 pela ferramenta de banco de dados (Figura 30).

DRN_Input	
Código	9
Atividade	1.3.2
Pergunta-Direta	O Ofício de Autorização para Operação está válido? Permanece o mesmo titular da instalação do Ofício de Autorização? Permanece o mesmo supervisor há mais de 1 ano? Foi enviado formulário correspondente, caso negativo?
Evidências-Objetivas	Requerer o Ofício de Autorização para: (1) verificar validade; (2) confrontar o nome do Titular presente no momento da inspeção regulatória com nome do Titular constante do Ofício de Autorização; (3) checar a data de contratação do SPR; e (4) Caso contrário, exigir o protocolo de envio do FADC (Formulário de Alteração de Dados Cadastrais) correspondente à CNEN?
Métrica	Quantitativo
Variável	Direto
Escala	Normal
DRN	QuantitativoDiretoNormal
Cod_DRN	DRN1

Figura 30: Formulário DRN Input preenchido com métrica quantitativa, variável objetiva e escala tipo booleana relativo à atividade mapeada 1.3.2 vinculada automaticamente ao DRN1

Com a conclusão de todas as definições de DRN correspondentes às suas sessenta e oito perguntas diretas relacionadas, é atingido o final do estágio 3 do roteiro de implementação da ARP (Figura 7).

IV.5 Definição de Valores para Classes de Risco das Atividades (DRA)

De acordo com o estágio 4 do procedimento de implementação do ARP (Figura 5), é necessário definir os valores das classes de risco com base na classificação ABC de Pareto para obter uma base de avaliação de risco eficaz. Concluído este estágio, é definida a pontuação máxima que um licenciado das áreas de Gamagrafia ou de Medidores Nucleares poderia ser almejar alcançar numa Avaliação de Risco Parametrizada (ARP).

Conforme estabelecido no passo 23 do fluxograma de implementação do ARP, é necessário definir o rol de valores a serem simulados, avaliando em cada rodada de simulação, se esses valores propostos: Estabelecem um intervalo muito amplo (passo 24 do fluxograma); ou estabelecem um intervalo muito disperso (passo 25 do fluxograma), com base nos Critérios de Classificação ABC de Pareto.

IV.5.1 Primeira Rodada de Simulação de Valores

Na rodada de simulação número 1, foi escolhida uma ampla faixa de variação de valores espalhados entre si para garantir que 20% das perguntas diretas correspondessem a 80% do risco, conforme estabelecido pelo Princípio de Classificação ABC de Pareto. Portanto, os valores definidos para cada uma das seis classes de risco de atividade foram: 35, 70, 100, 300, 1500 e 2000, que foram combinados para produzir duas matrizes diferentes, de acordo com suas possíveis combinações de (1) impacto e probabilidade de ocorrência do evento de risco; e (2) método de avaliação e frequência da atividade de minimização de risco. (Figura 31).

1ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco:									
(1) Valores das Classes de Risco para DRA1 (Impacto x Probabilidade):					(2) Valores das Classes de Risco para DRA2 (Método x Frequência):				
Impacto		Probabilidade			Método		Frequência		
		Baixo	Médio	Alto			Baixo	Médio	Alto
	Baixo	35	70	100		Amostragem	35	70	100
	Médio	70	300	1500		Gradual	70	300	1500
Alto		100	1500	2000		Sempre	100	1500	2000

Figura 31: 1ª Rodada de Valores atribuídos às Classes de Risco

Utilizando a ferramenta de banco de dados criada para auxiliar na implementação da modelagem de Avaliação de Risco Parametrizada nas áreas de ensaios de raios gama e medidores industriais radioativos, determinou-se o número de questões diretas vinculadas a cada classe de direcionadores de risco de atividade e calculou-se a pontuação máxima possível de 29.335 pontos, que poderia ser alcançada por cada classe,

por meio da aplicação do modelo matemático adotado na metodologia ARP que será apresentado na sequência. (Figura 32).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas			Pontuação		
	QTD	%	% Acum	Total	%	% Acum
35	27	39,7%	39,7%	945	3,2%	3,2%
70	7	10,3%	50,0%	490	1,7%	4,9%
100	8	11,8%	61,8%	800	2,7%	7,6%
300	12	17,6%	79,4%	3.600	12,3%	19,9%
1500	9	13,2%	92,6%	13.500	46,0%	65,9%
2000	5	7,4%	100,0%	10.000	34,1%	100,0%
Total	68			29.335		

Figura 32: Quantidades de Perguntas associadas às Classes ABC de Pareto na 1ª Rodada de Simulação de Valores

O Princípio de Pareto¹³ permite identificar e priorizar as causas mais significativas para um determinado efeito, priorizando esforços e recursos nos pontos que realmente fazem diferença. Com base nele é possível afirmar que 20% das atividades geram 80% dos resultados, correspondendo a classe A. Na direção oposta, temos a Classe C composta pelo grupo formado por 80% das atividades, mas que representam apenas 20% dos resultados. Adaptando a Curva ABC de Pareto à metodologia ARP, é possível representar as três classes de risco, sendo o número de atividades representado no eixo x e risco representado no eixo y (Figura 33).

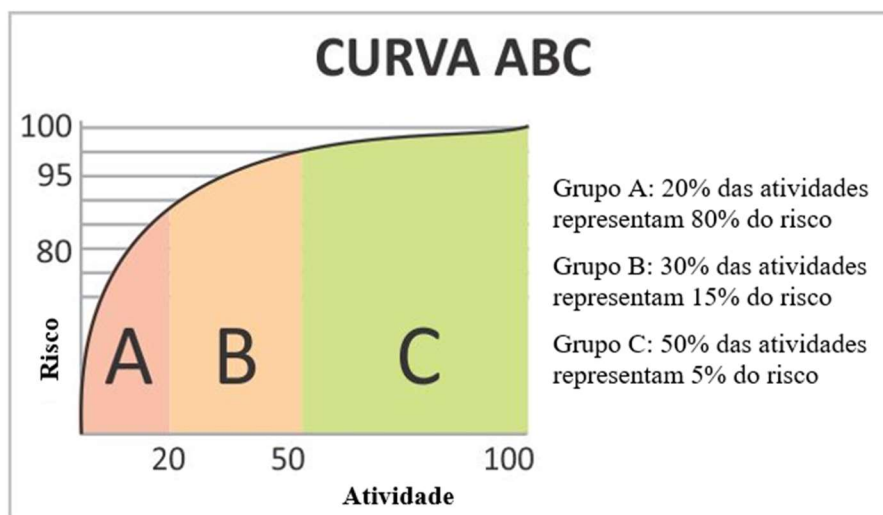


Figura 33: Curva ABC de Pareto

¹³ PARETO, Vilfredo, *Cours d'économie politique* (1897)

Reagrupando os valores dessas seis classes de risco utilizando o critério de classificação ABC de Pareto é possível concluir, através da primeira rodada de simulação ARD considerando como valores das classes de risco: 30, 75, 100, 300, 1500 e 2000, que foram associados a cada uma das 68 questões diretas, que foi possível encontrar as proporções aproximadas da classificação ABC de Pareto: Classe A: 20% dos itens representando 80% da pontuação máxima; Classe B: 30% dos itens representando 15% da pontuação máxima; e Classe C: 50% dos itens representando 5% da pontuação máxima, essas proporções foram calculadas da seguinte forma (Figura 34).

Valor da Classe de Risco 2000: 05 questões diretas (7,4%), correspondendo a 34,1% do total de pontos
 (+) *Valor da Classe de Risco 1500: 09 questões diretas (13,2%); correspondendo a 46,0% do total de pontos*
 (=) *Classe de Risco A: 14 questões diretas (20,6%), correspondendo a 80,1% do total de pontos*

Classe de Risco Valor 300: 12 questões diretas (17,6%), correspondendo a 12,3% do total de pontos
 (+) *Classe de Risco Valor 100: 08 questões diretas (11,8%), correspondendo a 2,7% do total de pontos*
 (=) *Classe de Risco B: 20 questões diretas (29,4%), correspondendo a 15,0% do total de pontos*

Classe de Risco Valor 75: 07 questões diretas (10,3%), correspondendo a 1,7% do total de pontos
 (+) *Classe de Risco Valor 50: 27 questões diretas (39,7%), correspondendo a 3,2% do total de pontos*
 (=) *Classe de Risco C: 34 questões diretas (50,0%), correspondendo a 4,9% dos pontos*

Classe do Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas			Pontuação		
	QTD	%	% Acum	Total	%	% Acum
A	14	20,6%	20,6%	28.000	80,1%	80,1%
B	20	29,4%	50,0%	6.000	15,0%	95,1%
C	34	50,0%	100,0%	1.190	4,9%	100,0%
Total	68			29.335		

Figura 34: Classificação ABC de Pareto após 1ª Rodada de Valores das Classes de Risco

Além do Princípio ABC de Pareto, foi criada outra restrição do modelo ARP intitulada “Tamanho Limite de Fatia por Processo”, que estabelece o limite mínimo de tamanho de fatia de pizza para cada um dos processos de minimização de risco. Por exemplo, com base na simulação de valores da rodada 1 do ARD, que resultou em três fatias menores que 3%, é possível definir a primeira regra de restrição de fatia, que afirma: Nenhuma fatia de processo deve ser menor que 5% (Figura 35).

