



AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM COM TECNOLOGIAS PERIGOSAS: O CASO DA EXPEDIÇÃO DE RADIOFÁRMACOS

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

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

Orientadores: Mario Cesar Rodríguez Vidal
Paulo Victor Rodrigues de
Carvalho

Rio de Janeiro
Agosto de 2012

AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM COM
TECNOLOGIAS PERIGOSAS: O CASO DA EXPEDIÇÃO DE RADIOFÁRMACOS

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

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

Examinada por:

Prof. Mario Cesar Rodríguez Vidal, Dr. Ing.

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

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc.

Prof^ª. Claudia Maria de Rezende Travassos, D. Sc.

Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D. Sc.

Prof. Marcello Silva e Santos, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2012

Grecco, Cláudio Henrique dos Santos

Avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas: o caso da expedição de radiofármacos / Cláudio Henrique dos Santos Grecco. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIV, 154 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Mario Cesar Rodríguez Vidal
Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 131-140.

1. Ergonomia. 2. Engenharia de Resiliência. 3. Lógica Fuzzy. I. Vidal, Mario Cesar Rodríguez; Carvalho, Paulo Victor Rodrigues. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Roberto (*in memoriam*) e Ivone,
à minha esposa, Rosana,
às minhas filhas, Ana Beatriz e Bruna,
à minha avó Sátilla,
à minha irmã Ana Cristina.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo a Deus, pela vida, pela saúde e força que permitiram a realização deste trabalho.

Aos meus professores orientadores, Mario Cesar Rodríguez Vidal e Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, por possibilitarem esta oportunidade de ampliar meus horizontes; pelos ensinamentos, orientação, amizade e consideração.

Ao professor Carlos Alberto Nunes Cosenza, pela amizade e consideração; pelos ensinamentos e incentivo à adoção da Lógica *Fuzzy* neste trabalho de tese.

À professora Cláudia Maria de Rezende Travassos, que na Banca Examinadora do Exame de Qualificação ao Doutorado, prestou valiosas contribuições para realização deste trabalho.

Aos professores membros da Banca Examinadora, Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira e Marcello Silva e Santos que aceitaram participar e contribuir com este trabalho.

À equipe do setor de expedição de radiofármacos pelo apoio e interesse dispensados no decorrer deste trabalho.

Aos colegas e amigos do Departamento de Instrumentação e Confiabilidade Humana, pelo apoio, incentivo e amizade.

À equipe do laboratório GENTE/COPPE, pelo apoio e amizade.

À minha esposa e às minhas filhas pelo carinho, compreensão e força ao longo desta caminhada.

Aos meus pais, por terem me passado a crença de que é com trabalho, perseverança, determinação e honestidade, que se atinge as metas escolhidas.

A toda minha família pelas palavras de força e apoio.

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o êxito deste trabalho.

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

AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM COM TECNOLOGIAS PERIGOSAS: O CASO DA EXPEDIÇÃO DE RADIOFÁRMACOS

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Agosto/2012

Orientadores: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Programa: Engenharia de Produção

Em razão da abordagem moderna para tratar a segurança que destaca que as organizações devem ser capazes de avaliar e gerenciar de forma pró-ativa suas atividades, torna-se cada vez mais importante a necessidade de instrumentos de avaliação das condições de trabalho. Nesse contexto, esta tese apresenta um método de avaliação da resiliência em organizações, o qual apresenta três características inovadoras: 1) a utilização de indicadores preditivos que fornecem informações atuais sobre o desempenho das atividades, permitindo ações preventivas e não somente reativas na gestão da segurança, diferente dos indicadores de segurança tradicionalmente utilizados (indicadores reativos) que são obtidos após a ocorrência de eventos indesejados; 2) a adoção do enfoque da engenharia de resiliência no desenvolvimento dos indicadores – os indicadores são baseados em seis princípios da engenharia de resiliência: comprometimento da alta direção, aprendizagem, flexibilidade, consciência, cultura de justiça e preparação para os problemas; 3) a adoção dos conceitos e propriedades da teoria dos conjuntos *fuzzy* para lidar com a subjetividade e a consistência dos julgamentos humanos na avaliação dos indicadores.

O método foi aplicado no setor de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear. Os resultados mostraram que o método é uma boa ferramenta de monitoramento de forma objetiva e pró-ativa das condições de trabalho de um domínio organizacional.

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

RESILIENCE ASSESSMENT IN ORGANIZATIONS DEALING WITH
HAZARDOUS TECHNOLOGIES: THE CASE OF RADIOPHARMACEUTICALS
DISPATCH PACKAGE

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

August/2012

Advisors: Mario Cesar Rodríguez Vidal

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Department: Production Engineering

Contemporary view on safety emphasizes that safety critical organizations should be able to proactively evaluate and safely manage their activities. This proactivity should be endorsed in the organizational safety management. In this context, this work presents a method for resilience assessment in organizations, which presents three innovative features: 1) the use of leading indicators in order to monitor the effects of proactive safety work, as well as anticipate vulnerabilities. This is different from safety performance indicators (lagging indicators) that have commonly been used in traditional safety management, measuring outcomes of activities or events that have already happened; 2) adopting the approach of resilience engineering in the development of indicators – the indicators are based on six resilience engineering principles: top-level commitment, awareness, preparedness, flexibility, just culture and learning culture; 3) the use of concepts and properties of fuzzy set theory to deal with uncertainty and imprecision of human judgment assessing indicators.

This method was applied in the process of radiopharmaceuticals dispatch package of a nuclear facility. The results showed that the method is a proactive tool to provide a basis for action, without waiting for the events to occur.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	01
1.1 Apresentação do Tema	01
1.2 Relevância do Tema	05
1.3 Hipóteses	07
1.4 Questão e Objetivos da Pesquisa	08
1.4.1 Questão da Pesquisa	08
1.4.2 Objetivos da Pesquisa	08
1.5 Metodologia	09
1.6 Estrutura do Trabalho e Contribuições	10
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 Modelos de Análise de Acidentes	12
2.1.1 Modelo Sequencial	14
2.1.2 Modelo Epidemiológico	16
2.1.3 Modelo Sistêmico	18
2.2 Resiliência e Engenharia de Resiliência	22
2.2.1 Princípios da Engenharia de Resiliência	25
2.2.2 Capacidades de Sistemas Resilientes	33
2.3 Indicadores de Segurança	35
2.3.1 Indicadores Reativos e Preditivos	35
2.3.2 Indicadores Preditivos na Avaliação da Resiliência Organizacional	39
2.4 Lógica <i>Fuzzy</i>	41
2.4.1 Conjuntos <i>Fuzzy</i>	43
2.4.2 Números <i>Fuzzy</i>	48
2.4.3 Variáveis Linguísticas	50
2.4.4 Raciocínio <i>Fuzzy</i>	51
2.4.5 Métodos <i>Fuzzy</i> de Decisão	53
CAPÍTULO 3: O MÉTODO DE AVALIAÇÃO	56
3.1 A Estrutura de Indicadores Preditivos	56
3.2 Determinação do Padrão de Resiliência Organizacional	60
3.3 Avaliação da Resiliência Organizacional	71
CAPÍTULO 4: LOCAL DE ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	76

4.1 Descrição da Instalação Nuclear.....	76
4.2 Radiofármacos e a sua Produção na Instalação Nuclear	79
4.3 O Processo de Expedição de Radiofármacos na Instalação Nuclear.....	84
4.3.1 Modelagem Ergonômica do Processo de Expedição de Radiofármacos.....	85
4.3.1.1 Contextualização do Setor e Estudo da População de Trabalho	86
4.3.1.2 Análise da Atividade	88
CAPÍTULO 5: APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	94
5.1 Indicadores Preditivos para o Processo de Expedição de Radiofármacos.....	94
5.2 Determinação do Padrão de Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos	97
5.3 Avaliação da Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos.....	115
5.4 Validação e Restituição da Avaliação da Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos	124
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
6.1 Conclusões.....	126
6.2 Limitações da Pesquisa e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
APÊNDICES	141
APÊNDICE 1: Instrumento de coleta de dados do especialista	142
APÊNDICE 2: Planilha para determinação do grau de importância de indicadores para o processo de expedição de radiofármacos.....	144
APÊNDICE 3: Planilha para avaliação da resiliência do processo de expedição de radiofármacos	148
ANEXOS	151
ANEXO 1: Indicadores identificados em estudos na área nuclear.....	152
ANEXO 2: Planta baixa de arquitetura do local onde ocorre o processo de produção do radiofármaco.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Definição de incidente, acidente e quase-acidente (adaptado de GUIMARÃES e COSTELA, 2004)	12
Figura 2: Modelo Dominó proposto por HEINRICH (1959).....	14
Figura 3: Modelo Queijo Suíço proposto por REASON (1990)	17
Figura 4: Modelo de ocorrência de acidentes proposto por RASMUSSEN (1997).....	18
Figura 5: Variabilidade de desempenho e a ressonância (adaptado de HOLLNAGEL, 2004).....	20
Figura 6: Relação entre tensão e deformação em materiais (adaptado de WREATHALL <i>et al.</i> , 2006).....	22
Figura 7: Segurança como problema de controle: tensão versus deformação (adaptado de WREATHALL <i>et al.</i> , 2006)	23
Figura 8: As capacidades de um sistema resiliente (adaptado de HOLLNAGEL, 2011)	34
Figura 9: Indicadores preditivos e reativos na gestão da segurança (adaptado de HOLLNAGEL, 2008).....	38
Figura 10: Operações entre conjuntos <i>fuzzy</i> : (a) união; (b) intersecção; (c) complemento... 47	
Figura 11: Representação gráfica dos números <i>fuzzy</i> : (a) trapezoidal; (b) triangular	49
Figura 12: Função de pertinência para a variável “altura”	51
Figura 13: Etapas do raciocínio <i>fuzzy</i>	52
Figura 14: Etapas da segunda parte do método	61
Figura 15: As variáveis linguísticas, os termos linguísticos e os gráficos das funções de pertinência	64
Figura 16: Representação da área de intersecção de duas opiniões <i>fuzzy</i> (I e MI).....	67
Figura 17: Representação da área de união de duas opiniões <i>fuzzy</i> (I e MI).....	68
Figura 18: Etapas da terceira parte do método	72
Figura 19: Funções de pertinência dos números <i>fuzzy</i> para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores	73
Figura 20: Composição do pessoal da instalação nuclear	78
Figura 21: Escolaridade dos servidores da instalação nuclear	78
Figura 22: Titulação dos servidores da instalação nuclear	79
Figura 23: Exame para radiodiagnóstico da tireoide (Fonte: CARDOSO, 1999).....	81
Figura 24: Exemplo de radiodiagnóstico da tireoide utilizando o iodo-123 (Fonte: CARDOSO, 1999).....	81

Figura 25: Equipamento PET (Fonte: MESQUITA, 2004).....	83
Figura 26: Imagens cerebrais utilizando o FDG obtidas com o PET (Fonte: MESQUITA, 2004)	83
Figura 27: Gênero dos servidores do setor de expedição de radiofármacos	86
Figura 28: Faixa etária dos servidores do setor de expedição de radiofármacos	87
Figura 29: Escolaridade dos servidores do setor de expedição de radiofármacos.....	87
Figura 30: Preparação da documentação	89
Figura 31: Recipientes de chumbo para os radiofármacos	89
Figura 32: Medição do radiofármaco embalado em balde	90
Figura 33: Adaptação para medidas radiológicas.....	93
Figura 34: Representação gráfica dos graus de importância dos especialistas.....	100
Figura 35: Função de pertinência do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	109
Figura 36: Representação gráfica dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de resiliência	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura proposta de indicadores preditivos	58
Tabela 2 - Avaliação dos indicadores preditivos.....	59
Tabela 3 - Números <i>fuzzy</i> para os termos linguísticos.....	65
Tabela 4 - Valores das áreas de interseção das opiniões <i>fuzzy</i>	67
Tabela 5 - Valores das áreas de união das opiniões <i>fuzzy</i>	67
Tabela 6 - Exemplo de um estabelecimento de padrão para o princípio “comprometimento da alta direção”	71
Tabela 7 - Números <i>fuzzy</i> para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores	73
Tabela 8 - Indicadores preditivos para o processo de expedição de radiofármacos.....	95
Tabela 9 - Avaliação dos indicadores preditivos para o processo de expedição de radiofármacos	96
Tabela 10 - Apuração dos dados coletados dos especialistas.....	100
Tabela 11 - Termos linguísticos usados pelos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	102
Tabela 12 - Valores da área de interseção das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	103
Tabela 13 - Valores da área de união das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	104
Tabela 14 - Matriz de concordância entre os especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	105
Tabela 15 - Valores da concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	106
Tabela 16 - Valores do grau de concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	107
Tabela 17 - Valores do coeficiente de consenso de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”	108
Tabela 18 - Avaliação dos indicadores para o processo de expedição de radiofármacos ...	111
Tabela 19 - Valores em ordem decrescente de grau de importância dos indicadores para o processo de expedição de radiofármacos.....	112
Tabela 20 - Resultado da avaliação dos indicadores pelos trabalhadores	117

Tabela 21 - Valores dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores	119
Tabela 22 - Valores das médias <i>fuzzy</i> dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores	121
Tabela 23 - Valores dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de resiliência	122

LISTA DE SIGLAS

EPRI – Electric Power Research Institute

HSE – Health and Safety Executive

IAEA – International Atomic Energy Agency

WANO – World Association of Nuclear Operators

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o tema da tese, bem como sua relevância. Na seqüência, são descritas as hipóteses nas quais esta tese irá se apoiar, a questão e os objetivos de pesquisa, assim como a metodologia adotada na pesquisa, a estrutura do trabalho e contribuições.

1.1 Apresentação do Tema

Nos últimos anos, a complexidade dos sistemas produtivos proporcionada pelas novas tecnologias, pelas exigências por aumento de produtividade associadas à operação segura e respeito ao meio ambiente, produziu modificações no trabalho humano. Essas modificações se materializaram por variabilidades nos processos produtivos que requerem ajustes de comportamento, abrindo espaço para novas possibilidades de inovações ou falhas nas organizações.

A ergonomia tem o desafio de compreender como o desempenho do homem durante a execução de suas atividades se constitui como resultante de sua atividade real. Esta abordagem tem sido empregada com o objetivo de antever situações que podem dificultar o entendimento dos trabalhadores e induzir aos acidentes, tais como as pressões por tempo e a carga de trabalho (RASMUSSEN, 1997; VIDAL, 1997; WILSON, 2000; SANTOS *et al.*, 2008a).

Poderíamos cogitar de empregar a abordagem não apenas para entender fracassos, mas também para modelar sucessos. Diante desta realidade, a ergonomia, com sua abordagem situada, propiciaria os aportes necessários para o desenvolvimento de programas de prevenção de riscos e acidentes e para a avaliação da capacidade de reação das organizações diante de situações imprevistas, tanto na linha do tempo de acidentes como ao longo de um processo de regulação bem sucedida.

A complexidade dos sistemas produtivos e os sofisticados sistemas de segurança inerentes ao projeto destes sistemas fazem com que acidentes não sejam gerados unicamente por erros individuais, como consequência de esquecimentos, desatenção e fraquezas morais das pessoas. Os acidentes – e simetricamente as regulações que

eventualmente os impedem de acontecer – emergem em meio às condições sob as quais os indivíduos estão submetidos e às vulnerabilidades e variabilidades enfrentadas, que passam a ser o foco das análises de acidentes (REASON, 2000; DEKKER, 2002; HOLLNAGEL, 2004).

Complementando esta abordagem, WOODS e WREATHALL (2003) acrescentam que o gerenciamento da segurança deve ser focado na habilidade da organização em adaptar-se, recuperar-se e absorver distúrbios, perturbações, ou mudanças, ou seja, em propriedades que caracterizam a resiliência desta organização.

As organizações que possuem características resilientes são as mais aptas a enfrentar esses cenários sem grandes perdas econômicas (WODDS, 2006; WREATHALL, 2006). LEVENSON *et al.* (2006) definem resiliência como sendo a capacidade de um sistema adaptar-se às circunstâncias de modo a manter o controle sobre uma propriedade, nesse caso, a segurança ou o risco. Assim, a resiliência inclui tanto a propriedade de tolerância a eventuais falhas e perdas, quanto à propriedade de responder apropriadamente caso estas ocorram. COOK e NEMETH (2006) afirmam que a resiliência é característica de sistemas que, após uma perturbação, retornam a sua condição de operação normal e com um mínimo de diminuição de seu desempenho.

Segundo HOLLNAGEL *et al.* (2006) e SHEFFI (2007), o sucesso de uma organização resiliente reside no fato de que ela reconhece, adapta e absorve as variações, mudanças e surpresas que são rupturas ou ameaças que acontecem além dos limites de distúrbios originalmente concebidos para o sistema. A organização pode resistir às ameaças por meio de sistemas de defesa em profundidade, ou se reestruturando internamente para operar de outra forma mais adaptada para lidar com a ameaça.

Sob esta ótica, a engenharia de resiliência se apresenta como um novo paradigma para gestão da segurança de sistemas, especialmente os de tipo complexos. Neste caso, o objetivo é manter o equilíbrio entre as pressões por produtividade e os fatores de segurança, ampliando a capacidade deste tipo de sistema manter-se apto a lidar com variabilidades no desempenho e seus efeitos sistêmicos (HOLLNAGEL *et al.*, 2006).

As aplicações da engenharia de resiliência são particularmente adequadas para sistemas de alto risco e com características de complexidade. No sentido desta combinação, cabe ressaltar as principais características de um sistema complexo (CHRISTOFFERSEN e WOODS, 1999):

- a) Elevado grau de interconexão e interdependência existente entre os componentes do sistema, dificultando aos operadores a previsão dos efeitos das suas ações e sobre como estas se propagam pelo sistema;
- b) Incerteza e a variabilidade nos processos de trabalho devido à amplitude de cenários, de modo que se torna um desafio aos operadores tomar decisões nos momentos adequados para que objetivos (às vezes conflitantes) possam ser atingidos.

Assim sendo, as organizações, principalmente as que lidam com tecnologias perigosas (por exemplo, a nuclear e a aviação), devem ser capazes de avaliar e gerenciar de forma pró-ativa a segurança de suas atividades. Na concepção de vários autores, a segurança emerge quando uma organização está disposta e capaz de trabalhar de acordo com as exigências de suas tarefas e quando ela entende a dinâmica das vulnerabilidades nas situações de trabalho (DEKKER, 2005; WOODS e HOLLNAGEL, 2006; REIMAN e OEDEWALD, 2007). Deste modo, a gestão da segurança depende de ações antecipativas e de monitoramento do desempenho organizacional, para que esta organização possa lidar de forma adequada com suas vulnerabilidades, visto que é impossível prevenir todos os acidentes, uma vez que as condições latentes do sistema são numerosas (REASON, 1997). Acrescentemos que num sistema complexo, algumas das condições deixam eventualmente de ser apenas latentes, sem ainda configurar riscos, mas já perturbando o controle dito normal.

Neste contexto, indicadores tornam-se aliados fundamentais, fornecendo informações atuais sobre o desempenho das atividades, o que permite ações preventivas e não somente reativas na gestão da segurança. Com isso, a preocupação passa a ser a disponibilidade de indicadores adequados ao propósito de uma organização resiliente.

Os indicadores de segurança tradicionalmente utilizados na engenharia de segurança são obtidos após a ocorrência de eventos indesejados. São indicadores reativos (*lagging indicators*), que fornecem, por exemplo, a frequência de acidentes. Estes indicadores não garantem conhecimentos suficientes para explorar eventos futuros e podem tornar-se obsoletos quando o tempo de análise for longo. Além disso, estes indicadores não indicam o que está sendo efetivamente realizado para melhorar a segurança e podem levar a um comportamento complacente na segurança onde o

“sucesso” no passado (baixo número de acidentes) apontaria para um “natural sucesso” no futuro. Sendo assim, existe a necessidade do desenvolvimento de indicadores preditivos (*leading indicators*) que induzem e sustentem ações pró-ativas no controle da segurança (EPRI, 1999; HERRERA e HOVDEN, 2008).

HOLLNAGEL (2008) acrescenta que o desenvolvimento de indicadores preditivos é imprescindível para evitar que a identificação de problemas e a adoção de ações corretivas ocorram somente depois da ocorrência de acidentes. Os dois tipos de indicadores de segurança organizacional devem coexistir, visto que ambos fornecem informações relevantes para as organizações, porém possuem diferentes origens ou focos e aplicações distintas: indicadores reativos (*lagging indicators*) para os resultados das atividades gerenciais e indicadores preditivos (*leading indicators*) para mostrar como as atividades operacionais estão sendo executadas.