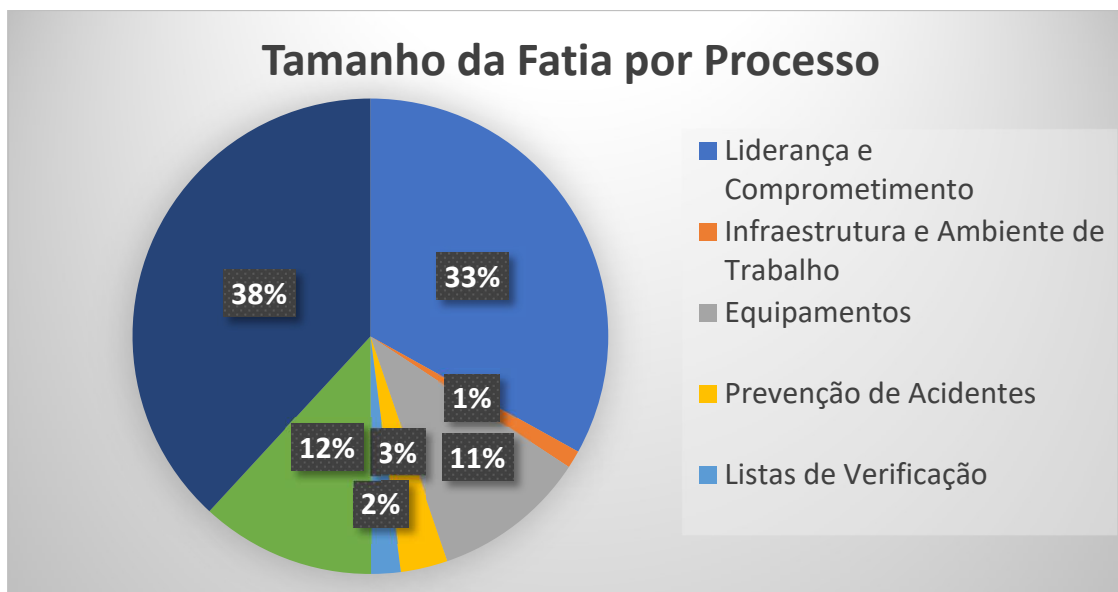


Figura 35: Tamanhos de Fatias por Processos resultantes da 1ª Rodada de Simulação de Valores para Classes de Risco

IV.5.2 Segunda Rodada de Simulação de Valores

Para resolver esse problema, foi produzida a rodada de simulação número 2, escolhendo novos valores para os quatro primeiros valores das seis classes de risco de atividade, que se tornaram: 100, 250, 750, 1000, 1500 e 2000, os quais foram combinados para produzir duas matrizes diferentes, de acordo com suas possíveis combinações de (1) impacto e probabilidade de ocorrência do evento de risco; e (2) método de avaliação e frequência da atividade de minimização de risco. (Figura 36).

2ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco:

(1) Valores das Classes de Risco para DRA1 (Impacto x Probabilidade):

		Probabilidade		
		Baixo	Médio	Alto
Impacto	Baixo	100	250	750
	Médio	250	1000	1500
	Alto	750	1500	2000

(2) Valores das Classes de Risco para DRA2 (Método x Frequência):

		Frequência		
		Baixo	Médio	Alto
Método	Amostragem	100	250	750
	Gradual	250	1000	1500
	Sempre	750	1500	2000

Figura 36: 2ª Rodada de Valores atribuídos às Classes de Risco

Mais uma vez, utilizando a ferramenta de banco de dados criada para auxiliar na implementação da modelagem de Avaliação de Risco Parametrizada nas áreas de ensaios de raios gama e medidores industriais radioativos, determinou-se o número de questões diretas vinculadas a cada classe de direcionadores de risco de atividade e calculou-se a pontuação máxima possível de 50.000 pontos, que poderia ser alcançada por cada classe, por meio da aplicação do modelo matemático adotado na metodologia ARP que será apresentado na sequência. (Figura 37).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas			Pontos		
	Qtd	%	% Acum	Total	%	% Acum
100	15	22,1%	22,1%	1.500	3,0%	3,0%
250	21	30,9%	52,9%	5.250	10,5%	13,5%
500	1	1,5%	54,4%	500	1,0%	14,5%
750	7	10,3%	64,7%	5.250	10,5%	25,0%
1000	7	10,3%	75,0%	7.000	14,0%	39,0%
1500	7	10,3%	85,3%	10.500	21,0%	60,0%
2000	10	14,7%	100,0%	20.000	40,0%	100,0%
Total	68			50.000		

Figura 37: Quantidades de Perguntas-Diretas associadas às Classes ABC de Pareto após 2ª Rodada de Simulação de Valores

Reagrupando os valores dessas seis classes de risco utilizando o critério de classificação ABC de Pareto é possível concluir, através da segunda rodada de simulação ARD considerando como valores das classes de risco: 100, 250, 750, 1000, 1500 e 2000, que foram associados a cada uma das 68 questões diretas, que foi possível encontrar as seguintes proporções da classificação ABC de Pareto: Classe A: 25% dos itens representando 61% da pontuação máxima; Classe B: 22,1% dos itens representando 25,5% da pontuação máxima; e Classe C: 52,9% dos itens representando 13,5% da pontuação máxima, essas proporções foram calculadas da seguinte forma (Figura 38).

*Classe de Risco Valor 2000: 10 questões diretas (14,7%), correspondendo a 40,0% do total de pontos
(+) Classe de Risco Valor 1500: 07 questões diretas (10,2%); correspondendo a 21,0% do total de pontos
(=) Classe de Risco A: 17 questões diretas (25,0%), correspondendo a 61,0% do total de pontos*

*Classe de Risco Valor 300: 06 questões diretas (8,8%), correspondendo a 12,0% do total de pontos
(+) Classe de Risco Valor 100: 09 questões diretas (13,2%), correspondendo a 13,5% do total de pontos
(=) Classe de Risco B: 15 questões diretas (22,1%), correspondendo a 25,5% do total de pontos*

*Classe de Risco Valor 75: 21 perguntas diretas (30,9%), correspondendo a 10,5% do total de pontos
(+) Classe de Risco Valor 50: 15 perguntas diretas (22,1%), correspondendo a 3,0% do total de pontos
(=) Classe de Risco C: 36 perguntas diretas (52,9%), correspondendo a 13,5% dos pontos*

Verificando a primeira restrição de modelagem da ARP intitulada “Princípio ABC de Pareto” com base nos valores de simulação da rodada número 2 dos valores das classes de risco, é possível concluir que os ajustes de valores combinados com as reclassificações de perguntas diretas foram capazes de sustentar os parâmetros das classes ABC de Pareto razoavelmente estáveis em termos de suas proporções. (Figura 38).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas			Pontuação		
	QTD	%	% Acum	Total	%	% Acum
A	17	25,0%	25,0%	34.000	61,0%	61,0%
B	15	22,1%	47,1%	11.250	25,5%	86,5%
C	36	52,9%	100,0%	9.000	13,5%	100,0%
Total	68			50.000		

Figura 38: Classificação ABC de Pareto após 2ª Rodada de Valores das Classes de Risco

IV.5.3 Regras de Tamanhos Limites das Fatias por Processo

Verificando a segunda restrição do modelo ARP intitulada “Process Slice Size Limit” na rodada 2 de valores de simulação do ARD, é possível declarar outras quatro regras de tamanho de fatia de processo (Figura 39):

- 1ª regra: Nenhuma fatia de processo deve ser menor que 5%
- 2ª regra: A fatia de Liderança e Comprometimento deve ser sempre maior que 25%
- 3ª regra: A fatia de Relatórios e Gestão do Conhecimento deve ser próxima a 20%
- 4ª regra: As fatias de Equipamentos, Prevenção de Acidentes e Recursos Humanos nunca devem ser menores que 12% cada
- 5ª regra: As fatias de Checklists, Infraestrutura e Ambiente de Trabalho combinadas devem ser próximas a 20%.

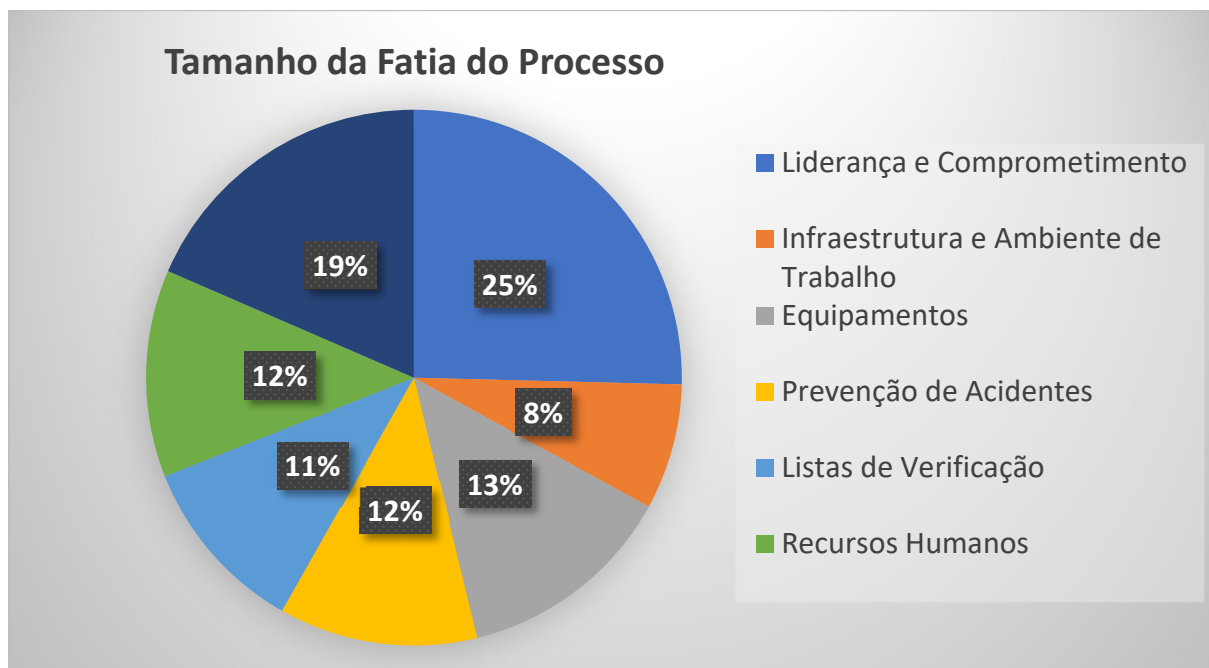


Figura 39: Tamanhos de Fatias por Processos resultantes da 2ª Rodada de Simulação de Valores para Classes de Risco

Além disso, a 2ª rodada de simulação de valores das classes de risco demonstrou que, as redistribuições realizadas nos valores das classes de risco associados às perguntas-diretas foram suficientes para garantir o atendimento a ambas as restrições do modelo da ARP, quais sejam: (1) a da Classificação ABC de Pareto e (2) a das Regras de Limites de Tamanho das Fatias dos Processos.

Em resumo, foram realizadas as seguintes reclassificações por meio da migração de perguntas-diretas entre processos:

- ✓ Uma das 10 perguntas-diretas, originalmente relacionadas às atividades integrantes do processo de Relatórios e Gestão do Conhecimento, migrou para o processo de Recursos Humanos.
- ✓ Com isso, o processo Recursos Humanos passa de 12 para 13 perguntas-diretas associadas às suas atividades mapeadas; e
- ✓ O processo Relatórios e Gestão do Conhecimento passa de 10 para 9 perguntas-diretas associadas às suas atividades mapeadas.

E, ainda, por meio de mudanças nos valores das classes de risco:

- ✓ O tamanho da fatia do processo “Liderança e Comprometimento” passou de 33,1% para 25,4%.

- ✓ O tamanho da fatia do processo “Infraestrutura e Ambiente de Trabalho” passou de 1,2% para 7,6%
- ✓ O tamanho da fatia do processo “Equipamentos” passou de 10,5% para 13,2%
- ✓ O tamanho da fatia do processo “Prevenção de Acidentes” passou de 3,2% para 12,0%
- ✓ O tamanho da fatia do processo “Listas de Verificação” passou de 2,0% para 10,8%
- ✓ O tamanho da fatia do processo “Recursos Humanos” passou de 11,9% para 12,5%
- ✓ O tamanho da fatia do processo “Relatórios e Gestão de Informações” passou de 38,2% para 18,5%

1ª Rodada da Simulação de Valores das Classes de Risco:

Processo		Perguntas-Diretas		Direcionador de Risco	
1	LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO	13	19,1%	9.710	33,1%
2	INFRAESTRUTURA E AMBIENTE DE TRABALHO	9	13,2%	350	1,2%
3	EQUIPAMENTOS	11	16,2%	3.075	10,5%
4	PREVENÇÃO DE ACIDENTES	6	8,8%	935	3,2%
5	LISTAS DE VERIFICAÇÃO (CHECKLISTS)	7	10,3%	575	2,0%
6	RECURSOS HUMANOS	12	17,6%	3.485	11,9%
7	GESTÃO DE INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO	10	14,7%	11.205	38,2%
Total geral		68		29.335	

Figura 40: Pontuação Máxima por Processo após 1ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco

2ª Rodada da Simulação de Valores das Classes de Risco:

Processos		Perguntas-Diretas		DRA	
1	LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO	13	19,1%	12.700	25,4%
2	INFRAESTRUTURA E AMBIENTE DE TRABALHO	9	13,2%	3.800	7,6%
3	EQUIPAMENTOS	11	16,2%	6.600	13,2%
4	PREVENÇÃO DE ACIDENTES	6	8,8%	5.750	11,5%
5	LISTAS DE VERIFICAÇÃO (CHECKLISTS)	7	10,3%	5.400	10,8%
6	RECURSOS HUMANOS	13	19,1%	6.500	13,0%
7	GESTÃO DE INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO	9	13,2%	9.250	18,5%
Total geral		68		50.000	

Figura 41: Pontuação Máxima por Processo após 2ª Rodada de Simulação de Valores das Classes de Risco

IV.6 Checagem das Métricas de Avaliação das Atividades de Minimização de Risco

A métrica adotada para avaliar a eficácia da alocação dos recursos nas atividades de minimização de risco deve ser criticada por meio da interpretação dos resultados

obtidos pelo agrupamento dos Direcionadores de Risco Nota segundo a classificação ABC de Pareto (Figura 42).

Pareto DRN						
Direcionador Risco Nota (DRN)						
DRN1	(Não = 0, Sim ou N/A = 1)			Quantitativo	Direto	
	Qtd perguntas	13	% 19,12%	Total pontos	4.850	% 9,7%
DRN-1	(Sim ou N/A = 0, Não = 1)			Quantitativo	Direto	
	Qtd perguntas	1	% 1,47%	Total pontos	100	% 0,2%
DRN2	(N/A ou <25% = 1; <33% = 0,5; >33% = 0)			Quantitativo	Eficácia	
	Qtd perguntas	2	% 2,94%	Total pontos	1.750	% 3,5%
DRN3	(<95% = 0; >95% = 0,25; >98% = 0,5; 100% = 1)			Quantitativo	Eficácia	
	Qtd perguntas	9	% 13,24%	Total pontos	6.750	% 13,5%
DRN4	(Baixo(a) = 0; Médio(a) = 0,5; Alto(a) = 1)			Qualitativo	Intensidade	
	Qtd perguntas	2	% 2,94%	Total pontos	3.500	% 7,0%
DRN5	(Insuficiente = 0; Suficiente = 0,5; Eficaz = 0,75; Excelente = 1)			Qualitativo	Eficácia	
	Qtd perguntas	37	% 54,41%	Total pontos	30.600	% 61,2%
DRN6	(Eventualmente = 0; Frequentemente = 0,5; Sempre = 1)			Qualitativo	Transação	
	Qtd perguntas	4	% 5,88%	Total pontos	2.450	% 4,9%
Total		68			50.000	

Figura 42: Classificação ABC de Pareto dos Direcionadores de Risco Nota (DRN)

Por meio da aplicação da metodologia ARP ao setor nuclear brasileiro nas áreas de gamagrafia industrial e de medidores nucleares, foram definidos sete tipo de Direcionadores de Risco Nota (DRN), com métricas específicas capazes de avaliar a eficácia da alocação dos recursos nas sessenta e oito atividades de minimização de risco mapeadas (Figura 42):

- ✓ Classe A: Composta pelo Direcionador de Risco Nota do tipo 5 (DRN5), correspondente à métrica “qualitativa” numa escala de “eficácia” que varia de “Insuficiente” até “Excelente”, por ser a classe de maior frequência (moda), com, aproximadamente, 55% das perguntas-diretas, correspondendo a 62% da pontuação máxima possível de ser atingida pelo licenciado.
- ✓ Classe B: Composta pelos Direcionadores de Risco Nota dos tipos 1, 3 e 4 (DRN1, DRN3 e DRN4), com 35,3% das perguntas-diretas correspondendo a 30,2% da pontuação máxima possível de ser atingida pelo licenciado.
- ✓ Classe C: Composta pelos Direcionadores de Risco Nota dos tipos -1, 2 e 6 (DRN-1, DRN2 e DRN6), com 10,29% das perguntas-diretas

correspondendo a 8,6% da pontuação máxima possível de ser atingida pelo licenciado.

Numa primeira análise, seria possível criticar o elevado grau de concentração no DRN5 caracterizado por uma métrica qualitativa, contendo alta subjetividade. Porém, para combater a subjetividade de julgamento, a metodologia ARP estabelece o rol de evidências objetivas a serem colhidas pelo fiscal no momento da inspeção regulatória para cada pergunta-direta formulada e, ainda, os limites da escala de pontuação correspondente a cada tipo de Direccionador de Risco Nota.

Ademais, como toda a população de licenciados deverá ser avaliada com base na pontuação máxima possível de ser alcançada, é possível garantir a acurácia e repetibilidade dos resultados, ainda que sejam realizadas duas inspeções regulatórias por dois inspetores distintos.