Outra importante distinção está na constituição do tipo de indicador. Os indicadores mais clássicos, como os reativos, são construídos a partir de resultados coletados (dados objetivos). Já os indicadores preditivos são obtidos por meio de percepções, conhecimentos e avaliações subjetivas dos trabalhadores. Deste modo, a construção e a análise de indicadores preditivos devem ser baseadas em julgamentos humanos. A forma mais comum de manifestação destes julgamentos são as assertivas fundamentadas em expressões linguísticas, para sintetizar adequadamente as informações que se pretende veicular.

O tratamento deste tipo de manifestação requer uma abordagem do tipo *fuzzy* (nebulosa), que vem sendo cada vez mais aceita como uma importante ferramenta para representar o conhecimento humano, transformá-lo para um formato numérico e obter respostas em ambientes de incerteza (CORREA e MORÉ, 2009). A teoria *fuzzy* é usada, essencialmente para mapear modelos qualitativos de tomada de decisão, e para métodos de representação imprecisa. Neste contexto, é que se pode utilizá-la no processo de avaliação da resiliência em organizações, utilizando indicadores preditivos, que envolve conceitos subjetivos e não precisos.

ZIRMMERMANN (1996) afirma que a teoria dos conjuntos *fuzzy* fornece uma estrutura matemática estrita, na qual um fenômeno conceitualmente vago pode ser representado de forma precisa e ser rigorosamente estudado. Desde modo, podemos justificar a escolha da utilização da teoria *fuzzy* para o desenvolvimento de um método de avaliação da resiliência em organizações. Além disso, uma vez que o processo de tomada de decisão é centrado em pessoas, como também é o processo de avaliação da

resiliência, com suas inerentes subjetividades, os conjuntos *fuzzy* são adequados para este propósito. Os conjuntos *fuzzy* possuem a habilidade para representar indicadores preditivos e detêm formas convenientes e avaliáveis para agregação desses indicadores. Mais ainda, possibilitam o tratamento de elementos que tanto podem estar vagos como precisamente definidos, permitindo o manuseio dos diferentes graus de importância de indicadores.

1.2 Relevância do Tema

Como visto na seção anterior, a temática dos indicadores preditivos ocupa um lugar central na engenharia de resiliência, isto porque a maioria das organizações enfrenta situações imprevistas durante a execução de suas atividades. As mudanças em seus contextos de funcionamento e de trabalho fazem parte de uma realidade que impõe às organizações atuarem em ambientes com cada vez mais riscos e incertezas. É nesse tipo de ambiente que ocorrem pressões por produção e decorrem as variabilidades dos processos de produção. As variabilidades são cenários constantes nas organizações que, ao mesmo tempo em que permitem aumentar a eficiência para dar conta das pressões da produção, podem vir a comprometer as capacidades produtivas mediante a ocorrência de eventos inesperados.

Acidentes geram custos econômicos, jurídicos e sociais que são prejudiciais para as organizações, para os trabalhadores e suas famílias, para a Previdência Social e para a sociedade como um todo. Isto já deveria alertar as autoridades para o volume de recursos que é desperdiçado cada vez que ocorre um acidente, o que vem a ser um forte argumento para estimular investimentos na prevenção de acidentes (DE CICCIO, 1988). O tema assinala uma determinada orientação para investimentos em métodos de tratamentos de anormalidades.

Tradicionalmente, as análises de acidentes do trabalho concluem atribuindo culpa às próprias vítimas e negando a existência de problemas ou disfunções nos sistemas que dão origem a esses eventos. Nos últimos anos, têm surgido novas abordagens que questionam esse desfecho e destacam a ocorrência de acidentes como evidências da existência de disfunções sistêmicas, sinais da ocorrência de problemas incubados que precisam ser ouvidos e adequadamente interpretados por sistemas de

gestão de segurança (ALMEIDA, 2006; CARVALHO *et al.*, 2009; MARTINS JR. *et al.*, 2011).

Para romper esse paradigma, as pesquisas na área de segurança devem focar no trabalho cotidiano, nos acidentes que não ocorreram (os quase fracassos) e tentar compreender o motivo. Isso significa que é necessário compreender como o sucesso é obtido, como as pessoas aprendem, adaptam e constroem a segurança em um ambiente de falhas, perigos, conflitos de escolha (*trade-offs*) e múltiplos objetivos (HOLLNAGEL e WOODS, 2006).

As estratégias tradicionais de gestão da segurança têm analisado as pessoas, a tecnologia e o contexto de trabalho de forma segmentada. Do ponto de vista da resiliência, tal segmentação se constitui num entrave metodológico. Nesse sentido, e de acordo com HOLLNAGEL e WOODS (2006), a estratégia tem que se desenvolver numa perspectiva sociotécnica. Tal perspectiva considera pessoas, tecnologia e o contexto de trabalho de maneira conjunta com ênfase nas suas interfaces e interações, proporcionando uma análise da complexidade das suas interações mútuas.

A abordagem da engenharia de resiliência voltada à segurança no trabalho se constitui com base nesse enfoque sociotécnico. Nesta visão, são necessários esforços multidisciplinares para integrar atividades de avaliação da segurança aparentemente desconexas, revelando os seguintes aspectos (WREATHALL, 2006):

- (a) visão sistêmica;
- (b) o comprometimento da alta direção com a segurança;
- (c) a aproximação entre o trabalho real e o trabalho prescrito;
- (d) o monitoramento pró-ativo;
- (e) o gerenciamento dos *trade-offs* entre produção e segurança;
- (f) a visibilidade dos limites do trabalho seguro e;
- (g) a capacidade de adaptação às variabilidades e complexidade do ambiente.

HOLLNAGEL (2006) relata que o desafio para a avaliação da segurança no contexto da engenharia de resiliência é o de desenvolver mecanismos adequados a sistemas complexos, dinâmicos e instáveis. Em especial, são necessários mecanismos de avaliação e monitoração adequados às possibilidades de adaptações do sistema que não podem ser totalmente antecipadas no momento do seu projeto. O autor ressalta que, na prática e conforme a teoria dos sistemas complexos se assume como impossível

considerar todas as variabilidades e as correspondentes bifurcações que podem acontecer no sistema em funcionamento. HOLLNAGEL (2006) acrescenta ainda que, por esta razão, o desafio se constitui em construir sistemas dinamicamente estáveis, ou robustos, no sentido de que mesmo diante de inevitáveis adaptações não previstas no projeto, o sistema permaneça sob controle.

Deste modo, a relevância deste trabalho está no fato que a maioria das abordagens que procuram examinar de que forma aspectos produtivos e de segurança se configuram na produção de acidentes, focam apenas nos eventos de falha. Nessa visão clássica é assumido que uma construção *a posteriori* das causas de acidentes, a partir de uma visão limitada de relações causa-efeito em dado evento, poderiam gerar lições a serem aplicadas a todos os eventos, ignorando diversos aspectos de como e porque os fatos emergiram no âmbito do sistema.

Para a avaliação com base no conceito de resiliência é necessária a compreensão de todo o espectro do desempenho de um processo, uma vez que os acidentes devem ser vistos como uma inesperada combinação de eventos, que ocorrem durante o trabalho real (considerado no sentido de reporte a algo que está realmente ocorrendo, sem que configure um estado de alerta ou emergência).

Os resultados deste trabalho objetivam uma melhoria no desempenho e na segurança nas organizações. Acredita-se que os dados levantados por meio de indicadores preditivos (*leading indicators*) e analisados sob a ótica da engenharia de resiliência sejam importantes na melhoria das condições de trabalho e na redução de acidentes, bem como na implantação de um modelo de gestão compatível com cenários reais.

O desenvolvimento de indicadores preditivos é aqui delineado com a utilização da lógica *fuzzy* como parte do método de avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas.

1.3 Hipóteses

O estudo foi desenvolvido sob as seguintes hipóteses:

- 1) É possível utilizar uma modelagem formal que não se baseie apenas em formatos narrativos envolvendo descrições e recomendações para avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas;
- 2) É possível desenvolver indicadores que permitem monitorar o desvio sistemático das condições de trabalho para uma região de perigo, onde acidentes são mais prováveis;
- 3) É possível utilizar a lógica *fuzzy* no desenvolvimento de métodos mais formalizados e na análise dos resultados de indicadores preditivos, que possam ser aplicados em organizações.

1.4. Questão e Objetivos da Pesquisa

1.4.1 Questão da Pesquisa

O exame da literatura efetuado assinalou a inexistência de abordagens abrangentes e estruturadas para avaliar a resiliência organizacional. Se a esta inexistência adicionarmos os princípios da engenharia de resiliência, verificamos a possibilidade de contribuição com o campo temático já exposto nas seções acima. Assim sendo, a questão a ser considerada como guia para a pesquisa é:

“Como a resiliência organizacional pode ser avaliada de uma forma abrangente e estruturada considerando os princípios da engenharia de resiliência?”

1.4.2 Objetivos da Pesquisa

Os conceitos desenvolvidos pela engenharia de resiliência têm sido utilizados pela indústria e pela academia para abordar a segurança de sistemas sociotécnicos complexos por meio de métodos que tentam avaliar a resiliência organizacional. No

entanto, a maioria dos métodos trata com dificuldades, a subjetividade e a consistência dos julgamentos humanos nas avaliações da resiliência organizacional, dificultando suas aplicações.

Para contribuir com o desenvolvimento do campo temático, o objetivo desta pesquisa é utilizar a teoria dos conjuntos *fuzzy* para estabelecer um método de avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas, baseado em indicadores preditivos em acordo com os princípios da engenharia de resiliência.

O método de avaliação formulado foi aplicado no processo de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear, localizada no Rio de Janeiro. Para isso, o processo de expedição de radiofármacos foi analisado tanto na perspectiva da ergonomia como também da engenharia de resiliência, com o objetivo de estabelecer indicadores relacionados com as especificidades deste processo. Os resultados obtidos nesta aplicação mostraram que o método é uma boa ferramenta de monitoração da resiliência organizacional.

1.5 Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta tese utiliza uma abordagem quali-quantitativa. A abordagem qualitativa aparece na primeira parte do trabalho, quando é apresentada uma revisão da literatura. Na segunda parte aparece a abordagem quantitativa, baseada na teoria *fuzzy*, quando é apresentado o desenvolvimento do método de avaliação da resiliência, utilizando indicadores preditivos de segurança com enfoque nos princípios da engenharia de resiliência.

O método de avaliação da resiliência envolve duas situações distintas desenvolvidas ao longo desta tese:

1. Determinação de um padrão de resiliência para um domínio em questão;
2. Avaliação da resiliência desse domínio, apoiando-se no padrão de resiliência definido.

No que diz respeito à base metodológica usada para o desenvolvimento do trabalho, é importante especificar que o método desenvolvido foi aplicado no processo de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear. Isto se justifica, porque a engenharia de produção, em particular a ergonomia e a engenharia de resiliência são campos de estudo situados no âmbito da teoria aplicada. Desta forma, é importante desenvolver uma abordagem teórica e aplicá-la em uma situação real.

1.6 Estrutura do Trabalho e Contribuições

Este trabalho está organizado em seis capítulos incluindo esta introdução, descritos, resumidamente, nesta seção. Esta estrutura do trabalho foi elaborada com o objetivo de estabelecer consonância com as hipóteses, a questão, os objetivos e a metodologia da pesquisa.

No Capítulo 2, revisão da literatura, é apresentada a evolução dos modelos de acidentes de trabalho, as propriedades da resiliência, a engenharia de resiliência e seus princípios, os indicadores de segurança e a lógica *fuzzy*, para fundamentar o método proposto.

No Capítulo 3 são apresentadas as três etapas do método de avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas. Na primeira etapa deste método foi desenvolvida, com base nos princípios da engenharia de resiliência, uma estrutura de indicadores preditivos e suas avaliações por meio de métricas subjetivas. Esta estrutura de indicadores poderá servir de referência na avaliação da resiliência de domínios organizacionais que lidam com tecnologias de alto risco e ajudar no desenvolvimento de outros indicadores. As contribuições obtidas nesta etapa do método foram publicadas na *International Nuclear Atlantic Conference*, em 2011 (GRECCO, 2011a).

A segunda etapa do método apresenta a determinação do padrão de resiliência de um domínio organizacional. Nesta etapa, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*, procura-se obter de especialistas o grau de importância de cada indicador preditivo, de forma que o domínio seja considerado resiliente. Os graus de importância atribuídos aos indicadores pelos especialistas retratam como domínio organizacional deveria ser. Para tratamento dos dados coletados dos especialistas foi utilizado o método de agregação de

similaridades proposto por HSU e CHEN (1996).

A terceira etapa, também apoiada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, apresenta o processo de avaliação de um domínio organizacional apoiando-se no padrão de resiliência definido na segunda etapa do método. Como resultado da avaliação final do domínio, são gerados graus de atendimento ao padrão. Esses graus informam o quanto o domínio avaliado atinge percentualmente o padrão ideal estabelecido. As contribuições trazidas por esta etapa do trabalho resultou em um artigo no periódico *Work (Reading, MA)*, publicado em 2012 (GRECCO *et al.*, 2012a).

No Capítulo 4 é apresentado o local (o processo de expedição de radiofármacos) onde foi realizado o estudo para aplicação do método de avaliação. Neste capítulo, é apresentada a modelagem ergonômica realizada para entender a complexidade e a dinâmica deste processo. Os resultados obtidos pelo estudo realizado por meio desta modelagem ergonômica trouxeram contribuições publicadas na ABERGO 2010 (GRECCO, 2010), na ALASBIMN BRASIL 2011 (GRECCO *et al.*, 2011b) e num artigo no periódico *Ação Ergonômica* (GRECCO *et al.*, 2011c).

No Capítulo 5 é descrita a experiência completa de utilização do método no processo de expedição de radiofármacos. Os resultados fundamentais obtidos pela aplicação do método propiciaram contribuições publicadas no AHFE 2012 (GRECCO *et al.*, 2012b) e no artigo “*A fuzzy set theory based model for measuring the resilience of organizational processes: application in a radiopharmaceuticals production facility*” remetido em 2012, para o periódico *Safety Science* (aguardando aprovação).

O Capítulo 6 apresenta as conclusões, limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

O instrumento de coleta de dados do especialista e as planilhas utilizadas no estabelecimento do padrão ideal de resiliência e na avaliação da resiliência do processo de expedição de radiofármacos são apresentados, respectivamente, nos Apêndices 1, 2 e 3.

Os documentos que complementam informações apresentadas neste trabalho e que servem de fundamentação, comprovação e ilustração, são apresentados nos Anexos 1 e 2.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho, cuja finalidade é delinear as concepções e conceitos necessários para o entendimento das teorias e abordagens que subsidiam este estudo.

2.1 Modelos de Análise de Acidentes

Os acidentes de trabalho representam custos para o país, para as empresas, além de todo impacto social, psicológico e emocional. Esses custos se traduzem, por exemplo, em horas perdidas, despesas médicas, danos a equipamentos e perdas materiais, despesas administrativas, impacto na imagem da empresa entre outros.

Embora impactem negativamente no desempenho de qualquer organização, os acidentes podem ser vistos como informação ao aprimoramento dos processos e da própria segurança do sistema, constituindo uma oportunidade coletiva de aprendizagem (DEKKER, 2002).

A definição de acidente e de outros termos utilizados nessa tese é apresentada na Figura 1.

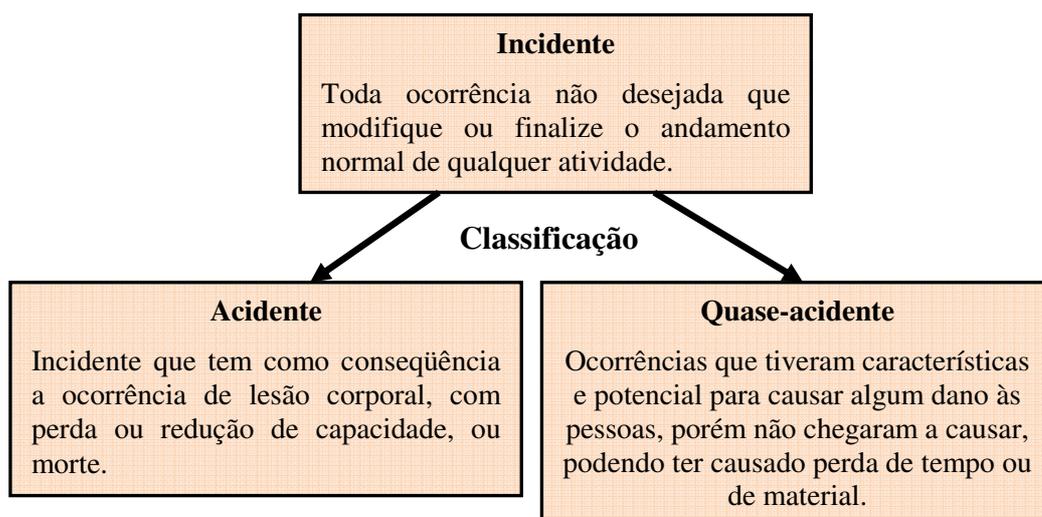


Figura 1: Definição de incidente, acidente e quase-acidente (adaptado de GUIMARÃES e COSTELA, 2004).

Durante a investigação e análise de acidentes, teorias e modelos de referência podem ser adotados pelos analistas, tendo papel importante na natureza das conclusões obtidas.

Os modelos de análise de acidentes existentes providenciam a identificação das características dos acidentes, que tipicamente mostram a relação entre as causas e os efeitos. Estes modelos explicam as causas dos acidentes e são utilizados como técnicas de avaliação de risco durante o desenvolvimento de sistemas, e posteriormente para a análise de acidentes, permitindo o estudo aprofundado da ocorrência.

Ao abordar sistemas, é importante salientar que desde a definição da teoria geral de sistemas de Ludwig Von Bertalanffy em 1956, foram propostas várias definições de sistemas e um importante pressuposto que “o sistema é maior do que a soma de suas partes”. Para o propósito desta tese será utilizada a definição proposta por BUCKLEY (1968): “um sistema é um complexo de elementos ou componentes diretamente ou indiretamente relacionados em uma rede causal com um objetivo específico, na qual, pelo menos, alguns dos componentes são relacionados aos outros de maneira mais ou menos estável ao longo do tempo”.

JACKSON (2010) considera ainda que as relações entre os componentes de um sistema podem ser de natureza física, social ou organizacional e que o comportamento do sistema, produzido por essas relações, é uma propriedade emergente.

Em relação aos acidentes, tradicionalmente eles têm sido encarados como o resultado de uma cadeia de acontecimentos, cada acidente relacionado com a sua causa ou evento. Quase todas as técnicas de análise de segurança e avaliações de risco encontram a sua base nesta noção linear de causalidade, que tem limitações na modelagem e na análise de sistemas modernos e complexos.

Segundo HOLLNAGEL (2004), apesar de existir peculiaridades inerentes aos diversos modelos causais de acidentes existentes, é possível classificá-los em três grupos: sequencial, epidemiológico e sistêmico.

2.1.1 Modelo Sequencial

No modelo sequencial, o acidente é percebido como uma seqüência de eventos paralelos ou em série que ocorrem em virtude de algumas causas-raízes, pressupondo a existência de relações de causa e efeito bem definidas.

Um dos primeiros modelos sequenciais foi o da teoria do dominó proposta por HEINRICH (1959). De acordo com este modelo, o acidente ocorre devido às relações de causa e efeito entre cinco elementos (ambiente social e antecedente, falha individual, atos e condições inseguras, acidente e o dano propriamente dito), sendo que a manifestação de um deles necessariamente causa a manifestação em cadeia dos elementos seguintes. Um evento indesejado ou inesperado (a raiz da causa) inicia a seqüência de eventos subseqüentes que levam ao acidente. Esta teoria enfatiza que o acidente é provocado por uma única causa, pelo que se for possível eliminá-la, o acidente não ocorrerá nem se repetirá. Todavia, a realidade é que os acidentes têm sempre mais do que um fator contributivo. A Figura 2 mostra este modelo.

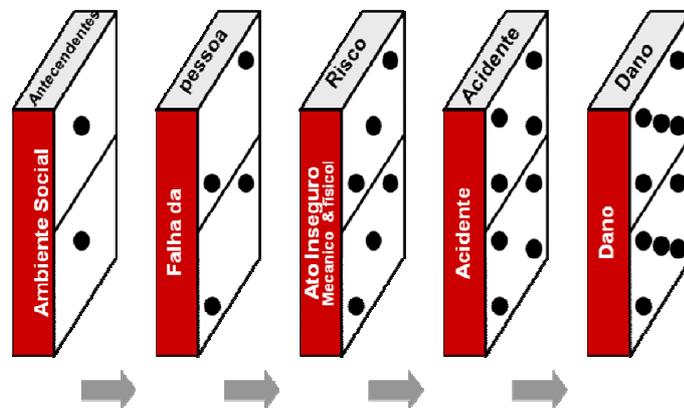


Figura 2: Modelo Dominó proposto por HEINRICH (1959).

Os estudos das causas de acidentes de REASON (1990, 2000) e PERROW (1999) contribuíram para o deslocamento do eixo da análise da simples atribuição de culpa ou de falhas humanas para as formas de gestão e organização do trabalho em que os fatores humanos e organizacionais são analisados na ocorrência dos eventos.

PERROW (1999) analisando um acidente ocorrido numa planta nuclear (*Three Mile Island*, 1979, EUA) construiu a base da sua teoria, chamada de “Teoria do Acidente Normal”. Para o autor, os acidentes são inevitáveis em sistemas tecnologicamente complexos e fortemente interligados, como por exemplo, em plantas nucleares, petroquímicas e na aviação. Os acidentes são normais porque, dadas as características dos sistemas tecnológicos, a possibilidade de ocorrência de interações inesperadas e incompreensíveis de múltiplas falhas que levem a acidentes está sempre presente, ou seja, faz parte da natureza dos sistemas. Ele considera que por mais que sejam feitos esforços para o controle total dos diversos subsistemas, determinadas reações são imprevisíveis e quando há a interação de múltiplas falhas, os acidentes acontecem.

VIDAL e CARVALHO (2008) relatam que a complexidade dos modernos sistemas sociotécnicos vem aumentando a complexidade das tarefas, o que, junto com as pressões para a produção com baixo custo, resultam em mais disfunções ou até mesmo em falhas catastróficas. Sistemas maiores e mais complexos não trazem apenas mais oportunidades para variabilidades ou erros, mas principalmente, mais casos onde a combinação de ações aparentemente isoladas pode trazer consequências não previsíveis e adversas para o sistema como um todo (CARVALHO, 2011).

Sistema sociotécnico é um termo utilizado para uma organização composta de pessoas e tecnologia. A tecnologia sempre é projetada, utilizada e mantida por pessoas e as pessoas não atuam em um “vácuo” social e técnico, mas em um contexto sociotécnico, com suas normas e ferramentas.

DUARTE e VIDAL (2000) apontam que no interior de um sistema complexo, os erros humanos seriam tentativas de regulação que não tiveram êxito em conter os desfuncionamentos do processo. Assim, os autores consideram os erros como sintomas reveladores de problemas quanto à organização do trabalho, formação dos trabalhadores e concepção dos meios de trabalho.

De acordo com LEPLAT (1996), um sistema complexo é uma organização para a qual é difícil senão impossível restringir sua descrição a um limitado número de parâmetros ou variáveis características sem perder suas propriedades essenciais.

JACKSON (2010) faz uma referência a “sistemas adaptativos complexos”, considerando que a complexidade dos sistemas também está relacionada à capacidade de adaptação as constantes perturbações ou pressões do sistema. Este autor acrescenta que um sistema complexo é um conjunto de componentes que interagem de forma não

linear, originando comportamentos e propriedades emergentes, que não podem ser percebidos a partir dos comportamentos e propriedades individuais dos componentes.

Desta forma, a melhoria da segurança de sistemas complexos está no entendimento de como os acidentes surgem em situações normais de trabalho, com equipamentos funcionando normalmente em organizações normalmente estruturadas (CARVALHO *et al.*, 2009; VIDAL *et al.*, 2009; MARTINS JR. *et al.*, 2011).

2.1.2 Modelo Epidemiológico

REASON (1990) desenvolveu o modelo “queijo suíço” (Figura 3) baseado na idéia de que defesas, barreiras e salvaguardas ocupam posição chave. Esta abordagem enfatiza o conceito de defesa em profundidade (barreiras em diversos níveis que impedem a propagação de eventos) para a segurança organizacional e de como as defesas e barreiras podem falhar. Neste modelo considerado epidemiológico, por sua analogia com as barreiras que nosso sistema imunológico cria para evitar doenças, embora os acidentes também sejam entendidos como resultante de uma seqüência de eventos é acrescentada a idéia de que esses eventos se propagam por meio de falhas latentes e ativas nas barreiras do sistema, “seus anticorpos”. Essas barreiras delimitam, conforme o seu posicionamento ao longo da cadeia de eventos, a existência de zonas de trabalho seguras, inseguras e de perda de controle. Segundo o autor, as falhas ativas são decorrentes de erros e violações que estão associadas à realização das atividades pelas pessoas, representadas pelos atos inseguros cometidos pelas pessoas, podendo assumir diferentes formas: deslizos, lapsos, perdas, erros e violações de procedimentos. As falhas latentes são as patologias intrínsecas do sistema, e podem ser decorrentes de falhas técnicas, condições e projetos inadequados e ações ou decisões com conseqüências danosas.

REASON (2000) afirma que as falhas ativas não podem ser previstas facilmente, mas as condições latentes, desde que adequadamente monitoradas, podem ser identificadas e corrigidas antes de um evento danoso. A compreensão deste fato leva ao gerenciamento pró-ativo da segurança.

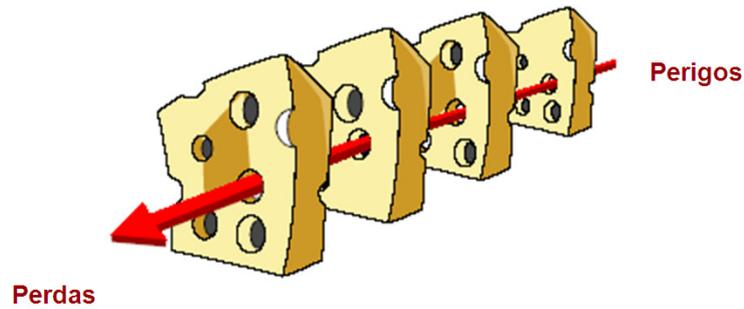


Figura 3: Modelo “queijo suíço” proposto REASON (1990).

A transição entre o modelo epidemiológico e o sistêmico ocorre pela proposta de RASMUSSEN (1997), baseada na dinamicidade dos sistemas e no mapeamento do ambiente em zonas de trabalho. Segundo RASMUSSEN (1997), a análise de várias catástrofes (Bhopal e Tchernobyl, por exemplo) evidencia que os acontecimentos não resultam da combinação aleatória de eventos independentes, mas de um desvio sistemático do comportamento global do sistema em direção ao acidente, sob a influência de uma pressão, em favor da relação custo versus eficácia, dentro de um contexto (ambiente) fortemente competitivo.

Desta forma, segundo o autor, é possível melhorar a segurança ensinando e treinando as pessoas a trabalharem próximas ao limite da perda de controle, assim como projetar condições de trabalho favoráveis.

Este modelo, ilustrado esquematicamente na Figura 4, mostra que as organizações estão sujeitas a constantes pressões por eficiência e carga de trabalho, que as conduzem próximo a áreas perigosas, onde os acidentes podem ocorrer.

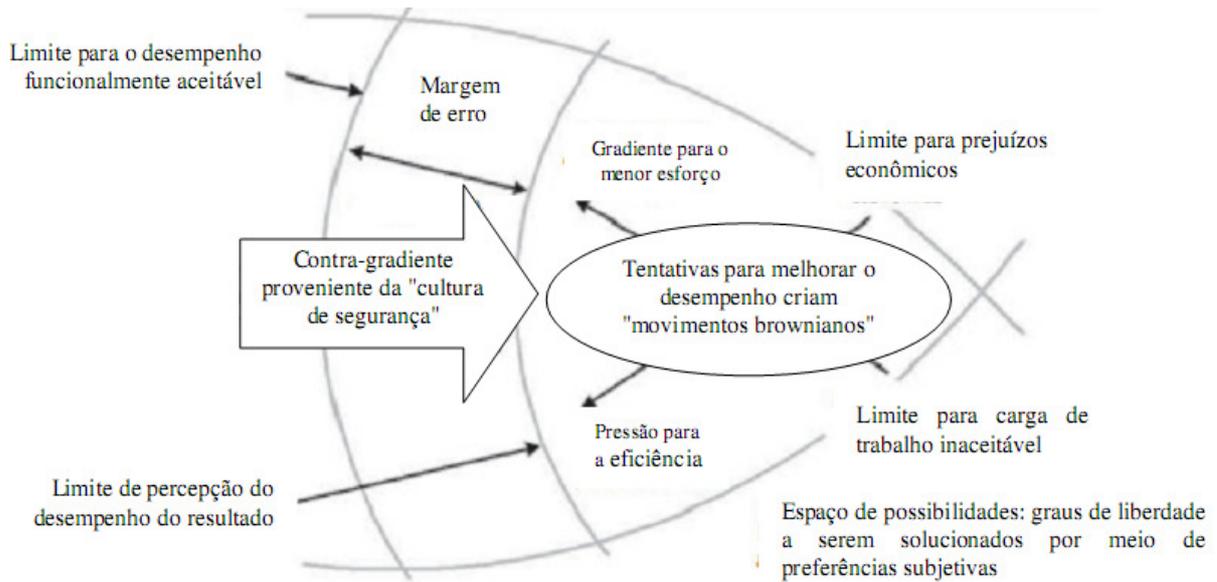


Figura 4: Modelo de ocorrência de acidentes proposto por RASMUSSEN (1997).

2.1.3 Modelo Sistêmico

A adaptação do modelo de RASMUSSEN (1997) deu origem ao modelo sistêmico de HOLLNAGEL (2004). Este modelo não evidencia a identificação de relações bem definidas de causa-efeito e adota o pressuposto de que uma determinada seqüência de eventos que gerou um acidente é bastante improvável de ser repetida exatamente da mesma forma. A ênfase deste modelo está na gestão da variabilidade, incluindo a identificação de sua origem e o seu monitoramento.

HOLLNAGEL (2004) salienta a importância de se conhecer o desempenho normal do sistema e os fatores que geram tanto o sucesso como as falhas do sistema, abandonando a noção de causa e adotando a idéia de explicação dos acidentes, em vez da busca de culpados e causas.

AMALBERTI (1996) ressalta a importância da ergonomia no estudo do trabalho normal, por exemplo, com análises ergonômicas do trabalho como caminho para a identificação das variabilidades no sistema e, principalmente, das estratégias e dos modos operatórios usados pelos trabalhadores para a solução dos problemas e a retomada do desenvolvimento normal da atividade.

Para VIDAL (1989), essas variabilidades atuam diretamente no aumento da

carga de trabalho e conseqüentemente nos riscos de acidentes. As variabilidades, conseqüências de desfuncionamentos sistêmicos, tendem a ser geridas pelos próprios trabalhadores em função da sua capacidade cognitiva. A esses esforços para gerir as variabilidades nos processos de trabalho, os ergonômistas chamam de regulação.

HOLLNAGEL (2004) acrescenta que a variabilidade de desempenho não decorre apenas da variabilidade humana como tal, especialmente se esta é compreendida como proveniente de limitações motoras, de percepção e cognitivas. Ela é também induzida pela complexidade e pelas demandas do sistema e dada à impossibilidade de reduzir essa complexidade, a alternativa para prevenção é tentar geri-la.

Na prática, as ações humanas têm sempre que atender a múltiplos critérios nebulosos e freqüentemente conflitantes e, normalmente, as pessoas são capazes de lidar com essa complexidade imposta porque podem ajustar o que fazem e como fazem (HOLLNAGEL, 2004).

HOLLNAGEL (2004) relata que os trabalhadores buscam aperfeiçoar seus desempenhos, realizando suas atividades da melhor maneira possível e com custo mínimo, ou seja, sem desperdiçar tempo ou esforços desnecessários. Isso pode ser visto como tentativa de se conseguir um equilíbrio ou compromisso aceitável entre recursos e demandas ou negociação entre eficiência e qualidade de modo a alcançar as metas internalizadas pela pessoa. HOLLNAGEL (2004) denomina este equilíbrio de ETTO (*Efficiency-Throughness Trade-Off*).

Para este autor, decisões e adaptações que privilegiem a eficiência são baseadas em heurísticas (“alguém já deve ter comunicado”, “isto já foi conferido antes”, etc.) que podem comprometer a segurança do sistema. Estas escolhas ou heurísticas aparecem tanto no âmbito do trabalho individual, quanto no coletivo ou organizacional. Assim é que, um trabalhador pode fazer uma avaliação rápida ao invés de outra mais detalhada, omitir uma checagem prescrita, considerar que a ação necessária foi feita por outra pessoa, adiar a tarefa não considerada essencial no momento, repetir a ação que funcionou anteriormente e estimular a falsa sensação de segurança. As pessoas agem desse modo tentando ser eficientes e o fazem sendo tão cuidadosos quanto acreditam que seja necessário.

Diante desse contexto, HOLLNAGEL (2004) propõe um método de análise de acidentes, denominado Método de Análise de Ressonância Funcional (FRAM – *Functional Resonance Analysis Method*). Este método é baseado em um modelo

sistêmico que utiliza uma analogia aos conceitos físicos de “estocástico” e “ressonância” para explicar os acidentes.

HOLLNAGEL (2004) explica que a variabilidade de um sistema comporta-se conforme um modelo estocástico, ou seja, a probabilidade de que uma dada variação aconteça é aleatória e não previsível. Estas variações não são por si só, capazes de provocar um acidente. No entanto, pelo fenômeno da ressonância, quando estas variações agem simultaneamente e na mesma frequência, elas podem amplificar o risco dos acidentes. Estas analogias mostram que os fatores que perturbam um sistema são múltiplos, não-lineares, de atuação simultânea e desordenada (chamadas de movimentos *brownianos*). O modelo sistêmico assume que a variabilidade é normal e que sua eliminação é, em geral, impossível, sobretudo no contexto de sistemas dinâmicos e complexos. Assim, o modelo sistêmico propõe que a ênfase das ações preventivas deve ser na monitoração da variabilidade nas funções do sistema e no desenvolvimento da capacidade de adaptação às pressões organizacionais. A Figura 5 ilustra o modelo proposto por Hollnagel.

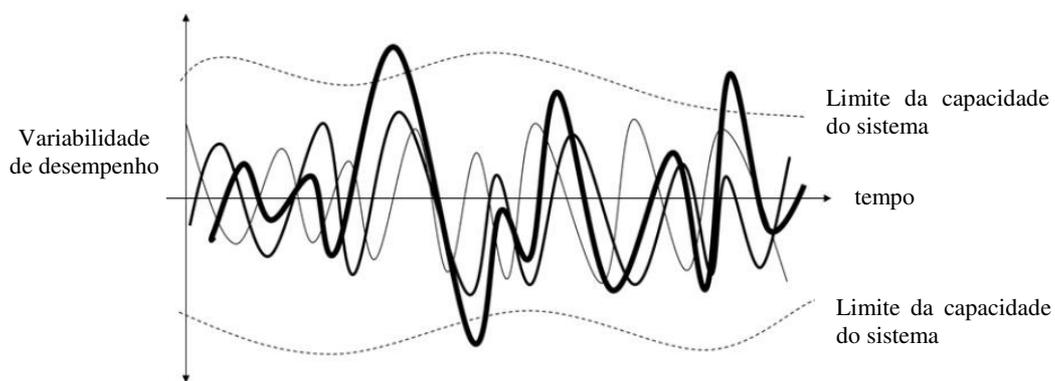


Figura 5: Variabilidade de desempenho e a ressonância (adaptado de HOLLNAGEL, 2004).

HOLLNAGEL (2004) aponta quatro fatores que podem interferir no sistema de modo “estocástico” e “ressonante”:

- A variabilidade do desempenho humano;

- A falta de visibilidade das barreiras de segurança;
- As condições latentes do sistema;
- As falhas tecnológicas.

Para HOLLNAGEL (2004), é de validade limitada deter-se na busca de causas específicas de um acidente, já que cada acidente apresenta uma combinação própria de fatores que podem causá-lo. O modelo de HOLLNAGEL (2004) está focado não apenas na busca por razões diretas que influenciaram na ocorrência do acidente, mas principalmente em compreender o funcionamento do sistema no contexto relacionado ao cenário do acidente.

Resumindo, o modelo FRAM é baseado fundamentalmente em quatro princípios (HOLLNAGEL, 2004; HERRERA e WOLTJER, 2010; PRAETORIUS *et al.*, 2011; CARVALHO, 2011):

- 1) Sucesso e fracasso emergem das mesmas fontes. Os sucessos e as falhas dos sistemas sociotécnicos surgem de adaptações que as organizações ou as pessoas fazem para lidar com a complexidade. O sucesso de uma situação é baseado na capacidade de antecipar, monitorar, reconhecer e gerenciar os riscos, enquanto as falhas são muitas vezes devido à ausência dessas capacidades;
- 2) Sistemas sociotécnicos são parcialmente previsíveis - nossa racionalidade permite atingir certo nível de controle da complexidade (ALDERSON e DOYLE, 2010) - e precisam se adaptar para atender às demandas do contexto. Portanto, por mais paradoxal que pareça, a variabilidade de desempenho é necessária para que um sistema complexo seja controlável;
- 3) Os sistemas sociotécnicos podem sofrer grandes perdas, desproporcionais a uma dada variabilidade observada individualmente, quando as variabilidades de múltiplas funções combinam de forma não prevista pelo sistema de controle ou pelas barreiras de segurança;
- 4) Quando a variabilidade das várias funções entra em ressonância, essa variabilidade pode exceder os limites normais e resultar em um acidente.

2.2 Resiliência e Engenharia de Resiliência

O termo resiliência tem sua origem no latim, no verbo “*resilire*” que significa “saltar para trás”, “voltar ao estado natural”. Os primeiros relatos da utilização do termo foi pelo cientista inglês Thomas Young em 1807, que o utilizou para descrever a capacidade de um corpo deformado por uma força externa voltar ao estado natural quando esta mesma força é cessada. Mais tarde, a resiliência foi incorporada pela física como a capacidade de um material absorver energia quando deformado elasticamente e liberá-la quando descarregado.

Os materiais quando submetidos a uma tensão, sofrem uma deformação. Uma curva de tensão *versus* deformação de um material permite vislumbrar suas características e aplicações. Resumidamente, podemos classificar esta curva em duas regiões, a região elástica e a região plástica. A Figura 6 apresenta esta curva.

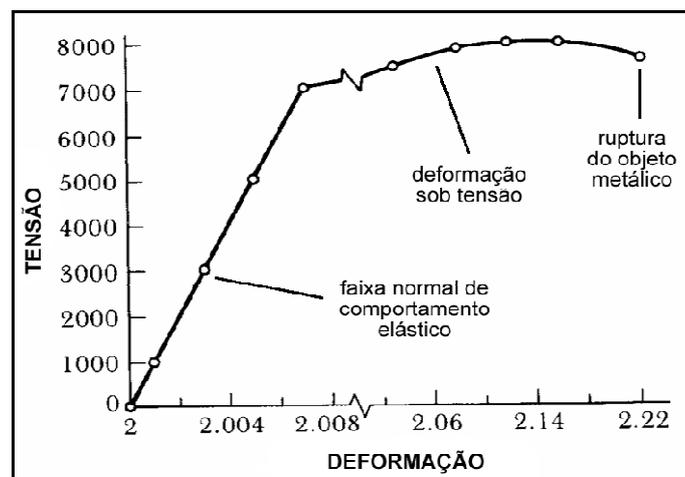


Figura 6: Relação entre tensão e deformação em materiais (adaptado de WREATHALL *et al.*, 2006).

Na região elástica, a tensão aplicada no material produz uma deformação proporcional à força aplicada. Quando esta força é cessada, o material retorna a situação original, sem qualquer deformação. Na região plástica isto não ocorre e o material fica deformado.

O conceito de resiliência ultrapassou o campo da física e outras áreas de conhecimento incorporaram a palavra resiliência aos seus estudos, como por exemplo, a economia, a engenharia e a psicologia.

No contexto organizacional, a resiliência procura relacionar de que formas as tensões produtivas (as demandas) dentro das organizações promovem deformações em seus níveis de segurança, como mostra a Figura 7.