IV.7 Resultados da Aplicação da Metodologia ARP

Com a conclusão do estágio 4 do modelo lógico da ARP, após finalizar todos os ajustes para modelar a metodologia ARP aplicada às áreas de Gamagrafia e Medidores Nucleares, resta estabelecida a “*framework*”, ou seja, a métrica capaz de avaliar a eficácia da alocação de recursos e garantir a minimização de riscos indiretos, permitindo sumarizar os seguintes resultados:

- ✓ 50.000 é a pontuação máxima possível de ser atingida por um licenciado da área de gamagrafia ou de medidores nucleares.
- ✓ 68 atividades de minimização de risco foram mapeadas, sendo elaboradas respectivos perguntas-diretas visando apurar a eficácia da alocação de recursos.
- ✓ 25 subprocessos mapeados permitem identificar oportunidades de redistribuição de recursos entre atividades.
- ✓ 7 processos foram mapeados com a definição das cinco regras de limites de tamanhos de fatias.
- ✓ 2 Direccionadores de Risco Atividade foram definidos e atribuídos a cada uma das 68 atividades mapeadas, sendo seus valores simulados até que

o modelo matemático permitisse obter resultados compatíveis com as regras dos limites de tamanhos de fatias.

- ✓ 7 Direcionadores de Risco Nota foram definidos e atribuídos a cada uma das 68 atividades mapeadas estabelecendo a métrica capaz de permitir ao inspetor definir a nota do licenciado para cada pergunta-direta, com base no rol de evidências-objetivas apresentadas no momento da inspeção regulatória.

Cabe ressaltar como condicionante de validade da metodologia ARP que deve ser definido um ciclo de inspeções regulatórias capaz de abarcar toda população de licenciados das áreas de gamagrafia e de medidores nucleares, sem que possam ser realizados quaisquer ajustes no modelo ARP vigente naquele período.

Após o término do ciclo completo de inspeções abarcando todos os licenciados, a metodologia ARP permite a eliminação de perguntas-diretas que se tornem obsoletas para avaliar determinada atividade de minimização de risco e o acréscimo de novas.

CAPÍTULO V: Modelo Matemático e Resultados

V.1 Modelo Matemático da ARP

Uma vez concluídas as etapas anteriores do modelo, é necessário implementar um modelo matemático que permita calcular as notas atribuídas pelo inspetor a cada uma das questões diretas avaliadas com base nas evidências objetivas apresentadas pelo licenciado durante a inspeção regulatória.

Considere:

$i = \text{Processo}$

$j = \text{Pergunta-Direta}$

$W_{i,j} = \text{Valor do Direcionador de Risco Atividade atribuído à pergunta-direta “j” do processo “i”}$

$M_{i,j} = \text{Pontuação máxima atingível para a questão direta “j” do processo “i”}$

$\Omega_i^{\text{máx}} = \text{Resultado numérico máximo atingível para o processo “i”}$

$P_{i,j} = \text{Nota atribuída pelo inspetor à questão direta “j” do processo “i”}$

$\Omega_i = \text{Pontuação efetiva do licenciado obtida para o processo “i”}$

$\%i = \text{Resultado percentual alcançado para o processo “i”}$

$\Omega = \text{Resultado numérico ponderado total do licenciado}$

$\% = \text{Resultado percentual total do licenciado}$

(Equação 1)

$$\Omega_i^{\text{máx}} = \sum_{i,j=1}^n (W_{i,j} \times M_{i,j})$$

(Equação 2)

$$\Omega_i = \sum_{i,j=1}^n (W_{i,j} \times P_{i,j})$$

(Equation 3)

$$\%_i = \frac{\Omega_i}{\Omega_i^{m\acute{a}x}} \times 100$$

(Equação 4)

$$\% = \frac{\sum_{i=1}^n \Omega_i}{\sum_{i=1}^n \Omega_i^{m\acute{a}x}} \times 100$$

Para produzir os resultados numéricos da metodologia ARP, o modelo matemático acima é aplicado duas vezes à ferramenta de banco de dados desenvolvida para executá-lo em cada estágio do Processo de Implementação ARP. Na primeira vez, ele produz a pontuação máxima desejável que pode ser alcançada para um licenciado para o processo “i” (Equação 1). Na segunda vez, ele produz a pontuação efetiva do licenciado para o processo “i” (Equação 2). Dividir a pontuação efetiva do licenciado pela pontuação máxima desejável e multiplicar esse resultado por cem produz a Pontuação Percentual de Inspeção do Licenciado para o processo “i” (Equação 3). Finalmente, dividir as somas das pontuações efetivas do licenciado pelas pontuações máximas desejáveis do processo “i” até “n” e multiplicar esse resultado por cem produz a Pontuação Percentual ARP do Licenciado (Equação 4) (Figura 43).

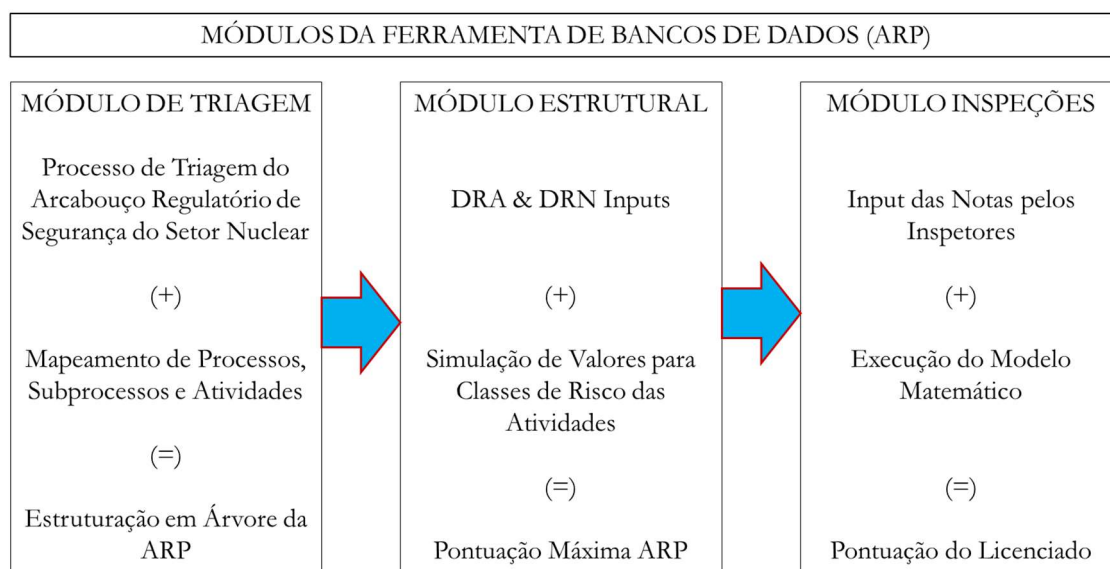


Figura 43: Módulos da Ferramenta de Banco de Dados

V.2 Resultados da Aplicação da Versão Embrionária da ARP aos Licenciados

De 2009 a 2013, foram realizadas trinta e três inspeções reais utilizando o método com base em uma versão embrionária da metodologia ARP, que atestou que:

1. Onze dessas inspeções foram realizadas em gamagrafia, sendo 85% a maior pontuação obtida por um licenciado, 75% a pontuação média e 63% a pontuação mínima.
2. Vinte e duas dessas inspeções foram realizadas em medidores nucleares, sendo 84% a maior pontuação obtida por um licenciado, 63% a pontuação média e 27% a pontuação mínima.
3. Na fase embrionária, foram utilizadas nove métricas diferentes que, após a aplicação do modelo matemático, resultaram em pontuações máximas desejáveis a serem alcançadas por um licenciado variando de 144 a 1035 pontos.
4. A moda (classe de maior frequência) entre as nove métricas adotadas nesse período correspondeu a uma pontuação máxima desejável de 970 pontos, composta por uma estrutura em árvore contendo 67 questões, com pontuações DRA variando de 3 a 50 pontos, divididas em 9 processos e 26 subprocessos.

V.3 Resultados da Versão Atual da Metodologia ARP

Esta pesquisa garantiu a evolução da metodologia ARP certificada pelos atuais avanços da ARP em comparação aos resultados alcançados durante a fase embrionária, conforme demonstrado a seguir:

1. O módulo de triagem garante a consistência da metodologia ARP com as Normas Internacionais de Segurança, permitindo a redistribuição do risco entre processos:
2. Na fase embrionária: 9 processos, 26 subprocessos e 67 perguntas diretas (Figura 44).