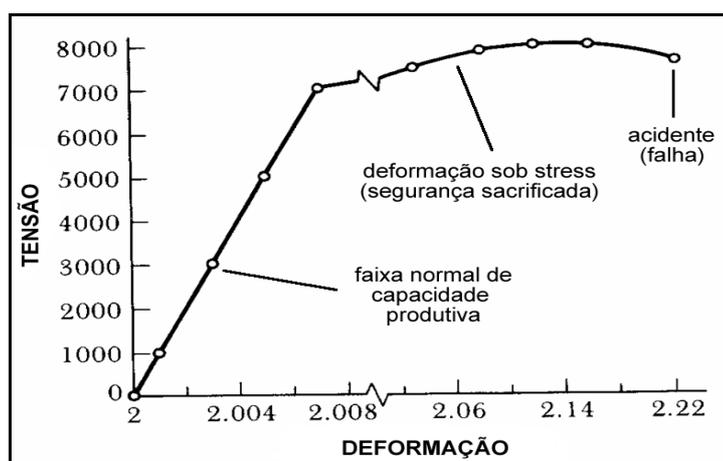


Figura 7: Segurança como problema de controle: tensão *versus* deformação (adaptado de WREATHALL *et al.*, 2006).

As organizações quase sempre operam em uma faixa normal de capacidade produtiva, estando sujeita a um conjunto de perigos postulados que ela consegue tratar, situando-se na região linear da curva. Em outros momentos, as organizações operam nos limites da sua capacidade produtiva, sacrificando aspectos de segurança quando podem sofrer com os acidentes.

O diferencial de uma abordagem resiliente é que todas as medições e análise devem contemplar o sucesso das diferentes formas de atuação dos praticantes.

O conceito de resiliência organizacional pode ser visto como um resultado natural da evolução das pesquisas dos modelos de análise de acidentes e de gestão da segurança, cujo foco é a gestão e controle das variabilidades para manter a eficiência e a segurança dos sistemas complexos.

HOLLNAGEL *et al.* (2006) enfatizam que a resiliência é uma função da percepção da situação da organização, identificação e gestão de variabilidades e capacidade adaptativa em um ambiente complexo, dinâmico e interconectado.

Desta forma, a engenharia de resiliência aparece como um novo paradigma para lidar com a gestão de segurança. A questão central para a engenharia de resiliência é permitir que os sistemas sejam capazes de se recuperar de distúrbios, tendo a segurança como uma propriedade emergente do sistema, em vez de tê-la baseada exclusivamente na dependência de componentes confiáveis.

WREATHALL (2006) considera que a expressão “engenharia de resiliência” refere-se ao desenvolvimento e implementação de ferramentas e recursos necessários para manter a resiliência do sistema. JACKSON (2010) concorda com esta argumentação e acrescenta que a expressão “arquitetura de sistemas resilientes” é mais apropriada do que “engenharia de resiliência”.

As abordagens mais tradicionais da engenharia de segurança adotam principalmente uma visão retrospectiva na análise de acidentes (buscando relações imediatas causa-efeito materializadas por meio de atos e/ou condições inseguras) e uma análise de riscos probabilística, na qual a segurança é atingida quando se estiver livre de riscos inaceitáveis (se a probabilidade de um evento é muito baixa, não precisamos de pensar na segurança para lidar com este tipo de evento).

Por outro lado, a engenharia de resiliência, baseada no modelo sistêmico de análise de acidentes, enfatiza a capacidade de uma organização de ajustar o seu funcionamento e lidar com suas vulnerabilidades para sustentar as operações diárias ou em situações de falhas ou acidentes (CHIALASTRI, 2011).

De acordo com WOODS (2006), a engenharia resiliência postula a necessidade de entender os sistemas produtivos por meio da monitoração do trabalho real, a partir da identificação das demandas dos trabalhadores nos diversos níveis de uma organização, além de possuir capacidade de aprender com uma análise aprofundada de acidentes e das situações recuperadas dos quase-acidentes, de forma a gerar subsídios para melhorar a capacitação e a gestão da segurança.

Adicionalmente, a engenharia de resiliência fornece os métodos pelos quais a resiliência de uma organização pode ser avaliada ou medida, bem como os meios por meio dos quais a resiliência pode ser melhorada. De acordo com HOLLNAGEL *et al.* (2008), engenharia de resiliência é o processo no qual uma organização projeta, desenvolve, implementa e gerencia a proteção e a sustentabilidade de seus serviços

críticos, relacionados com os processos de negócio e associados aos ativos (pessoas, informação, tecnologia e instalações).

O desafio para a engenharia de resiliência é reconhecer o momento em que o estado de estabilidade dinâmica de algumas situações pode mudar para um estado de instabilidade dinâmica. Essa mudança pode ser abrupta, resultando em um acidente, ou ocorrer de forma lenta, como na degradação gradual das margens de segurança como consequência de ajustes insuficientes ou inapropriados nos sistemas, o chamado desvio em direção a falha (HOLLNAGEL, 2006; DEKKER, 2011).

Assim, uma organização resiliente deve proporcionar meios para a gestão das adaptações, monitorando, entendendo, refletindo e aprendendo a partir dessas estratégias, identificando ameaças e riscos à segurança.

2.2.1 Princípios da Engenharia de Resiliência

Diversos estudos (EPRI, 1999; WRETHALL e MERRITT, 2003; HOLNAGEL *et al.*, 2006; WREATHALL, 2006; HALE e HEIJER, 2006) apresentam propriedades de organizações resilientes, chamadas também de princípios da engenharia de resiliência. Estes estudos identificaram características de organizações que executam atividades de alto risco em ambientes complexos e mesmo assim, conseguem manter um excelente desempenho de segurança e eficiência operacional. Esses princípios, que servem de referencial para o método de avaliação proposto nesta tese, são apresentados a seguir:

a) Comprometimento da alta direção

O comprometimento da alta direção compreende que a segurança deve ser um valor cultural destacado na organização.

WREATHALL (2006) argumenta que para manter um ambiente interessado com o estabelecimento de uma cultura de segurança é necessário, em primeiro lugar, o comprometimento da gerência da organização, que deve se preocupar com um equilíbrio entre as pressões produtivas e as questões de segurança.

Para FLIN (2006), o nível de compromisso da alta direção pode ser evidenciado quando a produção e a segurança entram em conflito e decisões críticas precisam ser tomadas.

Segundo DEKKER (2006), a alta direção deve reconhecer e estimular a importância do desempenho humano nas ações relacionadas à segurança, tanto em palavras como em ações. Desta maneira, as pressões da produção terão menos influência sobre a segurança do trabalho, aumentando o equilíbrio entre esses objetivos, o que segundo este autor, é uma questão de destaque abordada pela engenharia de resiliência.

As reuniões para discussão de aspectos críticos de segurança de determinados setores e a inclusão de questões sobre segurança em todas as reuniões e encontros com os supervisores são evidências do comprometimento da alta direção (HSE, 2005).

EPRI (1999) relata que o comprometimento da alta direção tem grande influência sobre outras propriedades e considera importantes os seguintes fatores relacionados à propriedade:

- 1) Número de especialistas em segurança e saúde na organização;
- 2) Investimentos em ações corretivas relacionadas ao desempenho humano (recursos humanos, materiais e financeiros);
- 3) Recursos disponibilizados para treinamentos;

Resumindo, o comprometimento da alta direção é necessário para proporcionar liderança, influenciar as ações da gerência e dos trabalhadores em geral e alocar recursos e investimentos nos momentos mais oportunos.

b) Aprendizagem

WREATHALL (2006) menciona a aprendizagem como um dos princípios da engenharia de resiliência e enfatiza que as investigações de incidentes e acidentes devem priorizar as causas sistêmicas, utilizando uma cultura de justiça.

EPRI (1999) relata que o tema cultura de aprendizagem aborda a dificuldade da organização em identificar as melhores maneiras de realizar seus negócios e lidar com os problemas. Ainda de acordo com o EPRI (1999), uma organização com uma boa cultura de aprendizagem, identifica as melhores maneiras de condução de suas operações sem depender inteiramente de informações reativas.

HALE e HEIJER (2006) relatam duas evidências de aprendizagem sob o enfoque da engenharia de resiliência:

- 1) Realização de revisões periódicas das avaliações de risco, as quais devem antecipar e responder às mudanças no meio ambiente dinâmico em que a organização está inserida;
- 2) Resolução de problemas conduzida de forma sistêmica, com uma avaliação de riscos e definição das respectivas medidas de controle baseadas em um cenário de risco compartilhado.

A visão sistêmica e o cenário compartilhado requerem realimentação contínua de informações de processos gerenciais de segurança. Desta forma, a disponibilidade de informações é essencial para a aprendizagem em um ambiente instável e complexo.

A comunicação exerce uma função de controle quando influencia o comportamento dos agentes humanos na rotina de trabalho e possibilitam também, que decisões sejam tomadas com base nas informações colhidas pelos mais diversos canais (ROBBINS, 2002).

NEAL *et al.* (2000) enfatizam que a comunicação é um dos fatores que favorece o clima de segurança e que quando os trabalhadores têm a percepção que existe uma liberdade de comunicação na organização é provável que entendam que a comunicação de segurança também é valiosa.

Segundo CASALI (2004), a comunicação é um processo dinâmico que permite o acesso às informações dos mais diferentes conteúdos por intermédio de recursos disponíveis para continuamente criar e recriar a realidade social.

COOK e WOODS (2006) afirmam que embora a aprendizagem a partir dos acidentes seja tradicional na área de segurança, essa estratégia tem se tornado cada vez mais difícil devido à complexidade dos sistemas, que tende a esconder as causas subjacentes que conduzem às falhas.

A aprendizagem sob a visão sistêmica da engenharia de resiliência enfatiza que ela também pode ocorrer baseada na análise do desempenho normal e não apenas na análise das falhas (HOLLNAGEL e WOODS, 2005). Desta forma, deve-se periodicamente realimentar os procedimentos para que o trabalho prescrito esteja o mais próximo possível do trabalho real. Segundo HALE *et al.* (2006), o sistema de monitoramento e modificação dos procedimentos é tão ou mais importante que o desenvolvimento inicial desses procedimentos.

Na realidade, devido ao fato que nem sempre é possível especificar todas as questões de segurança, é habitual um procedimento de segurança não contemplar as especificidades diárias do trabalho. Em uma situação real de trabalho, as pressões temporais, as falhas de equipamentos, a falta de materiais, as falhas de planejamento, entre outras, podem tornar a situação de trabalho tão diferente da idealizada que passa a ser inviável seguir o procedimento (CACCIABUE, 2004).

De acordo com HALE *et al.* (2006), a análise das violações de procedimentos podem fornecer situações distintas de aprendizagem, como:

- 1) Se as violações foram inevitáveis para realizar o trabalho real, essas violações deveriam ser consideradas nos procedimentos;
- 2) Se as violações não foram necessárias para realizar o trabalho real, essas violações devem ser tratadas, por meio de melhoria dos sistemas de avaliação e percepção do risco pelos trabalhadores e uma reavaliação dos limites do comportamento seguro.

WOODS e HOLLNAGEL (2005) relatam que a análise das prescrições de trabalho e das práticas reais de trabalho evidencia como as pessoas se esforçam para manter uma margem de segurança em face às pressões para aumentar a eficiência.

Outras maneiras de aprendizagem individual e organizacional são destacadas pelo EPRI (1999), como investigação de acidentes por equipes multidisciplinares, ações corretivas relacionadas a procedimentos e treinamentos, realimentação do sistema de gestão e modificação de estruturas e práticas em resposta a eventos.

c) Flexibilidade

A capacidade de flexibilidade das organizações é uma das propriedades mais relevantes, pois retrata a capacidade de adaptação das organizações aos problemas novos e complexos, buscando soluções sem comprometer a funcionalidade global (EPRI, 1999). Alguns fatores contribuem para esse comportamento flexível, como por exemplo, a possibilidade dos trabalhadores de níveis operacionais tomarem decisões importantes sem a necessidade de esperar por instruções gerenciais. Assim, os trabalhadores possuem autonomia para resolver conflitos e responder a eventos não previstos.

HOLLNAGEL (2006) alerta que a flexibilidade precisa ser monitorada, pois ao mesmo tempo em que adaptações são capazes de evitar que situações inesperadas causem danos, elas podem criar “brechas” para a ocorrência de falhas.

Para WOODS (2006), flexibilidade significa a capacidade de amortecimento do sistema, ou seja, o tamanho ou os tipos de rompimentos que o sistema pode absorver ou adaptar sem uma avaria fundamental.

A flexibilidade do trabalho humano permite que ações normais sejam bem sucedidas, pois as pessoas se adaptam às condições locais e às mudanças nos recursos e demandas. HOLLNAGEL e WOODS (2005) acrescentam que essas adaptações são quase sempre baseadas em uma análise limitada das condições atuais em virtude dos inúmeros conflitos de escolha (*trade-offs*) a serem considerados, por exemplo, entre a segurança e a produção.

À medida que as pressões por produção ou eficiência aumentam, as pessoas tomam decisões que abandonam os objetivos de segurança. O equilíbrio entre as demandas de segurança e as pressões por produção passa a ser uma missão difícil. Como exemplo, o relatório da análise do acidente da nave espacial *Columbia*, revelou que pelo fato da NASA (*National Aeronautics and Space Administration* – órgão do governo dos EUA) adotar uma política cada vez mais arriscada, pressionando a produção para ser mais rápida, melhor e mais barata, fez com que a resiliência do sistema se deteriorasse (WOODS, 2006). Neste caso, múltiplos objetivos conflitantes comprometeram o equilíbrio entre a produtividade e a segurança do sistema.

WOODS (2006) ressalta a importância da realização de julgamentos de sacrifício no gerenciamento do *trade-off*, ou seja, sacrificar objetivos de produção ou

diminuir as respectivas pressões para não se aproximar demasiadamente dos limites de segurança.

Para HALE e HEIJER (2006), organizações com flexibilidade possuem as seguintes características:

- 1) As defesas não se deterioram devido às pressões pela produção;
- 2) A organização consegue responder às rápidas mudanças de demanda;
- 3) A organização tem capacidade para anular ou minimizar o efeito de situações inesperadas.

Conforme GREENBAUM *et al.* (1998), outro fator importante que favorece as organizações enfrentarem eventos não previstos por meio de comportamentos flexíveis é a comunicação. Para os autores, a comunicação estimula a troca de informações e conhecimentos, beneficia a tomada de decisão e permite que os resultados sejam mais discutidos entre os trabalhadores.

EPRI (1999) acrescenta que problemas "engavetados" e não resolvidos ou problemas relatados que não são resolvidos devido à ausência de instruções da gerência são exemplos de ausência de flexibilidade organizacional.

d) Consciência

O princípio da consciência está relacionado à necessidade das organizações compreenderem como está seu desempenho no que diz respeito à segurança.

De acordo com o EPRI (1999), o foco deste tema é a coleta, a qualidade e o entendimento dos dados fornecidos por indicadores de segurança, para que a gerência tenha consciência do que está acontecendo na organização, do estado das defesas e a qualidade dos fatores relacionados ao desempenho humano. Para isso, as informações sobre problemas atuais de segurança precisam ser compartilhadas rapidamente com toda a força de trabalho da organização.

O monitoramento do desempenho de segurança é fundamental para manter as pessoas responsáveis e conscientes a respeito de seu *status* na organização (EPRI, 1999). Além disso, é importante que todas as partes interessadas estejam conscientes do *status* de todos os outros agentes, tais como o grupo de trabalho, máquinas ou equipamentos e trabalhadores terceirizados.

HALE e HEIJER (2006) relatam duas evidências de que o princípio da consciência está difundido na organização:

- 1) O fato de ter havido bom desempenho no passado não leva à complacência em relação ao controle de riscos;
- 2) A segurança é planejada de maneira tão inerente quanto possível no sistema.

Outras evidências de consciência organizacional são apresentadas pelo EPRI (1999):

- Incentivo aos relatos de acidentes;
- Confidencialidade dos relatos;
- Processos amigáveis de comunicação;
- Incentivo ao uso dos processos de comunicação;
- Correlação entre análise dos dados e as ações corretivas;
- Monitoramento e compreensão das barreiras ou defesas.

e) Cultura de Justiça

Esse tema é citado em estudos sobre a aprendizagem organizacional (REASON, 1997; HSE, 2005; WRETHALL, 2006). Estes estudos enfatizam a necessidade de uma cultura de justiça, a qual requer o estabelecimento de diretrizes para investigação de acidentes priorizando as causas sistêmicas. Sem uma cultura justa, a voluntariedade dos trabalhadores em relatar acidentes e quase-acidentes será diminuída, limitando a capacidade de aprendizagem da organização sobre as fraquezas das suas atuais defesas.

REASON (1997) e WRETHALL (2006) destacam que é importante garantir a integridade dos trabalhadores após os relatos, de modo a minimizar o receio por punições na ocorrência de cenários desfavoráveis. Os trabalhadores não devem sofrer represálias por suas ações, omissões ou tomadas de decisões. Entretanto, AKSELSSON *et al.* (2009) afirmam que comportamentos negligentes ou destrutivos não devem ser tolerados.

EPRI (1999) acrescenta que uma organização com cultura de justiça, incentiva a comunicação de qualquer questão relacionada à segurança e que este tipo de cultura não tolera atitudes que busquem culpados. Segundo EPRI (1999), os trabalhadores podem perder a confiança, a motivação e a percepção de uma cultura justa, caso a gerência cometa alguma ação imprudente.

Outra questão importante que evidencia uma cultura de justiça na organização é quando a chefia considera a opinião da equipe de trabalho nas investigações disciplinares (EPRI, 1999).

f) Preparação (prontidão) para os problemas

Segundo WRETHALL e MERRITT (2003), uma organização resiliente tem que "estar à frente" dos problemas de desempenho humano, ou seja, a organização tem que estar preparada para responder.

EPRI (1999) relata que este princípio refere-se a uma abordagem pró-ativa de preparação e planejamento de ações para eliminar ou reduzir problemas de desempenho humano e eventos imprevistos ou não planejados, visto que uma fonte significativa de estresse na organização é a reação a estes problemas e eventos. Este princípio deve ser aplicado a todos os níveis da organização.

EPRI (1999) relaciona três evidências de uma organização preparada para enfrentar problemas de segurança:

- 1) Planos e procedimentos de segurança revisados e atualizados;
- 2) Treinamentos de resposta às emergências oferecidos aos trabalhadores;

3) Equipamentos de segurança guardados em locais adequados e rotineiramente testados.

Além desses seis princípios da engenharia de resiliência, pode-se destacar outro que permeia os demais, **a opacidade**. O conceito de opacidade refere-se à capacidade da organização de estar ciente dos seus limites de produção, das suas fronteiras de segurança e da degradação de barreiras (WRETHALL, 2006; BRACCO *et al.*, 2011).

Cabe ressaltar que estes princípios da engenharia de resiliência podem ser utilizados em qualquer domínio organizacional em um determinado momento, desde o enfoque de um único trabalhador no seu posto de trabalho até o enfoque da organização como um todo.

Para WRETHALL e MERRITT (2003), o grande desafio das organizações que lidam com tecnologias perigosas é traduzir essas propriedades ou princípios da engenharia de resiliência em ações observáveis – indicadores preditivos – que possam ser monitoradas.

2.2.2 Capacidades de Sistemas Resilientes

Em 2011, Hollnagel em seu livro “*Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*” utilizou a expressão “*the four cornerstones of resilience*” (os quatro pilares da resiliência) para descrever as capacidades essenciais que caracterizam um sistema resiliente. Essas capacidades, esquematizadas na Figura 8, são (HOLLNAGEL, 2011a):

1) Saber o que fazer, ou seja, como **responder** a interrupções regulares, irregulares e distúrbios, quer por meio de um conjunto de respostas preparadas ou ajustando o funcionamento normal do sistema. Esta é a capacidade para lidar com o “real”, ou seja, com o que está presente;

2) Saber o que procurar, ou seja, como **monitorar** o que é ou pode tornar-se uma ameaça em curto prazo. A monitoração deve abranger o que acontece no ambiente e o que acontece no próprio sistema, isto é, seu próprio desempenho. Esta é a capacidade para lidar com o “crítico”, ou seja, com o perigo;

3) Saber o que esperar, ou seja, como se **antecipar** aos acontecimentos, ameaças e oportunidades futuras, tais como possíveis mudanças, interrupções, pressões e ameaças latentes. Esta é a capacidade para lidar com o “potencial”, ou seja, com o que é possível; provável de acontecer;

4) Saber o que aconteceu, isto é, como **aprender** com a experiência, em particular, como aprender as lições certas da experiência certa; aprender com os sucessos e com as falhas. Esta é a capacidade para lidar com o “factual”, ou seja, com o que ocorre baseado em fatos e não em opiniões. É a capacidade de aprender com a experiência.

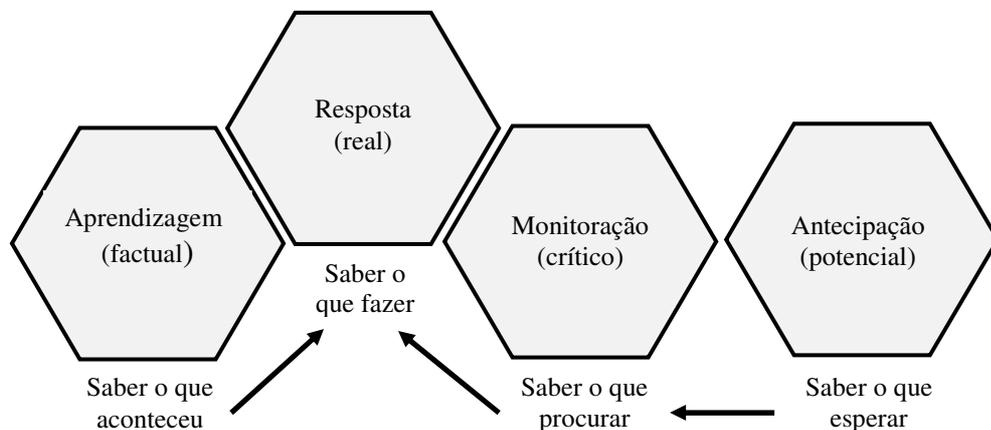


Figura 8: As capacidades de um sistema resiliente (adaptado de HOLLNAGEL, 2011a).

O método proposto nessa tese se enquadra no processo de **monitoração** da resiliência e utiliza indicadores preditivos baseados nos seis princípios da engenharia de resiliência (comprometimento da alta direção, aprendizagem, flexibilidade, consciência, cultura de justiça e preparação para problemas).

2.3 Indicadores de Segurança

Segundo SANTOS *et al.* (2008 b), o sistema de gerenciamento da segurança de uma instalação industrial é um conjunto de medidas, procedimentos e práticas, integradas e documentadas, com o objetivo de garantir o gerenciamento efetivo e seguro das operações industriais, em conformidade com a legislação específica em vigor.

A gestão da segurança tem sido considerada um problema de controle de sistemas sociotécnicos complexos. Esta gestão depende de uma antecipação e acompanhamento sistemático do desempenho organizacional (RASMUSSEN, 1997; REIMAN e OEDEWALD, 2009).

HOLLNAGEL e WOODS (2006) resumem que “para controlar é necessário saber o que aconteceu (o passado), o que acontece (o presente), o que pode acontecer (o futuro), o que fazer e ter recursos para fazer”. O sistema deve ser controlado para que se mantenha dentro dos limites de sua atuação segura.

Nesse contexto, os indicadores de segurança podem ajudar adequadamente no controle e no acompanhamento das atividades e operações industriais, assim como na gestão da segurança de forma pró-ativa (EPRI, 2000; IAEA, 2000). Segundo a literatura (EPRI, 1999; EPRI, 2000; IAEA, 2000; REIMAN e PIETIKÄINEN; 2010) esses indicadores podem ser divididos em duas categorias: indicadores reativos (*lagging indicators*) e indicadores preditivos (*leading indicators*).

A seguir serão abordadas as principais características dos indicadores reativos e preditivos.

2.3.1 Indicadores Reativos e Preditivos

IAEA (2000) e WANO (2009) enfatizam a função de monitoramento dos indicadores de segurança e da importância desse monitoramento não depender exclusivamente de indicadores reativos (indicadores de resultado), mas também de indicadores capazes de compreender as práticas, processos organizacionais e as atividades atuais. Segundo esses estudos, os indicadores reativos fornecem informações sobre resultados de atividades ou eventos que já aconteceram (número de acidentes, falhas, alarmes), eles não fornecem informações capazes de entender as mudanças no

desempenho de segurança da organização. Desta forma, as organizações devem usar indicadores preditivos para monitorar a segurança de maneira pró-ativa, antecipando as vulnerabilidades.

IAEA (2000) afirma que a escolha dos indicadores de segurança para plantas nucleares deve incluir tanto indicadores que refletem o desempenho real (estatísticas de eventos), os indicadores reativos, como outros que fornecem um alerta sobre a queda de desempenho da planta, os indicadores preditivos. Para a IAEA (2000), os indicadores preditivos fornecem informações que ajudam os trabalhadores a responder às mudanças e a tomar medidas para alcançar os resultados desejados ou evitar resultados indesejados.

HSE (2006) define indicadores preditivos como indicadores que identificam falhas ou “lacunas” em aspectos essenciais de atividades críticas de um sistema.

EPRI (2000) e KJELLÉN (2009) afirmam que os indicadores preditivos devem fornecer sinais tanto do estado atual das principais funções ou processos organizacionais, como da infraestrutura técnica do sistema. O estado atual inclui uma visão das mudanças de vulnerabilidades da organização e do seu modelo de segurança. Os indicadores preditivos mostram o potencial da organização em alcançar a segurança. Assim, indicadores preditivos eficazes fornecem uma base de informações para predição de situações que podem mudar o desempenho humano, seja para melhor ou pior (EPRI, 2000). Desta forma, segundo KJELLÉN (2009), para que um indicador seja sensível às mudanças do sistema organizacional que precedem o aumento do nível de risco, ele não pode se concentrar nas falhas, “buracos” ou mesmo nos quase-acidentes. O indicador deve fornecer informações sobre as atividades e os meios organizacionais de controle de riscos.

Segundo EPRI (2000), os indicadores preditivos devem fornecer as seguintes informações:

- 1) Se os requisitos (exigências) foram cumpridos ou não;
- 2) Onde a organização deverá alocar mais esforços para que os requisitos (exigências) sejam cumpridos;
- 3) Visão precisa dos requisitos (exigências).

Conforme comentado na Seção 2.1.3, os acidentes em organizações complexas muitas vezes resultam de uma combinação de várias circunstâncias, deficiências e variabilidades de desempenho, que caso ocorressem isoladamente, seriam inofensivas. Este fato ressalta a importância de ter indicadores preditivos que foquem nas atuais condições técnicas, organizacionais e humanas da organização.

MEARS (2009) afirma que os indicadores não representam necessariamente a realidade, mas é uma tentativa de refletir a verdade na forma de múltiplos e diferentes formatos de dados.

ALE (2009) faz uma analogia interessante entre os indicadores de segurança e um exame médico. O autor relata que a temperatura corporal é um bom indicador da saúde de uma pessoa, assim como a pressão arterial e a frequência cardíaca. Um exame médico muitas vezes se inicia com a verificação desses dados (estatísticas) vitais. No entanto, em alguns casos, um bom estado desses indicadores não é suficiente para ter certeza de que não há algo errado. Por exemplo, a fratura de um osso pode não mudar esses dados vitais. Além disso, esses dados mostram grande variabilidade sobre os indivíduos. Desta maneira, a interpretação dos dados dos indicadores é uma etapa importante do processo de utilização de indicadores preditivos.

EPRI (1999), EPRI (2000), IAEA (2001), REIMAN e PIETIKÄINEN (2010) apresentam estudos sobre indicadores de segurança para organizações da área nuclear. Esses indicadores buscam informações sobre as políticas de segurança, as atividades realizadas, as habilidades, competências, motivação das pessoas e práticas de trabalho. Os autores enfatizam que estes indicadores devem ser adaptados às especificidades das instalações e das condições de desempenho da planta, ou seja, a seleção e a utilização de indicadores de segurança devem ser sempre baseadas na compreensão do sistema sociotécnico. Esses indicadores estão apresentados no Anexo 1.

A diferença entre os indicadores reativos e preditivos é ilustrada na Figura 9.

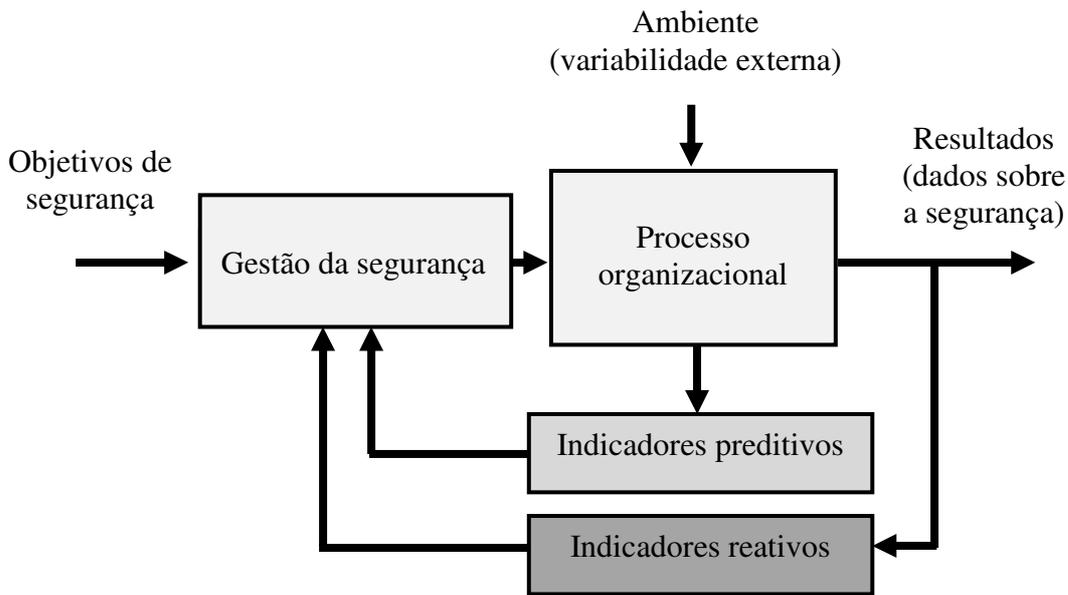


Figura 9: Indicadores preditivos e reativos na gestão da segurança (adaptado de HOLLNAGEL, 2008).

A Figura 9 mostra que os indicadores reativos fornecem informações das saídas do sistema (processo). Esses indicadores não fornecem informações do nível de segurança do sistema ou da dinâmica de funcionamento do sistema. HOLLNAGEL (2008) enfatiza que as informações fornecidas por indicadores reativos servem para o controle de risco, por meio de ajustes nas barreiras de segurança.

Conforme HOLLNAGEL (2004), as barreiras de segurança podem ser físicas (paredes, portas, cintos de segurança, válvulas), funcionais (a tarefa somente é executada depois que as condições prévias necessárias para a execução desta tarefa são ajustadas), simbólicas (sinais, sinalizações) e imateriais (regras, diretrizes, restrições, leis).

As informações colhidas de indicadores preditivos fornecem uma visão da dinâmica do sistema, das atividades em curso, competências, habilidades e motivação das pessoas, rotinas e práticas, ou seja, o potencial organizacional para a segurança (HOLLNAGEL, 2008). Em outras palavras, esses indicadores monitoram o funcionamento e a dinâmica interna do sistema sociotécnico.

As influências ambientais (variabilidade externa) referem-se aos desvios e distúrbios fora do controle da organização que influenciam no seu desempenho e nos resultados.

2.3.2 Indicadores Preditivos na Avaliação da Resiliência

HOLLNAGEL (2011b) ressalta a importância da avaliação da resiliência organizacional ser baseada em indicadores preditivos, devido ao fato deles serem precursores de mudanças e de eventos. Contudo, segundo o autor, a principal dificuldade de trabalhar com esses indicadores é que a interpretação das informações exige uma descrição articulada, ou um modelo, de como funciona o sistema. Devido a isso, a maioria dos sistemas depende de indicadores reativos, que são na maioria, estatísticas de acidentes, o que diminui a probabilidade de sucesso nas intervenções.

Uma etapa importante na utilização de indicadores são as métricas corretas para avaliá-los, ou seja, como os indicadores serão avaliados. Diversos trabalhos pesquisados utilizam escalas ordinais para avaliá-los (métricas objetivas) (EPRI, 2000; HUBER, 2010; SOUZA, 2010). A medição dos indicadores utilizando escalas ordinais apresenta dificuldades em razão das limitações na compreensão e quantificação da resiliência nas organizações.

SAURIN e CARIM JR. (2011) publicaram um método para avaliar a resiliência em uma distribuidora de energia elétrica. O método é baseado apenas em quatro princípios da engenharia de resiliência (comprometimento da alta direção, aprendizagem, flexibilidade e consciência) e utiliza um sistema de pontuação e critérios (indicadores) de avaliação adotados pela Fundação Nacional da Qualidade (FNQ). Embora este método seja bastante útil para auditorias de serviços de saúde ocupacional e de sistemas de gestão de segurança, os autores relataram deficiências e dificuldades na aplicação do método, dentre as quais podemos destacar:

- a) Sua aplicação demanda uma equipe de avaliadores familiarizado com a teoria da engenharia de resiliência;
- b) A atribuição de pontos é subjetiva;

- c) A análise dos resultados a partir da perspectiva da engenharia de resiliência tem um alto nível de abstração;
- d) O método não avalia o grau de concordância das opiniões entre os avaliadores;
- e) Sua aplicação é demorada, devido ao tempo gasto desde a coleta de dados até a confecção do relatório final.

Algumas dificuldades relatadas nos trabalhos discutidos anteriormente são principalmente em razão das limitações na compreensão e quantificação da resiliência nas organizações. Esta dificuldade deve-se ao fato que independente do nível do trabalho humano, a nebulosidade está presente em vários momentos (KARWOWSKI, 1986; ROSCIANO, 2009; NUNES, 2010):

- a) A nebulosidade vinda da falta de habilidade das pessoas de adquirir e processar quantidades adequadas de informação a respeito do comportamento de um determinado subsistema (ou do sistema como um todo);
- b) A nebulosidade devida à superficialidade das relações entre as pessoas e seus ambientes de trabalho, complexidade das regras e princípios subjacentes a estes sistemas;
- c) A nebulosidade inerente aos processos do pensamento humano e percepções subjetivas do mundo externo.

É justamente esta a preocupação do presente trabalho de tese, isto é, tratar os processos do pensamento e percepções humanas segundo a lógica *fuzzy*. Para tanto, o método proposto nesta tese trabalha com métricas subjetivas, ou seja, medidas relativas baseadas em estimativas pessoais e obtidas por termos lingüísticos. Além disso, com os conceitos e propriedades da teoria *fuzzy*, pode-se avaliar o grau de concordância das opiniões dos avaliadores (especialistas).

Igualmente, a avaliação da resiliência procura julgar quais os atributos que capacitam ou dificultam a organização a lidar com as perturbações e fornece informações sobre se o seu desempenho está mudando ao longo do tempo (EPRI, 2000).

Desta maneira, necessita-se primeiro validar uma base de referência para correlacionar o indicador, somente assim, pode-se afirmar que uma mudança de valores resulta na melhora ou piora do desempenho organizacional.

2.4 Lógica *Fuzzy*

A maior parte da linguagem natural contém ambigüidade e multiplicidade de sentidos. Em particular, os adjetivos que utilizamos para caracterizar situações não nos permitem clareza suficiente, sendo ambíguos em termos de amplitude de significados.

Os seres humanos raciocinam de forma inteligente, criativa, incerta, imprecisa, difusa ou nebulosa, enquanto que as máquinas e os computadores são movidos por uma lógica precisa e binária. Esta forma de raciocínio humano é chamada em inglês por *fuzzy*. O advento da teoria *fuzzy* foi motivado pela necessidade de um método capaz de expressar de uma maneira sistemática quantidades imprecisas, vagas e mal-definidas. Como é o caso das avaliações subjetivas das condições de trabalho, de segurança e de resiliência de uma organização, que dependem do raciocínio incerto e impreciso de avaliadores.

Segundo CHAMOVITZ e COSENZA (2010), o uso da lógica *fuzzy* em sistemas complexos será indicado sempre que se desejar aproximar o modelo construído da realidade. Esta afirmação está baseada no princípio de incompatibilidade estabelecido por ZADEH (1973): “à medida que a complexidade de um sistema aumenta, a nossa habilidade para fazer afirmações precisas e que sejam significativas acerca deste sistema diminui até que um limiar é atingido além do qual precisão e significância (ou relevância) tornam-se quase que características mutuamente exclusivas”.

A utilização da lógica *fuzzy* em relação à lógica clássica nos processos complexos é justificada (JANG e GULLEY, 1995 *apud* CHAMOVITZ e COSENZA, 2010):

- Porque a naturalidade de sua abordagem torna seus conceitos fáceis de entender.
- Porque é flexível.
- Porque é tolerante com dados imprecisos.

- Porque pode modelar as funções não lineares da arbitrariedade da complexidade.
- Porque pode ser construída com base na experiência de especialistas.
- Porque é baseada na linguagem natural, base da comunicação humana.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, concebida por ZADEH (1965), tem o objetivo de fornecer uma ferramenta matemática para o tratamento de informações de caráter impreciso e vago. A lógica *fuzzy* baseada nessa teoria utiliza operadores semelhantes aos da lógica clássica. Porém, ao contrário da lógica *booleana*, a lógica *fuzzy* é multivariada e, em vez de um elemento pertencer 100% a um conjunto ou uma proposição ser somente verdadeira ou falsa, é possível trabalhar com afirmações parcialmente verdadeiras ou parcialmente falsas.

A teoria clássica de conjuntos permite o tratamento de classes de objetos e suas inter-relações em um universo definido. Nesta teoria, a pertinência de um dado elemento com relação a um conjunto refere-se ao fato de tal elemento pertencer ou não ao conjunto.

Dado um conjunto A em um universo X , os elementos desse universo pertencem ou não àquele conjunto e isto é definido por sua função característica, γ_A :

$$\gamma_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{para } x \in A \\ 0 & \text{para } x \notin A \end{cases}$$

A teoria dos conjuntos *fuzzy* oferece recursos para uma abordagem *fuzzy*, ou seja, nebulosa, difusa, mais próxima à realidade. Assim, elementos passam a pertencer a um conjunto em determinado grau.

A seguir, são apresentados os principais conceitos e propriedades da teoria dos conjuntos *fuzzy* que dão suporte ao desenvolvimento do método proposto nesta tese. Esses conceitos e propriedades dos conjuntos *fuzzy* estão baseados em ZADEH (1965), KOSKO (1992), ZIMMERMANN (1996), TANAKA (1997), e ROSS (2004).

2.4.1 Conjuntos *Fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* (nebulosos) é utilizada para representar modelos de raciocínio impreciso, que possuem um papel essencial na habilidade humana de decidir racionalmente, em ambientes de incertezas e imprecisões (ZADEH, 1983).

A principal motivação da teoria dos conjuntos *fuzzy* é o desejo de construir uma estrutura formal quantitativa, capaz de capturar as imprecisões do conhecimento humano, quer dizer, como esse conhecimento é formulado na linguagem natural.

A mente humana trabalha com conceitos subjetivos tais como “pouco”, “muito”, “alto” e “baixo”, que são incorporados em classes de objetos na teoria *fuzzy*, onde a pertinência ou não de um elemento a um conjunto dá-se de forma gradual (ZADEH, 1983).

Na teoria dos conjuntos *fuzzy* existe um grau de pertinência de cada elemento a um determinado conjunto. Não existe uma fronteira bem definida para decidirmos quando um elemento pertence ou não ao respectivo conjunto.

A função característica pode ser generalizada de modo que os valores designados aos elementos do conjunto universo X pertençam ao intervalo de números reais de 0 a 1 inclusive, isto é, $[0,1]$:

$$\mu_A(x) : X \mapsto [0,1]$$

Estes valores indicam o grau de pertinência dos elementos do conjunto X em relação ao conjunto A , isto é, quanto é possível para um elemento x de X pertencer ao conjunto A . Tal função é chamada de **função de pertinência** e o conjunto A é definido como **conjunto *fuzzy***.