Processo		Perguntas-Diretas		Pontuação Máxima	
1	ATUALIZAÇÃO DE DADOS CADASTRAIS	3	4,5%	20	2,1%
2	ASPECTOS GERAIS DA INSPEÇÃO	9	13,4%	150	15,5%
3	SISTEMA DE MONITAÇÃO DE ÁREA	3	4,5%	90	9,3%
4	MEDIDORES DE RADIAÇÃO PORTÁTEIS	6	9,0%	75	7,7%
5	LOCAL DE ARMAZENAMENTO EMISSORES DE F	11	16,4%	80	8,2%
6	DOCUMENTAÇÃO DE TRANSPORTE	2	3,0%	20	2,1%
7	PROGRAMA DE EMERGÊNCIA	11	16,4%	205	21,1%
8	TREINAMENTO DE EQUIPES	4	6,0%	70	7,2%
9	SERVIÇO DE RADIOPROTEÇÃO	18	26,9%	260	26,8%
Total geral		67		970	

Figura 44: Pontuação Máxima por Processo na Fase Embrionária da ARP

3. Na fase atual: 7 processos, 25 subprocessos e 68 perguntas diretas (Figura 45).

Processos		Perguntas-Diretas		Pontuação Máxima	
1	LIDERANÇA E COMPROMETIMENTO	13	19,1%	12.700	25,4%
2	INFRAESTRUTURA E AMBIENTE DE TRABALHO	9	13,2%	3.800	7,6%
3	EQUIPAMENTOS	11	16,2%	6.600	13,2%
4	PREVENÇÃO DE ACIDENTES	6	8,8%	6.000	12,0%
5	LISTAS DE VERIFICAÇÃO (CHECKLISTS)	7	10,3%	5.400	10,8%
6	RECURSOS HUMANOS	13	19,1%	6.250	12,5%
7	GESTÃO DE INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO	9	13,2%	9.250	18,5%
Total geral		68		50.000	

Figura 45: Pontuação Máxima por Processo na Fase Atual da ARP

4. O módulo estrutural garante a adaptabilidade da metodologia, permitindo ajustar as classes de risco com base no Princípio de Pareto e na aplicação das 5 regras de tamanho de fatias, garantindo que:

4.1 Enquanto na fase embrionária, 26,9% das perguntas correspondiam a 50,5% do risco e 73,2% das perguntas correspondiam a 49,5% do risco (Figura 46).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas		Pontuação Máxima	
	QTD	%	Total	%
A	18	26,9%	490	50,5%
B	17	25,4%	255	26,3%
C	32	47,8%	225	23,2%
Total	67		970	

Figura 46: Classificação ABC de Pareto do Modelo de ARP embrionário

4.2 Na fase atual, 25,0% das perguntas-diretas correspondem a 61,0% do risco e 75% das perguntas correspondem a 39% do risco (Figura 47).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)	Perguntas-Diretas		Pontuação Máxima	
	QTD	%	QTD	%
A	17	25,0%	30.500	61,0%
B	15	22,1%	12.750	25,5%
C	36	52,9%	6.750	13,5%
Total	68		50.000	

Figura 47: Classificação ABC de Pareto do Modelo de ARP fase atual

4.3 Na fase embrionária, a adoção da metodologia ARP não possuía rodadas de simulações dos valores de Direcionadores de Risco Atividade para garantir a verificação da conformidade das cinco regras de tamanho de fatias. Na fase atual, a adoção dessa modificação garante a robustez e precisão da metodologia, comprovando a melhoria em termos de atendimento aos requisitos de segurança pelo ajuste das classes de risco (Figura 48).

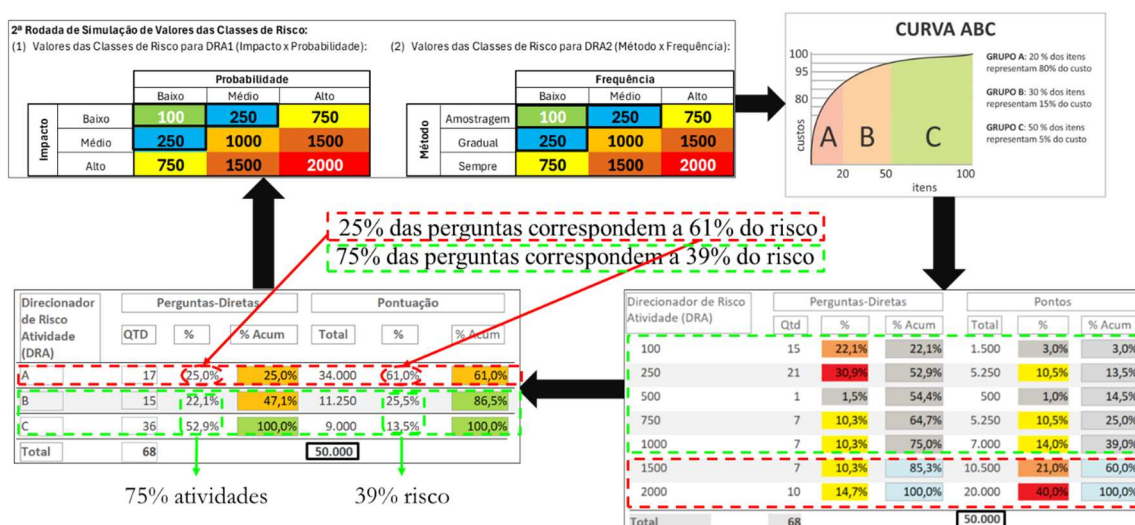


Figura 48: Ajuste das Classes de Risco

Concluimos que a versão atual da metodologia ARP, decorrentes das mudanças implementadas desde a fase embrionária, comprovam a robustez e acurácia no processo de avaliação de risco.

Com a implementação do módulo de inspeções do ARP será possível aplicar a metodologia em inspeções reais da área nuclear no Brasil, além de atender às expectativas

da unidade de controle de fontes de radiação da AIEA, resultando em oportunidades para futuras pesquisas e publicações.

CAPÍTULO VI: Análise de Fragilidade da Metodologia

VI.1 Pré-Requisito para Implementação da Metodologia ARP

A implementação da metodologia ARP deve garantir que todos os licenciados de determinada área de aplicação da energia nuclear sejam avaliados pelo mesmo conjunto de perguntas-diretas e direcionadores de risco, que deve ser mantido inalterado ao longo de determinado período, até completar uma rodada completa de avaliações. Portanto, somente poderá ser iniciada nova rodada de inspeções, após terem sido refeitos todos os processos inerentes à validação da nova “*framework*”.

VI.2 Barreiras de Segurança à Fragilidade da Metodologia

Para combater suposta fragilidade e garantir a acurácia e a replicabilidade dos resultados obtidos com a adoção da modelagem, foram empregadas as seguintes barreiras de segurança intrínsecas à metodologia:

1. Estabelecer direcionadores de risco atividade (DRA), que, por meio da aprendizagem dos inspetores, decorrente da adoção da metodologia, possibilita ajustes nos valores das classes de risco relacionadas à cada pergunta direta.
2. Estabelecer direcionadores de risco nota (DRN), que, por meio da delimitação do rol de possíveis notas a serem geradas pelo inspetor na avaliação das evidências objetivas apresentadas pelo licenciado, permite eliminar o risco de uma mesma pergunta direta ter duas notas diametralmente opostas geradas por dois inspetores.
3. Garantir a minimização da probabilidade de ocorrência de divergência superior à 10% na pontuação total gerada, por meio da aplicação por amostragem da metodologia sobre 5% dos licenciados de determinada área a ser realizada por dois inspetores distintos num mesmo período.
4. Estabelecer como procedimento de implementação da metodologia de avaliação de risco parametrizada que, qualquer licenciado que se julgue prejudicado, fará jus a revisão da sua avaliação por outro agente no mesmo período.

VI.3. Roteiro de Cálculo para Estimativa do Desvio Máximo

A aplicação da metodologia ao setor nuclear brasileiro na área de gamagrafia industrial e medidores nucleares permitiu gerar um quadro resumo da quantidade de perguntas-diretas vinculadas a cada tipo de direcionador de risco atividade e nota (Figura 49).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)							Total	
		Variáveis Quantitativas				Variáveis Qualitativas				
		Classe	Valor	DRN1	DRN-1	DRN2	DRN3	DRN4		DRN5
A	2.000					1	1	7	1	10
A	1.500		2			1		3		7
B	1.000		1				3	2		6
B	750						3	6		9
C	250		5				6	2	6	21
C	100		8	1			1	2	2	15
50.000			16	1	1	15	4	26	5	68

Figura 49: Quadro resumo: Quantidade de perguntas por tipo de DRA e DRN

Como decorrência da parametrização das possíveis notas a serem lançadas pelos inspetores, a partir da avaliação das evidências objetivas apresentadas no momento da inspeção regulatória, é possível afirmar que:

Perguntas-diretas vinculadas a variáveis quantitativas não podem apresentar resultados diferentes.

Tomando como premissa de cálculo, para estimar o desvio máximo possível, que:

Dois inspetores somente poderão divergir na nota lançada a partir da avaliação das evidências objetivas decorrentes de perguntas vinculadas a variáveis qualitativas.

O pior cenário possível foi traçado como sendo aquele decorrente da seguinte situação hipotética:

Dois inspetores aplicarem a avaliação de risco parametrizada sobre um mesmo licenciado em inspeções distintas e divergirem nas notas aplicadas a 100% das perguntas vinculadas a variáveis qualitativas, dentro do limite de divergência correspondente a diferença entre duas notas consecutivas.

Com base no pior cenário traçado acima e a partir da análise dos resultados apresentados no quadro resumo (Figura 49), elaboramos um roteiro para estimar o desvio máximo possível de ocorrer entre pontuações geradas pela aplicação da metodológica de

avaliação de risco parametrizada a um único licenciado, no mesmo período tempo, por dois inspetores distintos em inspeções distintas:

Passo 1: Identificação dos tipos de direcionadores de risco nota vinculados a medição de variáveis qualitativas

A partir dos resultados sumarizados na Figura 49, é possível identificar que foram vinculados à medição de variáveis qualitativas os seguintes direcionadores de risco nota:

DRN4 (Baixo(a) = 0; Médio(a) = 0,5; Alto(a) = 1)

DRN5 (Insuficiente = 0; Suficiente = 0,3; Eficaz = 0,6; Excelente = 0,1); e

DRN6 (Eventualmente = 0; Frequentemente = 0,5; Sempre = 1).

Passo 2: Apuração da quantidade de perguntas-diretas vinculadas a cada tipo de direcionador de risco nota

A partir dos resultados sumarizados na Figura 49, é possível quantificar que 33/68 (48,5%) perguntas-diretas foram vinculadas a variáveis quantitativas e 35/68 (51,5%) foram vinculadas a variáveis qualitativas.

Como para as notas possíveis de serem lançadas pelos inspetores para perguntas-diretas vinculadas a variáveis quantitativas ou booleanas, inexistia hipótese de divergência por premissa, consideramos na análise do desvio máximo possível somente as perguntas vinculadas aos direcionadores de risco nota que medem variáveis qualitativas, sendo:

DRN4: 04 (quatro) perguntas-diretas;

DRN5: 26 (vinte e seis) perguntas-diretas; e

DRN6: 05 (cinco) perguntas-diretas

Passo 3: Determinação da divergência máxima estimada entre duas notas lançadas por dois inspetores distintos em inspeções distintas sob o mesmo licenciado para cada tipo de direcionador de risco nota

I. DRN4: Divergência máxima = 0,5

A divergência máxima estimada em 0,5 (meio), pode ocorrer em duas situações:

I.1. Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “alto(a)” atribuindo a nota 1 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “médio(a)” atribuindo nota 0,5 (meio).

I.2. Para a mesma pergunta-direta em que foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “médio(a)” atribuindo nota 0,5 (meio), enquanto o inspetor 2 julga como “baixo(a)” atribuindo nota 0 (zero).

Obs.: Como premissa de cálculo, foi considerada como improvável a situação de divergência extrema, que, no caso do DRN4, corresponderia a 100% de divergência, a qual ocorreria quando para a mesma pergunta-direta, fossem apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “alto(a)” e atribui a nota 1 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “baixo(a)” e atribui a nota 0 (zero). Portanto, esse cenário foi desconsiderado no escopo de incerteza da metodologia e, caso isso pudesse ocorrer, restaria evidenciado pelo arcabouço jurídico do Órgão Regulador, garantido ao licenciado amplo direito de defesa, contraditório e livre acesso a todos os registros documentais da inspeção regulatória, conforme previsto na legislação.

II. DRN5: Divergência máxima = 0,33

A divergência máxima estimada em 0,33, pode ocorrer em três situações:

II.1. Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “excelente” atribuindo a nota 1,0 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “eficaz” atribuindo a nota 0,66 (sessenta e seis centésimos).

II.2. Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “eficaz” atribuindo a nota 0,66 (sessenta e seis centésimos), enquanto o inspetor 2 julga como “suficiente” atribuindo a nota 0,33 (trinta e três centésimos).

II.3. Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências

objetivas, o inspetor 1 julga como “suficiente” atribuindo a nota 0,33 (trinta e três centésimos), enquanto o inspetor 2 julga como “insuficiente”, atribuindo a nota 0 (zero).

Obs. 1: Como premissa de cálculo, foram consideradas como improváveis as situações de divergência entre notas, que, no caso do DRN5, corresponderiam a pular uma ou mais classes de resposta. Tal situação, ocorreria quando para a mesma pergunta-direta fossem apresentadas as mesmas evidências objetivas, e: (1) O inspetor 1 julga como “excelente”, atribuindo a nota 1,0 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “suficiente”, atribuindo a nota 0,33 (trinta e três centésimos); ou (2) O inspetor 2 julga como “eficaz”, atribuindo a nota 0,66 (sessenta e seis centésimos) e o inspetor 2 julga como “insuficiente”, atribuindo a nota zero; ou (3) O inspetor 1 julga como “excelente”, atribuindo a nota 1,0 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “insuficiente”, atribuindo a nota 0 (zero).

Obs. 2: A estimativa de desvio máximo considera divergência em 100% das perguntas, para compensar possíveis divergências de julgamento que pulem uma ou mais classes de resposta.

III. DRN6 (Eventualmente = 0; Frequentemente = 0,5; Sempre = 1).

A divergência máxima estimada em 0,5 (meio), pode ocorrer em duas situações:

III.1. Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “sempre” atribuindo nota 1 (um), enquanto o inspetor 2 julga como “frequentemente” atribuindo nota 0,5 (meio).

III.2 Para a mesma pergunta-direta foram apresentadas as mesmas evidências objetivas, o inspetor 1 julga como “frequentemente” atribuindo nota 0,5 (meio), enquanto o inspetor 2 julga como “eventualmente” atribuindo nota 0 (zero).

Obs.: Como premissa de cálculo, foi considerada improvável a situação de divergência extrema que ocorreria quando, para a mesma pergunta-direta, fossem apresentadas as mesmas evidências objetivas e o inspetor 1 julgasse

como “sempre” atribuindo a nota 1 (um), enquanto o inspetor 2 julgasse como “eventualmente” atribuindo a nota 0 (zero).

Passo 4: Cálculo do desvio máximo

Considerando divergência em 100% das notas geradas pelos inspetores na avaliação de risco de um mesmo licenciado em duas inspeções distintas, o desvio máximo calculado foi de 11.461 pontos (Figura 50).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Total
		Variáveis Qualitativas			
		DRN4	DRN5	DRN6	
		Desvio Máximo			
Classe	Valor	0,5	0,33	0,5	
A	2000	1.000	4.620	-	9
A	1500	-	1.485	-	3
B	1000	-	660	-	2
B	750	-	1.485	-	6
C	250	250	495	250	10
C	100	50	66	100	5
32.000		1.300	8.811	1.350	35
Erro Máximo Possível Pontuação				11.461	
Erro Máximo Possível Percentual				22,9%	

Figura 50: Cálculo do desvio Máximo

Passo 5: Cálculo desvio estimado

Considerando divergência em 46% das notas geradas pelos inspetores na avaliação de risco de um mesmo licenciado em duas inspeções distintas, o desvio estimado é de 5.848 pontos (Figura 51).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota			Total
		Variáveis Qualitativas			
		DRN4	DRN5	DRN6	
		Desvio Máximo Estimado ^(*1)			
Classe	Valor	0,5	0,33	0,5	
A	2000	1.000	1.980	1.000	5
A	1500	-	495	-	1
B	1000	-	330	-	1
B	750	-	495	-	2
C	250	125	165	125	4
C	100	50	33	50	3
Total	15.300	1.175	3.498	1.175	16
Desvio Máximo Estimado Pontuação				5.848	
Desvio Máximo Estimado Percentual				11,7%	

Figura 51: Cálculo do desvio estimada

VI.4. Desenvolvimento de Futuras Pesquisas

Como proposta de desenvolvimento para futuros trabalhos nessa linha de pesquisa, identificamos como oportunidade de aperfeiçoamento da metodologia, visando eliminar a possibilidade de interferência do desvio estimado na classificação de risco dos licenciados, a possibilidade de serem estabelecidas regiões de sobreposição de valores comuns a ambas as faixas, sem comprometer a classificação de risco de qualquer licenciado, por meio do emprego da Lógica Fuzzy, de modo estabelecer as fronteiras nebulosas entre duas faixas de classe de risco consecutivas, com base na inferência fuzzy, transformando números “crispy” em “fuzzy”.

A dimensão da base dos triângulos das zonas nebulosas foi apurada com base na simulação de todas as combinações possíveis de divergências para cada tipo de direcionador de risco nota (Figura 52 a Figura 58).

#	Divergência		
	DRN4	DRN5	DRN6
1	-	-	0,50
2	0,50	-	-
3	-	-	1,00
4	1,00	-	-
5	0,50	-	1,00
6	1,00	-	0,50
7	1,00	-	1,00
8	-	0,33	-
9	-	0,33	0,50
10	0,50	0,33	-
11	-	0,33	1,00
12	1,00	0,33	-
13	0,50	0,33	1,00
14	1,00	0,33	0,50
15	1,00	0,33	1,00
16	-	0,66	-
17	-	0,66	0,50
18	0,50	0,66	-
19	-	0,66	1,00
20	1,00	0,66	-
21	0,50	0,66	1,00
22	1,00	0,66	0,50
23	1,00	0,66	1,00
24	-	1,00	-
25	-	1,00	0,50
26	0,50	1,00	-
27	-	1,00	1,00
28	1,00	1,00	-
29	0,50	1,00	1,00
30	1,00	1,00	0,50
31	1,00	1,00	1,00

Figura 52: Possíveis combinações de divergências entre notas aplicadas por dois inspetores distintos

Na sequência, calculamos os desvios correspondente a cada uma das combinações possíveis de divergências entre notas de dois inspetores distintos na aplicação da avaliação de risco parametrizada para o mesmo licenciado (Figura 53).