Um conjunto *fuzzy* pode ser representado por um conjunto de pares ordenados, em que o primeiro elemento é $x \in X$, e o segundo, $\mu_A(x)$, é o grau de pertinência ou função de pertinência de x em A , que mapeia X para o espaço de pertinência M . Quando M contem apenas os pontos 0 e 1, A é *não fuzzy*. Desta forma, temos:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Outra forma de representar um conjunto *fuzzy* é dispor os pares ordenados de elementos x (valores discretos) e seus graus de pertinência separados por barras (/).

$$A = \mu_A(x_1) / x_1 + \mu_A(x_2) / x_2 + \mu_A(x_3) / x_3 + \dots + \mu_A(x_n) / x_n$$

Quando o universo X é um conjunto finito, podemos representar um conjunto *fuzzy* A em X como:

$$A = \sum \mu_A(x_i) / x_i, \text{ por outro lado, se o universo } X \text{ é um conjunto infinito, } A = \int_x \mu_A(x_i) / x_i .$$

A notação dos conjuntos *fuzzy* faz uso especial de símbolos que aparecem na matemática clássica. Para agregar os termos em expressões discretas, utiliza-se o símbolo \sum , cujo significado é diferente do símbolo normal em matemática. Em uma expressão contínua (quando o universo é infinito), o símbolo \int é usado como generalização de \sum para o mundo contínuo, e não tem nenhuma conexão com a integral. No lado inferior direito do símbolo \int , coloca-se o nome do universo de forma que indique em qual universo o conjunto *fuzzy* está representado.

O **suporte** de um conjunto *fuzzy* A , no conjunto universo X , é o conjunto clássico que contém todos os elementos de X que possuem graus de pertinência diferentes de zero em A . O suporte de um conjunto *fuzzy* A em X , denotado por $\text{supp}(A)$ ou $S(A)$ é:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$

O **supremo** de um conjunto *fuzzy* A , denotado por $\sup_{x \in X} \mu_A(x)$, é o maior grau de pertinência obtido nesse conjunto por um dos elementos, ou seja, sua altura, $h(A)$. O contradomínio de uma função de pertinência é um subconjunto de números reais não negativos, cujo supremo é finito. Desta forma, temos:

$$\sup_{x \in X} \mu_A(x) = h(A) \tag{2.1}$$

Um conjunto *fuzzy* A é chamado **normal** se existe x tal que $\mu_A(x) = 1$, ou seja, quando $\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1$. Se o conjunto *fuzzy* A não é normal, então ele é chamado de **subnormal**, ou seja, $\sup_{x \in X} \mu_A(x) < 1$. A normalização de um conjunto *fuzzy* A , não vazio, é realizada por:

$$\mu_{A \text{ normal}}(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in X} \mu_A(x)} \quad (2.2)$$

É importante trabalhar com conjuntos *fuzzy* normalizados, ou seja, que apresentem altura unitária, para podermos tratar grandezas homogêneas nos procedimentos de inferência nebulosa. Os conjuntos *fuzzy* utilizados nesta tese para construção dos indicadores preditivos foram normalizados.

Dado um conjunto *fuzzy* A , definido em X , a partir do grau de pertinência $\alpha \in [0, 1]$, o **conjunto de corte- α (α -cut)** é o conjunto clássico A_α , contendo todos os elementos de X , que possuem graus de pertinência em A , maiores ou iguais do que o valor de α . Desta forma, temos:

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

O **conjunto de corte α robusto (*strong α -cut*)**, $A_{\alpha+}$, inclui apenas os elementos com graus de pertinência maiores que α . Então, temos:

$$A_{\alpha+} = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\}$$

A **cardinalidade** de um conjunto *crisp* (clássico) é definida como o número de elementos pertencentes ao conjunto. No caso dos conjuntos *fuzzy*, cada elemento tem

um grau de pertinência associado. Desta forma, a **cardinalidade**, $|A|$, dita escalar, de um conjunto *fuzzy* A , definido em X , é o somatório dos graus de pertinência de todos os elementos de X em A . Formalmente, temos:

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x) \quad (2.3)$$

Para um conjunto universo infinito X , a cardinalidade é dada por:

$$|A| = \int \mu_A(x) d(x) \quad (2.4)$$

A cardinalidade é similar à área da curva de pertinência, contudo podemos definir uma cardinalidade relativa ao universo de discurso X . Isto nos proporciona comparar a cardinalidade de conjuntos *fuzzy* independentemente.

A **cardinalidade relativa**, $\|A\|$, de um conjunto *fuzzy* A pode ser interpretada como a fração dos elementos de X , presentes em A , ponderados por seus graus de pertinência.

$$\|A\| = \frac{|A|}{|X|} \quad (2.5)$$

Conforme definido anteriormente, a teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos. Assim, as principais operações entre conjuntos *fuzzy* são definidas como extensão das operações tradicionais, onde A e B denotam conjuntos *fuzzy* sobre um conjunto universo X e $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ representam os graus de pertinência de x nos conjuntos *fuzzy* A e B respectivamente.

Na lógica tradicional, as operações com conjuntos são essencialmente as

operações booleanas possibilitadas pelos conectivos *E*, *OU* e *NÃO*. Na lógica *fuzzy* há operadores para essas operações lógicas, os quais são divididos em duas classes (ou normas): as normas triangulares, chamadas *normas-t* e as normas duais, chamadas *normas-s* ou *conormas-t*.

Os operadores para intersecção (*norma-t*) e a união (*conorma-t*) de conjuntos *fuzzy* são os mais utilizados:

- a) **Intersecção:** $A \cap B = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$, que corresponde a *A E B*;
- b) **União:** $A \cup B = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$, que corresponde a *A OU B*.

Essas operações de intersecção e união, mostradas na Figura 10, são as mais utilizadas no processo de agregação em tomadas de decisão multicriterial (ZIMMERMANN, 1997). A idéia principal do processo de agregação é obter um grau de consenso entre informações disponíveis, calculando-se um valor final. Se estes dados forem extraídos de especialistas, obtém-se uma taxa de aceitação ou rejeição entre eles, isto é, o grau pelo qual especialistas concordam em suas estimativas, tornando possível a elaboração de classificações das avaliações realizadas.

Além das operações de intersecção e união, existe a operação **complemento** (Figura 10): $\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$, que corresponde a *NÃO (A)* ou *A'*.

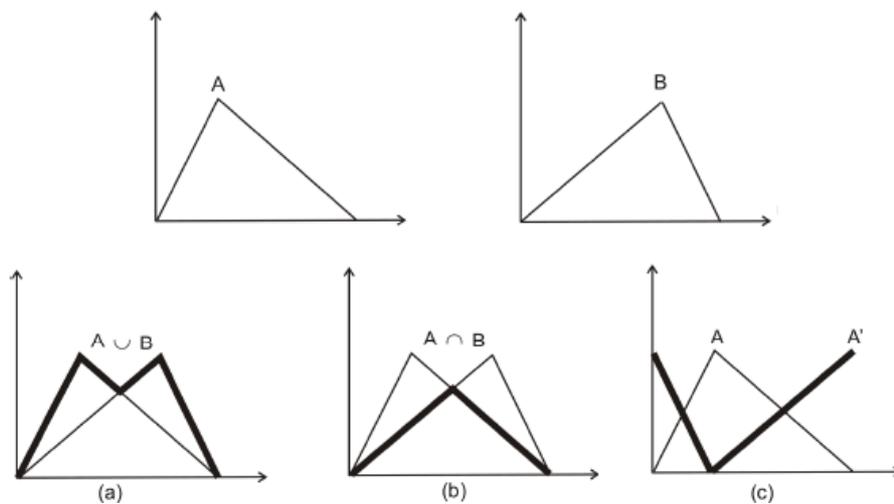


Figura 10: Operações entre conjuntos *fuzzy*: (a) união; (b) intersecção; (c) complemento.

2.4.2 Números *Fuzzy*

Nos processos de avaliações de resultados, os dados dos especialistas são geralmente imprecisos e contêm muitas ambigüidades, principalmente em virtude de como são capturados. Muitas informações vagas podem ser modeladas por números *fuzzy* (\tilde{N}) (HSU e CHEN, 1996).

Um número *fuzzy* B é um subconjunto especial de números reais (R) (JAIN, 1976; DUBOIS e PRADE, 1978 *apud* LIANG e WANG, 1991). Sua função de pertinência μ_B é um mapeamento contínuo de R intervalo fechado $[0, 1]$, que tem as seguintes características:

- 1) $\mu_B(x) = 0$, para todo $x \in (-\infty, \alpha] \cup [\delta, +\infty)$;
- 2) $\mu_B(x)$ é estritamente crescente em $[\alpha, \beta]$ e estritamente decrescente em $[\gamma, \delta]$;
- 3) $\mu_B(x) = 1$, para todo $x \in [\beta, \gamma]$.

Ocasionalmente, pode ocorrer que $\alpha = -\infty$ ou $\alpha = \beta$ ou $\beta = \gamma$ ou $\gamma = \delta$ ou $\delta = +\infty$. Segmentos de reta para $\mu_B(x)$ são adotados nos intervalos $[\alpha, \beta]$ e $[\gamma, \delta]$. Este tipo de número *fuzzy* é chamado de **trapezoidal**. Entretanto, se fizermos $\beta = \gamma$, em vez de uma representação trapezoidal, obtemos uma representação triangular, de forma que o número *fuzzy* passa a chamar-se **triangular**. Números *fuzzy* triangulares têm função de pertinência linear contínua.

Um número *fuzzy* trapezoidal A em R possui a seguinte função de pertinência:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & , \text{se } a \leq x \leq b \\ 1 & , \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , \text{se } c \leq x \leq d \\ 0 & , \text{caso contrário} \end{cases}$$

Um número *fuzzy* triangular A em R possui a seguinte função de pertinência:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & , \text{se } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , \text{se } b \leq x \leq c \\ 0 & , \text{caso contrário} \end{cases}$$

A representação gráfica dos números *fuzzy* trapezoidal e triangular é mostrada na Figura 11.

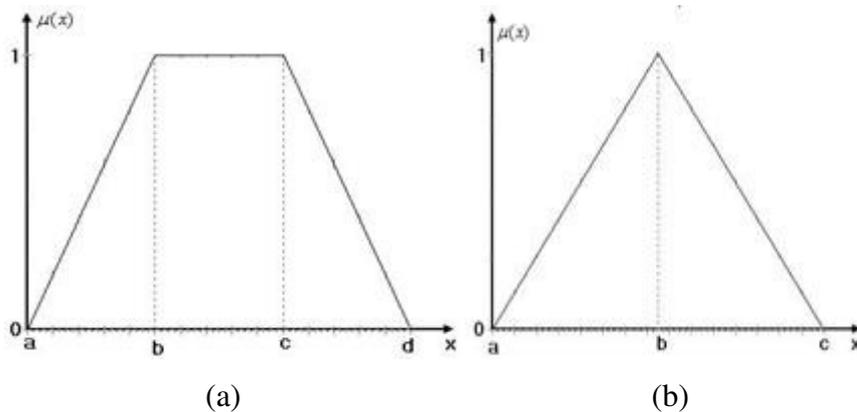


Figura 11: Representação gráfica dos números *fuzzy*: (a) trapezoidal; (b) triangular.

Números *fuzzy* triangulares, conforme expressos pela função de pertinência anterior, podem ser denotados por (a, b, c) . Com esta notação e pelo princípio de extensão proposto por ZADEH (1965), as operações algébricas estendidas podem ser realizadas conforme mostrado a seguir:

1. Simetria

$$-(a, b, c) = (-c, -b, -a)$$

2. Adição \oplus

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$$

3. Subtração (= Adição do simétrico)

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus - (a_2, b_2, c_2) = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$$

4. Multiplicação \otimes

$$k \otimes (a, b, c) = (ka, kb, kc)$$

$$(a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2), \text{ com } a_1 \geq 0 \text{ e } a_2 \geq 0$$

5. Divisão \oslash

$$(a_1, b_1, c_1) \oslash (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2), \text{ com } a_1 \geq 0 \text{ e } a_2 > 0$$

Com base nestas definições, os números *fuzzy* triangulares são fáceis de manipular e interpretar. Por exemplo, “aproximadamente igual a 5” pode ser representado por (4, 5, 6) e “5 exato” pode ser representado por (5, 5, 5). Suas agregações algébricas, conforme o princípio de extensão para as operações algébricas, mostrado anteriormente, são também fáceis de manipular e processar computacionalmente.

2.4.3 Variáveis Linguísticas

O conceito de variável linguística é muito útil para abordar problemas complexos, cujos atributos sejam difíceis de descrever por expressões quantitativas convencionais (ZADEH, 1973). Uma variável linguística, em princípio, é uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial. De um modo geral, a tendência destas palavras ou sentenças é serem expressas em valores absolutos.

Por exemplo, a altura de uma determinada pessoa pode ser uma variável linguística assumindo termos lingüísticos, tais como “baixa”, “média” e “alta”. Esses

termos linguísticos podem ser descritos por meio de conjuntos *fuzzy*, representados por funções de pertinência conforme mostrado na Figura 12.

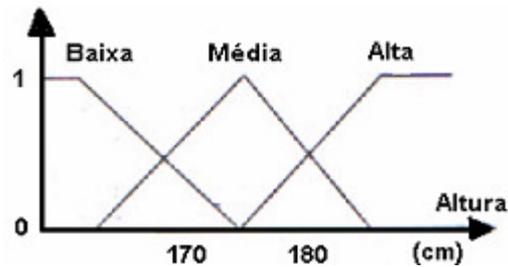


Figura 12: Funções de pertinência dos termos linguísticos para a variável “altura”.

Variáveis linguísticas podem ser expressas em uma linguagem específica, construída a partir de termos linguísticos (baixo, médio, alto), de conectivos lógicos (e, ou, não — negação) e de modificadores (muito, pouco, levemente).

A principal função da variável linguística é fornecer uma maneira sistemática para caracterização aproximada de fenômenos complexos, mal definidos. A utilização da descrição linguística por seres humanos e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são complexos para serem analisados pelos termos matemáticos convencionais.

2.4.4 Raciocínio *Fuzzy*

Os sistemas de inferência *fuzzy* trabalham com informações imprecisas e vagas. Contudo, quando se trabalha com dados de entrada de sistemas computacionais, estes dados, geralmente, são valores numéricos informados ao sistema. Como os sistemas *fuzzy* trabalham com termos linguísticos, existe a necessidade de transformar esses dados em conjuntos *fuzzy*. Deste modo, é executado um mapeamento dos dados de entrada em números *fuzzy*. Isto é o processo de *fuzzificação*.

Após a *fuzzificação* das variáveis de entrada, as regras *fuzzy* (*SE <antecedente-expressão fuzzy> ENTÃO <consequente-expressão fuzzy>*) são avaliadas e calculam-se os graus de pertinência de cada proposição. A cada proposição é aplicada uma função para produzir um número de 0 a 1 que representa o grau em que a regra é satisfeita. As funções mais utilizadas para a avaliação das premissas são a função de máximo para o operador *OU* e a função de mínimo para o operador *E*.

Quando o sistema de inferência *fuzzy* trata as variáveis de entrada e verifica as regras aplicáveis, geralmente, encontra-se mais de uma regra aplicável. Porém, é necessário gerar uma única resposta para cada variável de saída. A agregação de consequências é feita utilizando a função de máximo que corresponde à união dos conjuntos *fuzzy*.

Na *defuzzificação*, o valor da variável lingüística de saída pelas regras *fuzzy* será transformado em um valor discreto (*crisp*). O objetivo é obter um número que melhor represente os valores *fuzzy* da variável de saída.

A Figura 13 apresenta de forma esquemática as etapas do raciocínio *fuzzy*.

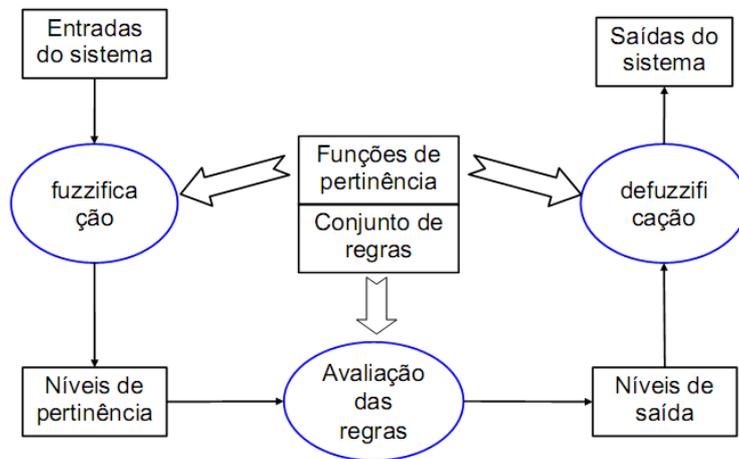


Figura 13: Etapas do raciocínio *fuzzy*.

Para selecionar o método apropriado de *defuzzificação*, pode-se utilizar um enfoque baseado no centróide ou nos valores máximos que ocorrem da função de pertinência resultante. Os métodos de *defuzzificação* são:

- **Valor Máximo:** esse método produz como ação de inferência o valor numérico da saída, exposto na abscissa da função de pertinência, que corresponde ao maior grau de pertinência da variável lingüística;
- **Média dos Máximos:** esse método produz um valor numérico de saída que corresponde à média aritmética dos máximos, expostos na abscissa da função de pertinência, da variável lingüística de saída produzida pela inferência *fuzzy*;
- **Centro dos Máximos:** esse método produz um valor de saída correspondente à média ponderada entre os valores máximos, expostos na abscissa da função de pertinência, da variável lingüística de saída produzida pela inferência *fuzzy* com os pesos, representados pelos respectivos valores de pertinência;
- **Centro de Área, Gravidade ou Centróide:** o valor numérico de saída corresponde ao valor da abscissa que divide pela metade a área da função de pertinência gerada pela combinação das partes *consequente* das regras. Este método é o mais usado e pode ser expresso pela Equação 2.6 (YAGER e FILEV, 1993; OLIVEIRA JR., 1999):

$$saída = \frac{\sum x(i).A(i)}{\sum A(i)}, \text{ para o conjunto clássico } A = \{A(i) \mid x(i)\} \quad (2.6)$$

2.4.5 Métodos *Fuzzy* de Decisão

Um método ou modelo *fuzzy* adequado de decisão deve incluir processos de identificação, medição e combinação de critérios e alternativas, promovendo a modelagem conceitual da decisão e a avaliação em ambientes nebulosos.

Tem sido evidenciado que a qualidade ou a relevância de um método *fuzzy* pode ser identificada por meio das três etapas (PEDRYCZ, 1990):

- 1) Aquisição e determinação de dados requeridos pelo método.
- 2) Estimação de parâmetros.
- 3) Validação do método *fuzzy*.

Entretanto, apesar da qualidade do método escolhido ser atestada, existem outros fatores que podem levar a inconsistências nos resultados:

- 1) A ausência de informações ou de experiências sobre o objeto avaliado.
- 2) O desinteresse ou a falta de concentração dos especialistas e avaliadores, no processo de julgamento.

Alguns trabalhos pesquisados (MARTINO, 1983; GRECCO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2009) relatam a importância da seleção e da opinião de especialistas, visto que a confiabilidade e a qualidade dos resultados são reflexos da qualidade dos especialistas. Segundo AYYUB e KLIR (2006), o especialista é uma pessoa que possui experiência única sobre determinado item de um processo ou questão de interesse.

Vários métodos *fuzzy* de decisão utilizando a opinião de especialistas são encontrados na literatura (COSENZA, 1981; LEE, 1996; HSU e CHEN, 1996; YAGER, 2000; LIANG e WANG, 2001; MARTINS, 2008). Esses métodos de decisão utilizam a teoria dos conjuntos *fuzzy* para encontrar a melhor alternativa de acordo com critérios estabelecidos, a partir de certa quantidade de informações, com o propósito de atingir um objetivo estabelecido.

HSU e CHEN (1996) propuseram um método utilizando agregação de opiniões nebulosas individuais dentro de um consenso de grupo e apresentaram um procedimento para agregação de opiniões de especialistas, utilizando o conceito de número *fuzzy*.

Nesta agregação de similaridades, as opiniões dos especialistas são representadas por números *fuzzy* trapezoidais, assumindo que estes têm uma interseção comum, em um conjunto de corte de nível- α , onde $\alpha \in (0, 1]$. Esta é uma condição imposta por esse

método, para que a agregação dos resultados das opiniões dos especialistas seja aceitável.

Caso não haja interseção entre as estimativas iniciais do *k-ésimo* e do *l-ésimo* especialista pode-se usar, então, o Método Delphi. O Método Delphi é útil na obtenção de informações suficientes para ajustar os dados fornecidos por cada especialista, para que haja essa interseção (SAATY, 1980; TUROFF e LINSTONE, 2002).

Posteriormente, é introduzida uma função de medida de similaridade, para medir o grau de concordância entre as opiniões dos especialistas, e estas informações são postas em uma matriz de concordância. Finalmente, as opiniões dos especialistas são combinadas, podendo-se levar em consideração, também, a importância de cada especialista participante do processo de avaliação.