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação	
		Variáveis Qualitativas			1		2		3		4		5	
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6										
A	2.000	1	7	1	-	-	1.000	1.000	-	-	-	-	2.000	2.000
A	1.500		3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	1.000		2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	750		6		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	250	2	6	2	-	-	250	250	-	-	-	500	500	500
C	100	1	2	2	-	-	100	50	-	-	200	100	50	200
		4	26	5	-	-	1.350	1.300	-	-	2.700	2.600	-	2.700
							1.350	1.300			2.700	2.600		

Figura 53: Simulações de 1 a 5 das possíveis combinações de divergências entre notas

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação	
		Variáveis Qualitativas			6		7		8		9		10		11	
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6												
A	2.000	1	7	1	2.000	-	1.000	2.000	-	4.620	-	-	4.620	1.000	1.000	4.620
A	1.500		3		-	-	-	-	-	1.485	-	-	1.485	-	-	1.485
B	1.000		2		-	-	-	-	-	660	-	-	660	-	-	660
B	750		6		-	-	-	-	-	1.485	-	-	1.485	-	-	1.485
C	250	2	6	2	500	-	250	500	-	495	-	-	495	250	250	495
C	100	1	2	2	100	-	100	100	-	66	-	-	66	100	50	66
		4	26	5	2.600	-	1.350	2.600	-	8.811	-	-	8.811	1.350	1.300	8.811
							3.950	5.300			8.811	10.161			10.111	11.511

Figura 54: Simulações de 6 a 11 das possíveis combinações de divergências entre notas

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação	
		Variáveis Qualitativas			12		13		14		15		16		17	
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6												
A	2.000	1	7	1	2.000	4.620	-	1.000	4.620	2.000	2.000	4.620	2.000	-	9.240	1.000
A	1.500		3		-	1.485	-	-	1.485	-	-	1.485	-	-	2.970	-
B	1.000		2		-	660	-	-	660	-	-	660	-	-	1.320	-
B	750		6		-	1.485	-	-	1.485	-	-	1.485	-	-	2.970	-
C	250	2	6	2	500	495	-	250	495	500	500	495	500	-	990	250
C	100	1	2	2	100	66	-	50	66	200	100	66	200	-	132	100
		4	26	5	2.600	8.811	-	1.300	8.811	2.700	2.600	8.811	2.700	-	17.622	1.350
							11.411			12.811			14.111			18.972

Figura 55: Simulações de 12 a 17 das possíveis combinações de divergências entre notas

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação		Simulação	
		Variáveis Qualitativas			18		19		20		21		22		23	
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6												
A	2.000	1	7	1	1.000	9.240	-	-	9.240	2.000	2.000	9.240	2.000	2.000	9.240	1.000
A	1.500		3		-	2.970	-	-	2.970	-	-	2.970	-	-	2.970	-
B	1.000		2		-	1.320	-	-	1.320	-	-	1.320	-	-	1.320	-
B	750		6		-	2.970	-	-	2.970	-	-	2.970	-	-	2.970	-
C	250	2	6	2	250	990	-	-	990	500	500	990	500	500	990	250
C	100	1	2	2	50	132	-	-	132	200	100	132	200	100	132	100
		4	26	5	1.300	17.622	-	-	17.622	2.700	2.600	17.622	2.700	2.600	17.622	1.350
							18.922			20.322			21.622			21.572

Figura 56: Simulações de 18 a 23 das possíveis combinações de divergências entre notas

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação			Simulação			Simulação			Simulação			Simulação		
		Variáveis Qualitativas			24			25			26			27			28		
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6															
A	2.000	1	7	1	-	14.000	-	-	14.000	1.000	1.000	14.000	-	-	14.000	2.000	2.000	14.000	-
A	1.500		3		-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-
B	1.000		2		-	2.000	-	-	2.000	-	-	2.000	-	-	2.000	-	-	2.000	-
B	750		6		-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-
C	250	2	6	2	-	1.500	-	-	1.500	250	250	1.500	-	-	1.500	500	500	1.500	-
C	100	1	2	2	-	200	-	-	200	100	50	200	-	-	200	200	100	200	-
		4	26	5	-	26.700	-	-	26.700	1.350	1.300	26.700	-	-	26.700	2.700	2.600	26.700	-
					26.700			28.050			28.000			29.400			29.300		
																	30.700		

Figura 57: Simulações de 24 a 29 das possíveis combinações de divergências entre notas

Direcionador de Risco Atividade (DRA)		Direcionador de Risco Nota (DRN)			Simulação			Simulação			Simulação		
		Variáveis Qualitativas			29			30			31		
Classe	Valor	DRN4	DRN5	DRN6									
A	2.000	1	7	1	1.000	14.000	2.000	2.000	14.000	1.000	2.000	14.000	2.000
A	1.500		3		-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-
B	1.000		2		-	2.000	-	-	2.000	-	-	2.000	-
B	750		6		-	4.500	-	-	4.500	-	-	4.500	-
C	250	2	6	2	250	1.500	500	500	1.500	250	500	1.500	500
C	100	1	2	2	50	200	200	100	200	100	100	200	200
		4	26	5	1.300	26.700	2.700	2.600	26.700	1.350	2.600	26.700	2.700
					30.700			30.650			32.000		

Figura 58. Simulações de 29 a 31 das possíveis combinações de divergências entre notas

É possível constatar, a partir da análise das simulações realizadas, que é impossível ocorrer as combinações simuladas correspondentes às discrepâncias extremas nos julgamentos das mesmas evidências objetivas por dois inspetores em duas inspeções distintas para pelo menos um dos direcionadores de risco nota em 100% das perguntas relativas à medição de variáveis qualitativas.

Com base nas simulações realizadas para cálculo do desvio máximo, é possível eliminar as simulações de 15 a 31, resultando o valor de 12800 pontos calculado, supondo que as divergências ocorressem em 100% das perguntas. Aplicando-se um fator de correção para garantir que as divergências prováveis de ocorrer afetem 50% das perguntas, obtemos o desvio médio de 6400 pontos foi empregado no cálculo do tamanho da base do triângulo das zonas nebulosas da lógica fuzzy (Figura 59).

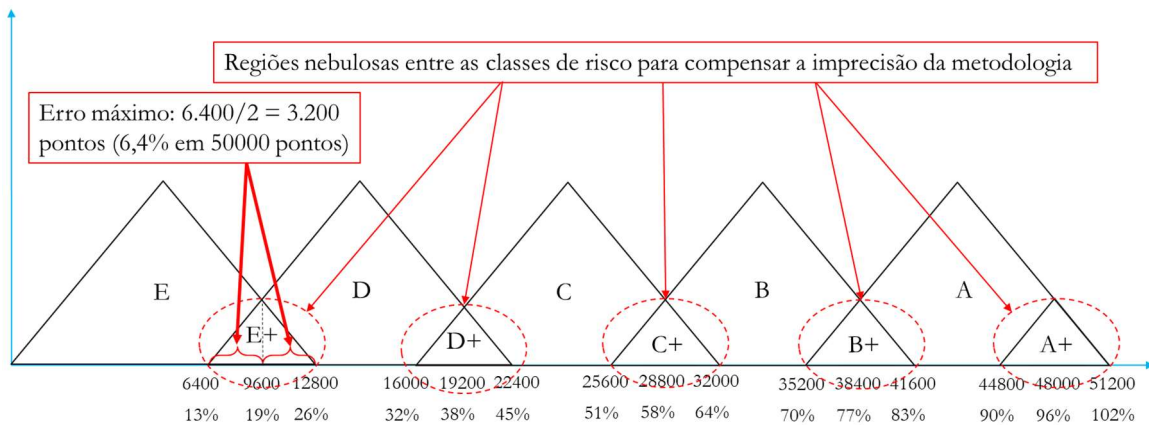


Figura 59: Lógica Fuzzy para eliminação da imprecisão da metodologia

Supondo que determinado licenciado obtivesse 52,3% na avaliação de risco ARP, sua nota corresponderia ao selo de classificação de risco “C+”, dado que essa região inicia aos 51% e termina em 64%.

CAPÍTULO VII: Conclusões

A comparação dos resultados obtidos entre a fase embrionária e atual permite concluir que a implementação da metodologia ARP em futuras inspeções do órgão regulador da área nuclear brasileira garantirá a:

VII.1.1 Estruturação em Árvore

O processo de triagem das normas internacionais e nacionais combinado com o processo de mapeamento das atividades de minimização de risco de determinada área de aplicação da energia nuclear, resulta na estruturação em árvore da metodologia de avaliação de risco. Tal estrutura, por sua vez, permite a gestão estratégica de risco da instalação em três níveis: Estratégico, Tático e Operacional. A nota global gerada pela avaliação de risco parametrizada permite a tomada de decisões em nível estratégico a serem tomadas pela direção da instalação, bem como o controle da evolução intertemporal da classificação de risco da instalação. As notas dos processos e subprocessos mapeados geradas pela avaliação de risco parametrizada permitem a tomada de decisões de nível tático a serem implementadas pelas gerências da instalação. As notas das atividades geradas pela avaliação de risco parametrizada permitem a tomada de decisões de nível operacional a serem implementadas pelos responsáveis pela execução. Em todos os três níveis, a implementação da metodologia gera resultados com precisão e acurácia indispensáveis para elaboração de um plano de ações corretivas que garanta o aperfeiçoamento da alocação de recursos materiais e humanos, por meio da avaliação das causas raízes das falhas mapeadas e controle da sua evolução, garantido a eficácia do processo de gestão de risco da instalação.

VII.1.2 Comparabilidade Intertemporal

A segunda contribuição identificada da metodologia é a comparabilidade intertemporal dos resultados decorrente da pontuação final calculada numa base percentual, como resultado da modelagem matemática adotada, e que permite alterar o número de perguntas e de valores das classes de risco sem comprometer a comparabilidade dos resultados ao longo do tempo, permitindo a alterar a frequência das inspeções a serem realizadas nos licenciados, com base na sua evolução qualitativa e quantitativa (Figura 60).

Licenciado	2023	2024	F-up	Ação (Frequência de Inspeções)
α	89%	91%	Melhor	Expedir Certificado Diferenciado: "Benchmark"
β	80%	90%	Melhor	Expedir Certificado Diferenciado: "Benchmark"
γ	65%	80%	Melhor	Reduzir
ρ	72%	80%	Melhor	Reduzir
τ	62%	75%	Melhor	Manter
ψ	55%	75%	Melhor	Manter
υ	69%	72%	Melhor	Manter
ω	56%	72%	Melhor	Manter
θ	72%	72%	Igual	Manter
ζ	69%	71%	Melhor	Manter
ξ	86%	69%	Pior	Ampliar
σ	64%	68%	Melhor	Manter
ε	68%	65%	Pior	Ampliar
ϕ	68%	65%	Pior	Ampliar
χ	48%	65%	Melhor	Manter
ϖ	58%	62%	Melhor	Manter
ν	45%	60%	Melhor	Manter
η	56%	56%	Igual	Manter
κ	36%	56%	Melhor	Manter
μ	45%	36%	Pior	Ampliar
π	54%	20%	Pior	Suspender Autorização

Figura 60: Comparabilidade Intertemporal da Performance dos Licenciados (Simulação Hipotética)

VII.1.3 Tomada de Decisões Estratégicas

Por meio do estabelecimento de ranking nacional com base na ARP, criar um selo de risco para licenciados, evitar ruptura de mercado e garantir melhor atendimento e orientação na escolha dos locais de atendimento pelo público em geral (Figura 61).

Licenciado	2024	Ranking	Classe
α	91%	1 ^a	A
β	90%	2 ^a	A
γ	80%	3 ^a	B
ρ	80%	4 ^a	B
τ	75%	5 ^a	C
ψ	75%	6 ^a	C
υ	72%	7 ^a	C
ω	72%	8 ^a	C
θ	72%	9 ^a	C
ζ	71%	10 ^a	C
ξ	69%	11 ^a	C
σ	68%	12 ^a	C
ε	65%	13 ^a	C
ϕ	65%	14 ^a	C
χ	65%	15 ^a	C
ϖ	62%	16 ^a	C
ν	60%	17 ^a	C
η	56%	18 ^a	C
κ	56%	19 ^a	C
μ	36%	20 ^a	D
π	20%	21 ^a	E

Figura 61: Ranking de Licenciados e Selo de Segurança Nuclear

Permitindo o planejamento da tomada de decisões estratégicas do ponto de vista da segurança, por meio da possibilidade de estabelecer faixas de aceitação de risco, com base na classificação de risco decorrente das pontuações obtidas pelos licenciados nas inspeções regulatórias a partir da adoção da metodologia ARP (

ARP	Decisão Estratégica
90 a 100%	Expedir Certificado Diferenciado: "Benchmark" (Inspeção quinquenal)
75 a 89%	Reduzir frequência de inspeções (trianual máximo)
50 a 74%	Manter frequência de inpeções
20 a 49%	Ampliar frequência de inspeções (anual mínimo)
0 a 19%	Suspensão da Autorização para Operação

Figura 62).

ARP	Decisão Estratégica
90 a 100%	Expedir Certificado Diferenciado: "Benchmark" (Inspeção quinquenal)
75 a 89%	Reduzir frequência de inspeções (trianual máximo)
50 a 74%	Manter frequência de inpeções
20 a 49%	Ampliar frequência de inspeções (anual mínimo)
0 a 19%	Suspensão da Autorização para Operação

Figura 62: Planejamento de Decisões Estratégicas

Determinar o número atual de licenciados em cada área de aplicação nuclear e radioativa com base nas categorias de selo de risco e estabelecer metas futuras de quantidades mínimas aceitáveis de licenciados por classe de risco (Figura 75).

Área de Aplicação	QTD	Classe de Risco em 2024				
		A	B	C	D	E
Irradiadores GP	26	3	5	12	4	2
Manutenção Eqptos	18	2	6	9	1	0
Medidores Nucleares (CP)	333	33	95	201	2	2
Medidores Nucleares (Moveis)	23	2	5	15	1	0
Prestadoras	21	2	6	10	2	1
Prospecção Petroleo	15	1	2	8	3	1
Radiografia Industria	40	4	12	25	3	3
Técnicas Analíticas	28	1	6	16	3	2

Figura 63: Classificação dos Licenciados por Selo de Segurança em cada Área de Aplicação Nuclear

VII.1.4 Autoaprendizagem e Adaptabilidade

Adaptabilidade da metodologia com base no conhecimento adquirido ao longo dos anos, num processo de autoaprendizagem do sistema por meio do estabelecimento de uma rotina de reavaliação da classificação de risco de cada processo, subprocesso e atividade relacionada a cada pergunta-direta, por meio de: (1) ajustes nos valores atribuídos às classes de direcionadores de risco atividade; (2) eliminação das perguntas-

diretas identificadas como obsoletas a medida que todos os licenciados tenham atingido a pontuação máxima naquele quesito, devendo ser substituídas por novas perguntas mais atuais ou específicas; e (3) a reavaliação das regras de tamanho mínimo de fatia, aferindo a importância de cada processo perante os demais processos de minimização de risco das operações naquela área de aplicação do setor nuclear.

VII.1.5 Parametrização Critérios de Julgamento Reduzindo Subjetividade

Redução da subjetividade dos julgamentos dos inspetores garantido a partir parametrização dos critérios de julgamento das perguntas-diretas pelo inspetor durante a avaliação de risco parametrizada, por meio da definição e seleção dos “direcionadores de risco nota” mais adequados para cada área de aplicação da energia nuclear, com base na avaliação das possíveis evidências objetivas a serem apresentadas pelo licenciado durante a avaliação de risco parametrizada, garantindo a acurácia numérica da metodologia, podendo ser tanto qualitativos quanto quantitativos.

VII.1.6 Gestão do Conhecimento e Difusão da Cultura de Segurança

A catalogação num banco de dados do rol de evidências objetivas a serem avaliadas pelo inspetor no momento da inspeção regulatória e que deverão ser reavaliadas periodicamente, conforme o progresso na aprendizagem do uso da metodologia garantirá a gestão do conhecimento pelo órgão regulador, permitindo a estruturação de treinamentos para formação do corpo técnico de futuros inspetores, desenvolvendo suas habilidades de julgamento das evidências objetivas em conformidade com as métricas parametrizadas pelos direcionadores de risco nota.

Referências

CNEN, Norma CNEN-NE-3.02: **Serviços de Radioproteção**, DOU de 01/08/1988.

CNEN, Norma CNEN-NN-3.01: **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, Resolução CNEN CD Nº 27 de 17/12/2004 (Aprovação da Norma), Publicação D.O.U N 04 de 06/01/2005, páginas 10 a 13.

CNEN, Norma CNEN-NN-6.04: **Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial**, Resolução CNEN 31/88, Publicação D.O.U de 26/01/1989.

COGAN, Samuel, ***Activity Based Costing (ABC): a poderosa estratégia empresarial.*** São Paulo, Pioneira, 1994.

HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais: estratégia revolucionária para o aperfeiçoamento da qualidade, da produtividade e da competitividade.** São Paulo, Makron Books, 1993.

IAEA, **Application of Management System for Facilities and Activities**, Safety Guide, GS-G-3.1.

IAEA, **Fundamental Safety Principles**, Safety Fundamentals, SF-1.

IAEA, **Leadership and Management for Safety**, General Safety Requirements, GSR Part 2.

IAEA, **Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency**, General Safety Requirements, GSR Part 7.

IAEA, **Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards**, General Safety Requirements, GSR Part 3.

IAEA, **Safety Assessment for Facilities and Activities**, General Safety Requirements, GSR Part 4.

IAEA, **Specific Safety Requirements**, SSR 6.

FILGUEIRAS, B. C., LIMA, A. M. M., SOARES, A. F. N. de S., FONSECA, R. A. & LAPA, C. M. F. **Indirect Parameterized Risk Assessment Applied to Brazilian Nuclear Sector**, Nuclear Technology, 2025, DOI: 10.1080/00295450.2025.2476307.

FILGUEIRAS, Bruno Costa. **Emprego da Metodologia de Custeio Baseado em Atividades para Avaliação de Custos Logísticos em Projetos de Infraestrutura de Transportes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

KAPLAN, Robert S. & Cooper, Robert. **Custo e desempenho: administre seus custos para ser mais competitivo.** Futuro, 1998.

MASAYUKI, Nakagawa, **ABC custeio baseado em atividades**, Ed. Atlas, 1994.

OSTRENGA, Michael R., TERRENCE, R. O., MCLLHATTAN, R. D, HARWOOD, M. D., **Guia da Einst & Young para Gestão Total dos Custos**, Ed. Record, 1993.