Este trabalho de tese utilizou o método de HSU e CHEN (1996) por se adequar ao método proposto para estabelecimento de um padrão de resiliência organizacional, devido aos procedimentos de agregação, similaridade e concordância das opiniões dos especialistas. Além disso, apesar de ainda não ter sido utilizado na área de segurança e resiliência organizacional, o método de HSU e CHEN (1996) já foi utilizado de forma satisfatória e eficiente em várias áreas do conhecimento, dentre as quais podemos destacar:

- 1) Um modelo *fuzzy* para avaliação da qualidade de software proposto por BELCHIOR (1997).
- 2) Uma metodologia de posicionamento dos elementos do canteiro de obras utilizando a teoria de sistema nebuloso proposta por WAKAMATSU e CHENG (2001).
- 3) Um método de avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultrassom proposto por MORÉ (2004).

CAPÍTULO 3: O MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do método de avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas, objetivo específico deste trabalho. Como materiais para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados e informações obtidas por meio de pesquisas bibliográficas. As pesquisas bibliográficas, apresentadas no Capítulo 2, foram conduzidas durante todo o período do trabalho de tese e serviram de base para definição da estrutura do método de avaliação.

O método de avaliação foi desenvolvido em três etapas:

1. Elaboração de uma estrutura de indicadores preditivos e suas métricas (avaliações), baseadas nos princípios da engenharia de resiliência (Seção 3.1).
2. Determinação de um padrão de resiliência organizacional, ou seja, uma base de referência para a avaliação de um domínio organizacional (Seção 3.2).
3. Avaliação da resiliência organizacional, tomando como referência o padrão definido (Seção 3.3).

3.1 A Estrutura de Indicadores Preditivos

A estrutura de indicadores preditivos para a avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas está baseada nos princípios da engenharia de resiliência (comprometimento da alta direção, aprendizagem, flexibilidade, consciência, cultura de justiça e preparação para os problemas) e fundamentada na revisão da literatura que engloba os estudos da área nuclear (EPRI, 1999, 2001; IAEA, 2000, 2001; REIMAN e PIETIKÄINEN, 2010). Esses estudos apresentam um conjunto de fatores e as principais fraquezas latentes que podem emergir dessas organizações. O Anexo 1 apresenta um conjunto de indicadores identificados nos estudos na área nuclear.

É importante salientar que a elaboração de uma estrutura de indicadores preditivos leva em consideração o que se deve ser monitorado para se obter informações da dinâmica das atividades operacionais e dos aspectos que influenciam a execução e também, a capacidade de adaptação das atividades, para que os trabalhadores possam lidar com o aumento da demanda sem sacrificar a segurança do sistema.

Cada princípio da engenharia de resiliência deve ser constituído de um conjunto de indicadores, de modo a verificar o *status* das propriedades relevantes de organizações resilientes. Desta forma, espera-se que a organização seja capaz de avaliar e gerenciar de maneira resiliente a segurança.

Uma estrutura genérica de indicadores preditivos (Tabela 1) e a avaliação de cada indicador (Tabela 2), que será feita por meio de métricas subjetivas, foram desenvolvidas para servirem de referência para a avaliação da resiliência de domínios organizacionais que lidam com tecnologias de alto risco.

No desenvolvimento dos indicadores preditivos e das avaliações, não foram considerados os fatores específicos das organizações. Desta forma, eles devem ser adaptados ou modificados de acordo com as especificidades do domínio organizacional avaliado, ou seja, a seleção dos indicadores e suas avaliações devem ser baseadas na compreensão do sistema sociotécnico.

Tabela 1 - Estrutura proposta de indicadores preditivos.

Princípios	Indicadores
Comprometimento da Alta Direção	1.1 Recursos Humanos 1.2 Recursos Materiais 1.3 Compromisso com a Segurança 1.4 Política de Segurança 1.5 Objetivos de Segurança 1.6 Treinamentos 1.7 Identificação de Competências
Aprendizagem	2.1 Comunicação 2.2 Conteúdo das Informações 2.3 Execução das Tarefas 2.4 Práticas Reais de Trabalho 2.5 Adaptações Locais 2.6 Conteúdo das Documentações 2.7 Disponibilidade das Documentações 2.8 Investigações de Incidentes 2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes
Flexibilidade	3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas 3.2 Flexibilidade das Atividades 3.3 Reconhecimento Profissional 3.4 Limites do Trabalho Seguro 3.5 Relatos das Adaptações 3.6 Incorporação de Adaptações
Consciência	4.1 Relatos de Problemas 4.2 Informações de Segurança 4.3 Mecanismos de Comunicação 4.4 Disponibilidade para Substituições 4.5 Carga de Trabalho 4.6 Trabalho em Equipe 4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas 4.8 Compreensão das Limitações 4.9 Manutenção Preventiva 4.10 Identificação de Perigos
Cultura de Justiça	5.1 Relatos de Desvios/Erros 5.2 Entendimento dos Erros 5.3 Percepção dos Erros 5.4 Ações não Punitivas 5.5 Opinião da Equipe nas Investigações
Preparação para os problemas	6.1 Plano de Resposta à Emergência 6.2 Identificação de Riscos 6.3 Equipamentos de Segurança 6.4 Sistemas de Alarmes 6.5 Procedimentos Proativos 6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência

Tabela 2 - Avaliação dos indicadores preditivos.

Princípios	Avaliação
Comprometimento da Alta Direção	<p>1.1 A quantidade de trabalhadores é suficiente para garantir a execução segura das tarefas, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades.</p> <p>1.2 A qualidade, a disponibilidade e a atualização dos recursos materiais (equipamentos, ferramentas, produtos) garantem a execução segura das atividades e assegura que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades.</p> <p>1.3 As chefias mostram compromisso com as atividades de segurança, com os investimentos em segurança e nas decisões críticas a segurança é um critério utilizado pelas chefias.</p> <p>1.4 A política de segurança da organização está definida, revisada e atualizada.</p> <p>1.5 Os trabalhadores participam da definição dos procedimentos e objetivos de segurança e existe um acompanhamento regular desses objetivos e um reconhecimento por parte da chefia que estes objetivos podem estar em conflito com outros objetivos.</p> <p>1.6 Os treinamentos são oferecidos frequentemente, são incentivados pelas chefias e seus conteúdos e qualidade são adequados às atividades dos trabalhadores.</p> <p>1.7 Existe um procedimento adequado de identificação de competências e seleção de pessoas para trabalhar no local.</p>
Aprendizagem	<p>2.1 Os mecanismos de comunicação são disponíveis, acessíveis e eficientes para divulgação de informações sobre incidentes e informações relevantes ao trabalho.</p> <p>2.2 As informações trocadas durante os processos de comunicação são suficientes.</p> <p>2.3 As pessoas realizam as tarefas conforme prescritas.</p> <p>2.4 As tarefas são realizadas de maneiras mais rápidas e eficientes e essas maneiras não burlas são de conhecimento do grupo e da chefia.</p> <p>2.5 Existem adaptações das tarefas às condições locais e estas adaptações são efetuadas conhecendo seus efeitos sobre a segurança.</p> <p>2.6 Os procedimentos, instruções ou documentações são suficientes, atualizados e de fácil compreensão.</p> <p>2.7 Os procedimentos, instruções ou documentações estão disponíveis para as pessoas quando necessários.</p> <p>2.8 As investigações de incidentes levam em consideração os fatores técnicos, humanos e organizacionais e as conclusões contemplam causas como pressões pela produção, diferenças entre trabalho prescrito e real e identificações de migrações graduais de desempenho.</p> <p>2.9 As investigações de incidentes são realizadas por equipes multidisciplinares.</p>
Flexibilidade	<p>3.1 As pessoas são treinadas para controlar situações novas ou imprevistas na ausência de procedimentos ou instruções e têm permissões para tomar decisões.</p> <p>3.2 As pessoas são incentivadas a pensar e a refletir ao seguirem um procedimento e têm liberdade para realizar o trabalho da forma como consideram melhor.</p> <p>3.3 As experiências operacionais e as habilidades das pessoas são reconhecidas e utilizadas pelo setor/organização.</p> <p>3.4 Os procedimentos informam os limites do trabalho seguro e como detectar erros e recuperar o controle.</p> <p>3.5 As adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas) pelas pessoas.</p> <p>3.6 As adaptações bem sucedidas são incorporadas aos procedimentos.</p>

A tabela 2 continua na próxima página.

Consciência	<p>4.1 As pessoas são incentivadas e relatam problemas enfrentados durante a execução das atividades.</p> <p>4.2 As pessoas são informadas sobre orientações de segurança e assuntos que interferem na execução de suas atividades.</p> <p>4.3 Os mecanismos de comunicação são amigáveis e estão sempre disponíveis.</p> <p>4.4 As pessoas assumem o papel das outras quando estas não estão disponíveis.</p> <p>4.5 O conteúdo e o volume de trabalho não mudam com frequência e não colocam em risco a saúde das pessoas.</p> <p>4.6 Existe um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.</p> <p>4.7 As exigências das tarefas estão alinhadas com as habilidades das pessoas.</p> <p>4.8 As pessoas têm percepção e consciência das condições técnicas e físicas das instalações, equipamentos e sistemas, das limitações dos procedimentos e documentações, assim como das suas capacidades e limitações.</p> <p>4.9 Existe um programa de manutenção preventiva das instalações e equipamentos.</p> <p>4.10 Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos (avaliação de riscos) e melhorar a segurança; e os resultados são utilizados para o desenvolvimento de políticas, procedimentos e práticas (ações corretivas).</p>
Cultura de Justiça	<p>5.1 As chefias incentivam o relato de desvios, preocupações e erros pessoais.</p> <p>5.2 As chefias entendem que os erros cometidos pelas pessoas são normais.</p> <p>5.3 As chefias e as pessoas conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis.</p> <p>5.4 As pessoas não sofrem penalizações, punições ou represálias quando cometem erros.</p> <p>5.5 Nas investigações disciplinares ou de incidentes, as chefias levam em consideração a opinião da equipe de trabalho.</p>
Preparação para os problemas	<p>6.1 Existe um plano local atualizado de resposta à emergência.</p> <p>6.2 As tarefas e situações rotineiras que podem afetar a segurança estão identificadas.</p> <p>6.3 Os equipamentos de segurança são guardados em locais adequados e rotineiramente testados.</p> <p>6.4 Existe um sistema de alarmes na área interna e externa do setor/instalação.</p> <p>6.5 Existem procedimentos para identificação de mecanismos de degradação da instalação, assim como para monitorar as condições de segurança de componentes críticos.</p> <p>6.6 As pessoas são treinadas para respostas às emergências.</p>

3.2 Determinação do Padrão de Resiliência Organizacional

Nesta etapa do método, utilizou-se uma versão adaptada do método de avaliação da qualidade utilizado por BELCHIOR (1997) e MORÉ (2004). Nesta parte, procura-se obter de especialistas do domínio organizacional o grau de importância de cada indicador de cada princípio, de forma que o domínio seja considerado seguro e resiliente. Isto significa dizer que o grau de importância atribuído a cada indicador pelo especialista, deve retratar como o domínio organizacional deveria ser. Desta forma,

neste caso, não está se avaliando o local, mas o padrão ideal de resiliência que este deveria apresentar.

A determinação do padrão de resiliência organizacional é dividida em sete etapas que são representadas na Figura 14 e descritas a seguir.

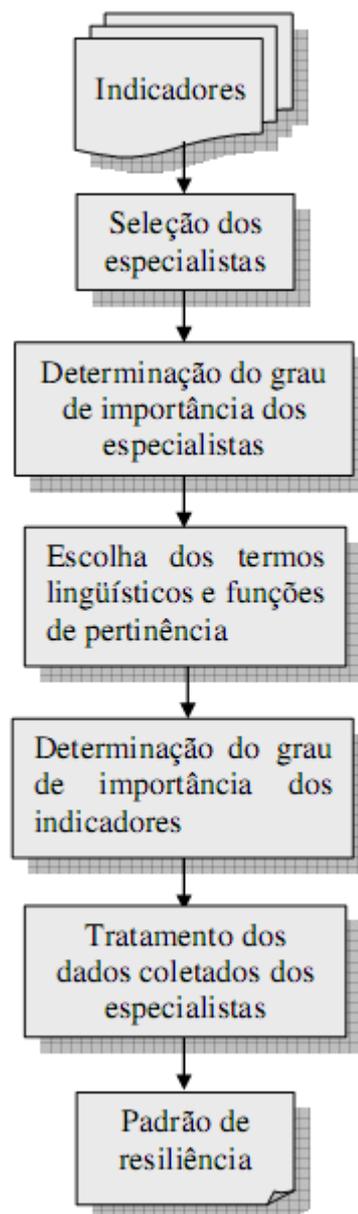


Figura 14: Etapas da segunda parte do método.

- **ETAPA 1: Definição dos indicadores.**

Esta etapa já foi apresentada na Seção 3.1. Esses indicadores serão as variáveis linguísticas do método.

- **ETAPA 2: Seleção dos especialistas.**

A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite representar o conhecimento elicitado por meio de funções de pertinências. Um modelo *fuzzy* construído com a ajuda de especialistas aumenta sua precisão à medida que aumenta a quantidade de especialistas reconhecidos pelos seus conhecimentos, experiência e trabalhos na área de interesse (ISHIKAWA *et al.*, 1993).

Desta forma, a seleção dos especialistas é um fator crítico, pois a confiabilidade e qualidade dos resultados dependem da qualidade dos especialistas. Entretanto, de uma maneira geral, todas as pessoas com conhecimento e experiência reconhecidos que estão ou já estiveram envolvidas, direta ou indiretamente, na área de interesse são candidatas ao processo de avaliação dos indicadores.

- **ETAPA 3: Determinação do grau de importância dos especialistas.**

Como geralmente um grupo de especialista é heterogêneo, as opiniões não podem ser consideradas com a mesma intensidade, ou seja, com o mesmo grau de importância. Desse modo, cada opinião terá uma importância dada pelo grau de importância do especialista.

A determinação do grau de importância do especialista é feito por meio de um instrumento de coleta de dados. Este instrumento utilizado para coleta de dados é um questionário (Q) que foi utilizado por BELCHIOR (1997) e MORÉ (2004) para identificação do perfil do especialista. Cada questionário contém informações de um único especialista. Os respectivos graus de importância são definidos como um subconjunto $\mu_i(k) \in [0,1]$.

O grau de importância de cada especialista, GIE_i , que é seu grau de importância relativo em comparação aos outros especialistas, é definido por:

$$GIE_i = \frac{tQ_i}{\sum_{i=1}^n tQ_i} \quad (3.1)$$

Onde:

tQ_i = total de pontos do questionário para o especialista i .

• **ETAPA 4: Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência para avaliação dos indicadores preditivos.**

Na ótica da teoria *fuzzy*, cada indicador preditivo pode ser visto como uma variável linguística, relacionada a um conjunto de termos linguísticos associados a funções de pertinência, em um conjunto referencial estabelecido previamente. Cada indicador será uma composição de termos linguísticos, obtidos em um processo de avaliação, feito por meio do julgamento de especialistas. Assim sendo, também serão números *fuzzy*.

Os termos linguísticos foram definidos como:

- **Muito importante (MI):** para os indicadores que são considerados muito importantes (têm grande influência) para resiliência organizacional;
- **Importante (I):** para os indicadores que são considerados importantes (têm influência) para resiliência organizacional;
- **Pouco importante (PI):** para os indicadores que são considerados pouco importantes (têm pouca influência) para resiliência organizacional;
- **Não é importante (NI):** para os indicadores que não são considerados importantes (não têm influência) para resiliência organizacional.

Os termos linguísticos definidos nesta etapa têm sido largamente utilizados em muitos trabalhos de pesquisa, especialmente em medidas do comportamento organizacional (ROBBINS, 2002; SIQUEIRA, 2008). Esses termos linguísticos serão

representados por números *fuzzy* triangulares, que denotarão o grau de importância de cada indicador considerado. Segundo PEDRYCZ (1994), os números *fuzzy* triangulares tratam muito bem informações com alto grau de incerteza e de indefinição, como são as variáveis linguísticas que traduzem as opiniões de especialistas.

A Figura 15 apresenta as variáveis linguísticas, os termos linguísticos e os gráficos das suas funções de pertinência e a Tabela 3 os números *fuzzy* triangulares para os termos linguísticos.

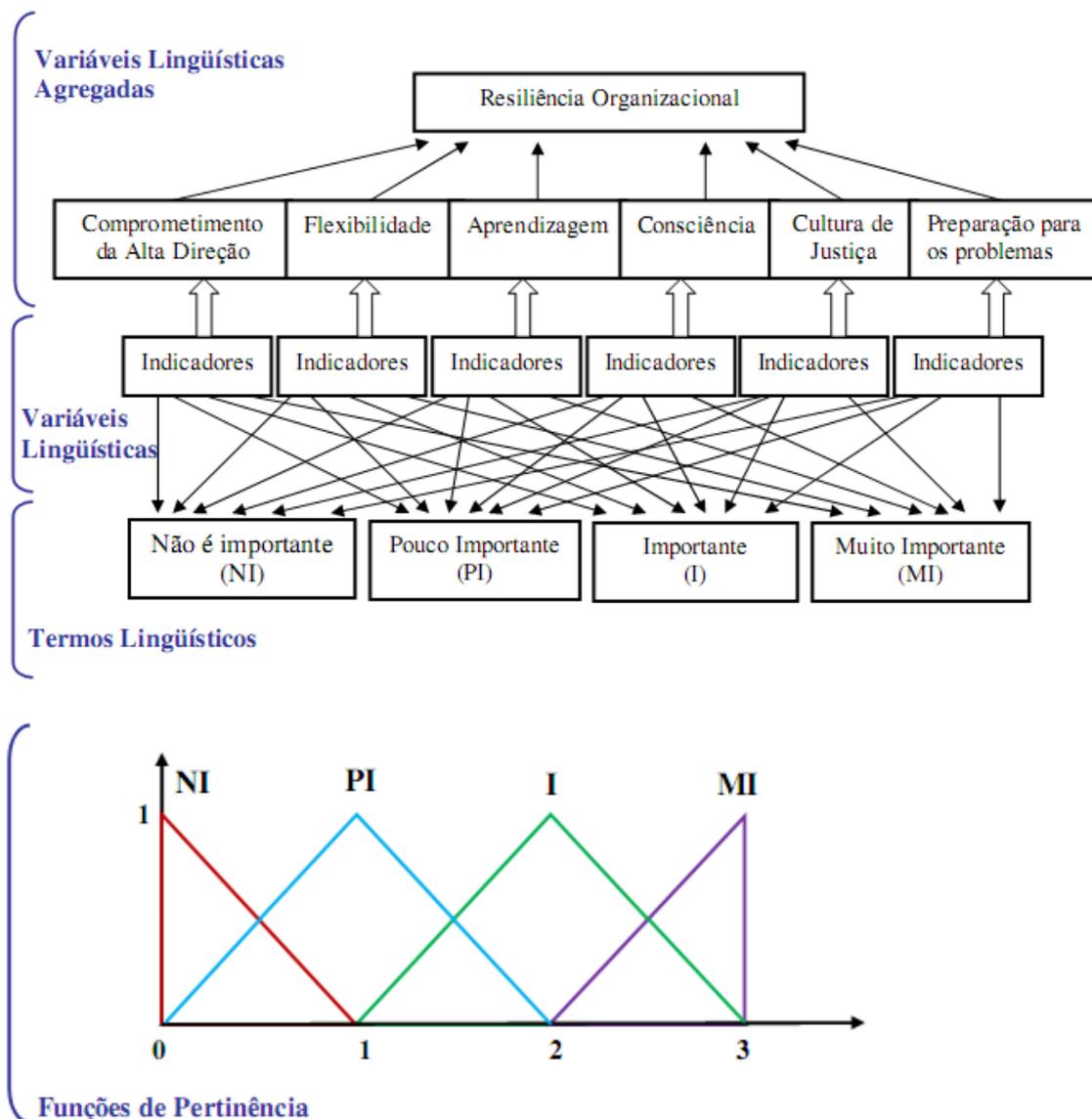


Figura 15: As variáveis linguísticas, os termos linguísticos e os gráficos das funções de pertinência.

Tabela 3 - Números *fuzzy* para os termos linguísticos.

Grau de importância	Simbologia	Termo linguístico	Número <i>fuzzy</i> triangular
0,0	NI	Não é Importante	$N_1 = (0,0; 0,0; 1,0)$
1,0	PI	Pouco Importante	$N_2 = (0,0; 1,0; 2,0)$
2,0	I	Importante	$N_3 = (1,0; 2,0; 3,0)$
3,0	MI	Muito Importante	$N_4 = (2,0; 3,0; 3,0)$

O conjunto dos termos linguísticos da Tabela 3 possui as seguintes funções de pertinência propostas por LEE (1996):

$$N_1 = (0,0; 0,0; 1,0) \quad \mu_{N_1}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \leq n \end{cases}$$

$$N_2 = (k-2; k-1; k) \quad \mu_{N_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq k-2 \\ x-(k-2), & k-2 \leq x \leq k-1 \\ k-x, & k-1 \leq x \leq k \\ 0, & k \leq x \leq n \end{cases} \quad \text{para } k = 2, \dots, (n-1)$$

$$N_n = (n-2; n-1; n-1) \quad \mu_{N_n}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq n-2 \\ x-(n-2), & n-2 \leq x \leq n-1 \end{cases}$$

- **ETAPA 5: Determinação do grau de importância de cada indicador preditivo.**

Esta etapa tem por objetivo obter dos especialistas os graus de importância de cada um dos indicadores de cada princípio da engenharia de resiliência, por meio do uso do conjunto de termos linguísticos, caracterizados pelos números *fuzzy* triangulares mostrados na Tabela 3.

É importante que cada especialista entenda que o seu julgamento será utilizado em um trabalho de pesquisa e não como uma avaliação de conhecimentos, para que possam fazer seus julgamentos convenientemente.

- **ETAPA 6: Tratamento dos dados coletados dos especialistas na avaliação de cada indicador preditivo.**

Nesta etapa, utilizando o método de agregação de similaridades proposto por HSU e CHEN (1996), é feita a combinação dos julgamentos individuais dos especialistas. Esta etapa envolve:

- 1) o cálculo do grau de concordância entre opiniões;
- 2) a construção da matriz de concordância;
- 3) o cálculo da concordância relativa;
- 4) o cálculo do grau de concordância relativa;
- 5) o cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas;
- 6) a determinação do valor *fuzzy* de cada indicador referentes aos princípios da engenharia de resiliência.

- **ETAPA 6.1: Cálculo do grau de concordância entre opiniões.**

O cálculo do grau de concordância (GC) é feito combinando-se os julgamentos dos especialistas E_i e E_j , por meio da razão entre a área de interseção (AI) e a área de união (AU), de suas funções de pertinência.

$$GC_{ij} = \frac{AI}{AU} = \frac{\int_x (\min\{\mu_{N_i}(x), \mu_{N_j}(x)\})dx}{\int_x (\max\{\mu_{N_i}(x), \mu_{N_j}(x)\})dx} \quad (3.2)$$

As Tabelas 4 e 5 mostram, respectivamente, os valores das áreas de interseção e de união das opiniões *fuzzy*.

As Figuras 16 e 17 mostram, respectivamente, a representação da área de interseção e de união de duas opiniões *fuzzy* (I e MI).

Tabela 4 - Valores das áreas de interseção das opiniões *fuzzy*.

Opinião	NI	PI	I	MI
NI	0,5	0,25	0	0
PI	0,25	1	0,25	0
I	0	0,25	1	0,25
MI	0	0	0,25	0,5

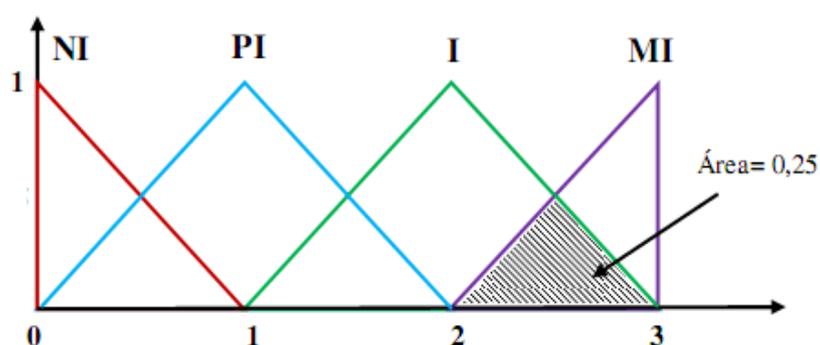


Figura 16: Representação da área de interseção de duas opiniões *fuzzy* (I e MI).

Tabela 5 - Valores das áreas de união das opiniões *fuzzy*.

Opinião	NI	PI	I	MI
NI	0,5	1,25	1,5	1
PI	1,25	1	1,75	1,5
I	1,5	1,75	1	1,25
MI	1	1,5	1,25	0,5

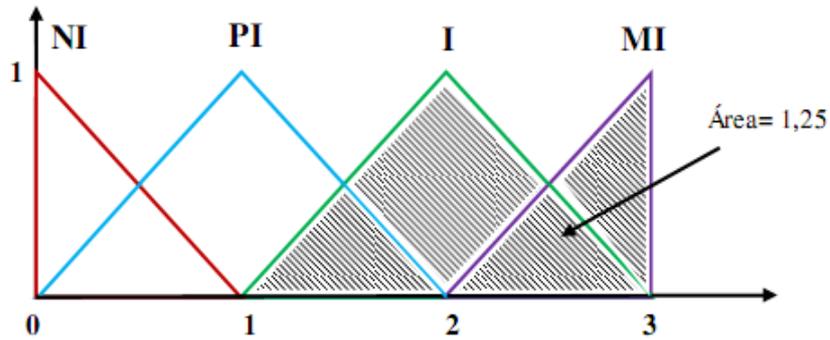


Figura 17: Representação da área de união de duas opiniões fuzzy (I e MI).

• **ETAPA 6.2: Construção da matriz de concordância.**

A matriz de concordância (MC) é construída com todos os graus de concordância entre cada par de especialistas E_i e E_j . Se $i = j$, $GC_{ij} = 1$.

$$MC = \begin{bmatrix} 1 & GC_{12} & \cdots & GC_{1j} & \cdots & GC_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ GC_{i1} & GC_{i2} & \cdots & GC_{ij} & \cdots & GC_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ GC_{n1} & GC_{n2} & \cdots & GC_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Se existir um $GC_{ij} = 0$, quer dizer que não houve interseção entre a opinião do i -ésimo e o j -ésimo especialista. Desta forma, de acordo com a conveniência de avaliação, podem-se obter mais informações desses especialistas a fim de ajustar suas opiniões e chegar a uma interseção entre elas.

Se os valores $GC_{ij} = 0$ forem considerados na matriz, estes valores terão grau de importância zero no resultado final do processo de agregação, ou seja, os graus de concordância nulos de um dado especialista reduzirão o grau de importância desse especialista no julgamento final do indicador avaliado. Contudo, se houver uma grande quantidade de graus de concordância nulos, isto é, baixo consenso entre os especialistas, isto pode significar que estes não entenderam convenientemente o instrumento de

avaliação. Neste caso, é necessário obter-se mais informações dos especialistas para se chegar ao consenso entre eles.

- **ETAPA 6.3: Cálculo da concordância relativa.**

O cálculo da concordância relativa de cada especialista (CR_i) é obtido pela média quadrática do grau de concordância entre eles, utilizando os dados da matriz de concordância (MC):

$$CR_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (GC_{ij})^2} \quad (3.3)$$

- **ETAPA 6.4: Cálculo do grau de concordância relativa.**

O cálculo do grau de concordância relativa de um especialista (GCR_k), em relação aos outros especialistas, é obtido pela média ponderada da concordância relativa de cada especialista (CR_i):

$$GCR_k = \frac{CR_k}{\sum_{i=1}^n CR_i} \quad (3.4)$$

- **ETAPA 6.5: Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas.**

O cálculo do coeficiente de consenso de cada especialista (CCE_k) é obtido utilizando os valores do grau de concordância relativa (GCR_k) e do grau de importância do especialista (GIE_k):

$$CCE_k = \frac{GCR_k \cdot GIE_k}{\sum_{i=1}^n (GCR_i \cdot GIE_i)} \quad (3.5)$$

- **ETAPA 6.6: Determinação do valor *fuzzy* de cada indicador preditivo.**

O resultado da avaliação dos indicadores preditivos determinará o valor *fuzzy* de cada indicador relativo aos princípios da engenharia de resiliência que será dado por N , que também é um número *fuzzy* triangular:

$$N = \sum_{i=1}^n (CCE_i \cdot n_i) \quad (3.6)$$

Onde n_i é o número *fuzzy* triangular relativo aos termos lingüísticos (NI, PI, I, MI) utilizados pelos especialistas na avaliação dos indicadores.

- **ETAPA 7: Estabelecimento do padrão de resiliência organizacional.**

Para estabelecer o padrão de resiliência organizacional, ou seja, uma base de referência para a avaliação da resiliência de um domínio organizacional é calculado o grau de importância de cada indicador que compõe cada princípio da engenharia de resiliência.

O grau de importância de cada indicador (GII_i) de cada princípio da engenharia de resiliência é obtido pela normalização dos valores *crisp* desses indicadores (Equação 3.7). Para tanto, determina-se o valor de b_i de seu número *fuzzy* triangular, $N(a_i, b_i, c_i)$, correspondente. Este valor de b_i corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1. Este é o valor *crisp* do indicador.

$$GII_i = \frac{b_i}{\text{maior valor de } b} \quad (3.7)$$

A Tabela 6 mostra um exemplo de estabelecimento de padrão para o princípio “comprometimento da alta direção”. Este exemplo considera que o número *fuzzy*, calculado na etapa anterior para o indicador “Recursos humanos” possui o maior valor de *b*.

Tabela 6 - Exemplo de um estabelecimento de padrão para o princípio “comprometimento da alta direção”.

Comprometimento da Alta Direção	Número fuzzy			b_i	GII
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
1.1 Recursos Humanos	a_1	b_1	c_1	b_1	1
1.2 Recursos Materiais	a_2	b_2	c_2	b_2	b_2/b_1
1.3 Compromisso com a Segurança	a_3	b_3	c_3	b_3	b_3/b_1
1.4 Política de Segurança	a_4	b_4	c_4	b_4	b_4/b_1
1.5 Objetivos de Segurança	a_5	b_5	c_5	b_5	b_5/b_1
1.6 Treinamentos	a_6	b_6	c_6	b_6	b_6/b_1
1.7 Identificação de Competências	a_7	b_7	c_7	b_7	b_7/b_1

3.3 Avaliação da Resiliência Organizacional

Nesta terceira parte do método, as pessoas do domínio organizacional avaliado julgam o conjunto de indicadores de cada princípio, considerando as condições em que o domínio organizacional se encontra. Os resultados deste julgamento serão confrontados com o padrão (base de referência) já estabelecido para o domínio. São gerados índices (graus) de atendimento para os princípios da engenharia de resiliência, chegando à avaliação final da resiliência do domínio. Esses índices medem o quanto o domínio avaliado atinge percentualmente o padrão ideal estabelecido, que tem índice igual a 1.

Esta parte do método *fuzzy* pode ser dividida em quatro etapas que são representadas na Figura 18 e descritas a seguir.

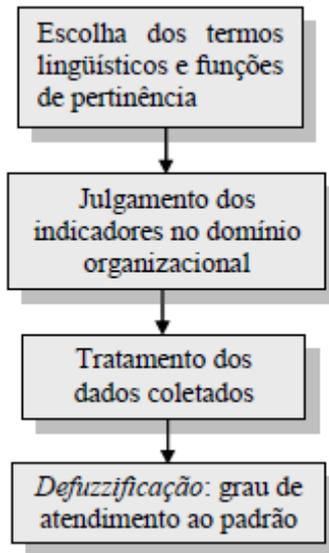


Figura 18: Etapas da terceira parte do método.

- **ETAPA 1: Escolha dos termos lingüísticos e funções de pertinência.**

Nesta etapa foram escolhidos termos lingüísticos para avaliar os graus de atendimento dos indicadores em um determinado domínio organizacional.

Propõe-se a utilização dos seguintes termos lingüísticos: **discordo totalmente (DT)**; **discordo parcialmente (DP)**; **não concordo, nem discordo (NCND)**; **concordo parcialmente (CP)** e **concordo totalmente (CT)**. Esses termos lingüísticos são muito utilizados em medidas do comportamento organizacional (SIQUEIRA, 2008; ROBBINS, 2002), por este motivo são empregados nesta etapa do trabalho.

Os termos lingüísticos são representados por números *fuzzy* triangulares, denotando assim o grau de atendimento de cada indicador considerado.

A Figura 19 e a Tabela 7 mostram os termos lingüísticos representados por números *fuzzy* com suas funções de pertinência adaptadas de LEE (1996).

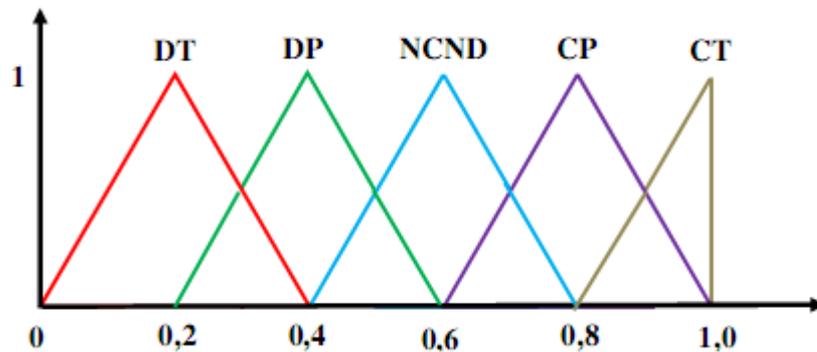


Figura 19: Funções de pertinência dos números *fuzzy* para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores.

Tabela 7 - Números *fuzzy* para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores.

Grau de atendimento	Simbologia	Termo linguístico	Número <i>fuzzy</i> triangular
0,2	DT	Discordo totalmente	$N_1 = (0,0; 0,2; 0,4)$
0,4	DP	Discordo parcialmente	$N_2 = (0,2; 0,4; 0,6)$
0,6	NCND	Não concordo, nem discordo	$N_3 = (0,4; 0,6; 0,8)$
0,8	CP	Concordo parcialmente	$N_4 = (0,6; 0,8; 1,0)$
1,0	CT	Concordo totalmente	$N_5 = (0,8; 1,0; 1,0)$

- **ETAPA 2: Julgamento dos indicadores no domínio organizacional.**

Nesta etapa, as pessoas do domínio organizacional julgam os indicadores utilizando os termos linguísticos (métricas subjetivas) definidos na etapa anterior. O resultado desse julgamento será o grau de concordância do comportamento de cada um dos indicadores relacionados aos princípios da resiliência no domínio organizacional.

- **ETAPA 3: Tratamento dos dados coletados.**

Cada termo lingüístico será representado por um número *fuzzy* que será convertido em um formato numérico (grau de atendimento) que corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1.

- **ETAPA 4: Defuzzificação.**

O objetivo desta etapa é obter um valor numérico discreto que melhor representa os valores *fuzzy* inferidos da variável lingüística de saída, ou seja, obter um grau de atendimento aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de resiliência organizacional, que significa um índice de resiliência organizacional do domínio considerado.

Utilizando o método do centro de área (centróide) é calculado, para cada avaliação, o grau de atendimento do domínio organizacional aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de resiliência organizacional, pela Equação 3.8:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^k GII_j \cdot a_j}{\sum_{j=1}^k GII_j} \quad (3.8)$$

Onde:

A_i = grau de atendimento do domínio ao princípio i do padrão de resiliência organizacional;

a_j = grau de atendimento do indicador j do princípio i no domínio organizacional;

GII_j = grau de importância do indicador j do princípio i , calculado por meio da Equação 3.7.

Desta forma, poderemos avaliar o quanto o domínio organizacional atinge, percentualmente, do padrão estabelecido. Esta avaliação poderá ser feita todas as vezes

que se deseja estimar em que estágio de evolução estão os indicadores de cada princípio que influencia a resiliência do domínio organizacional.

Segundo HOLLNAGELL (2008) esta avaliação é importante na gestão da resiliência, pois estabelece um ambiente de monitoração e controle pró-ativo da segurança nas organizações, com isso, os diversos fatores que podem interferir na segurança são constantemente monitorados para evitar a ocorrência de incidentes.

CAPÍTULO 4: LOCAL DE ESTUDO PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o local onde foi realizado o estudo para aplicação do método de avaliação proposto nesta tese. Esta etapa do trabalho de tese pode ser considerada uma pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória tem como objetivo uma maior familiarização do pesquisador com o fenômeno investigado, a fim de concluir sua hipótese de trabalho (GIL, 1999; COLLINS e HUSSEY, 2005), o que configura bem o caso esta etapa.

O estudo foi desenvolvido no processo de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear pelo fato desse processo ser considerado de alto risco com características de complexidade, o que comprova a adoção do enfoque da engenharia de resiliência. Esta consideração pode ser justificada pelas seguintes razões que serão descritas neste capítulo:

- Os trabalhadores desse processo manipulam produtos radioativos e enfrentam pressão temporal;
- Os trabalhadores correm riscos de sofrerem exposições às radiações ionizantes e contaminações por substâncias radioativas, o que podem provocar sérios danos aos trabalhadores;
- Os trabalhadores constroem a segurança em um ambiente de *trade-offs*, múltiplos objetivos e perigos;
- A realidade do processo de expedição radiofármacos é pautada por diversas variabilidades.

4.1 Descrição da Instalação Nuclear

A instalação nuclear onde é realizado o processo de expedição de radiofármacos é um instituto de pesquisa, desenvolvimento e inovação, localizado no Rio de Janeiro, unidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). Como órgão superior de planejamento, orientação,

supervisão e fiscalização, a CNEN estabelece normas e regulamentos em radioproteção, licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil. A CNEN desenvolve ainda pesquisas na utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade.

Este instituto de pesquisa foi criado em 1962 com o objetivo de impulsionar, no Rio de Janeiro, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico na área nuclear.

Conforme o documento de criação do instituto, seus primeiros desafios foram a construção, operação e uso de um reator nuclear de pesquisa e a responsabilidade pela produção de radioisótopos para pesquisas e usos industriais, médicos, agrícolas e biológicos. Em decorrência do aumento das demandas do setor nuclear e correlato, outros laboratórios e instalações de pesquisa foram criados ao longo dos anos.

Desde sua fundação este instituto vem contribuindo para o domínio nacional de tecnologias na área nuclear. Atualmente sua atuação está orientada para a geração e transferência de conhecimento e tecnologia para os setores produtivos público e privado, tendo a sociedade como beneficiária final.

Hoje as principais competências do instituto são identificadas por seus projetos estruturantes: os centros de Reatores Avançados e Inovadores (Engenharia de Reatores e Engenharia de Salas de Controle), de Aplicações de Técnicas Nucleares (na indústria e na medicina) e de Química e Materiais Nucleares. Além disso, no instituto há também os programas de pós-graduação, de recolhimento e armazenamento de rejeitos e de produção de radiofármacos – a distribuição pelo instituto dessas substâncias, utilizadas na moderna medicina nuclear, viabiliza mais de 14 mil procedimentos médicos por ano.

No instituto, as estratégias são formuladas anualmente no âmbito do Conselho Estratégico (diretor, chefes de divisões e coordenadores), tomando por base as necessidades da CNEN, as ações do Plano Plurianual (PPA) e as demandas induzidas e incentivadas pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e outros órgãos de fomento. Essa formulação é traduzida em diretrizes e objetivos estratégicos, desdobrados nos processos institucionais e no *Caderno de Projetos*, constituindo assim o plano de trabalho do instituto.

O instituto possui uma Política de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (PSMS), um Plano de Proteção Radiológica (PPR), um Plano Geral de Emergência (PGE), um Programa de Monitoração Ambiental (PMA), um Programa de Gerenciamento de Rejeito Radioativo (PGRR) e um Plano de Intenção à Saúde do Trabalhador (PIST).

A atividade específica é regulamentada pela nomenclatura técnica estabelecida nas normas da própria Comissão Nacional de Energia Nuclear, por força da Lei 6189/74, modificada pela Lei 7781/89.

Desde 1998, este instituto tem priorizado um modelo de gestão institucional com base nos critérios de excelência do Programa Nacional de Qualidade (PNQ), e redefiniu sua missão. Desde então, os rumos do instituto passaram a ser orientados por sua visão, que em 2005 teve seu texto atualizado: "Ser um centro de excelência com substanciais contribuições em conhecimento, inovação e transferência de tecnologia para a sociedade".

Sua força de trabalho é constituída por 268 servidores, 37 colaboradores e 65 terceirizados. O perfil do quadro funcional é mostrado nas Figuras 20, 21, 22.

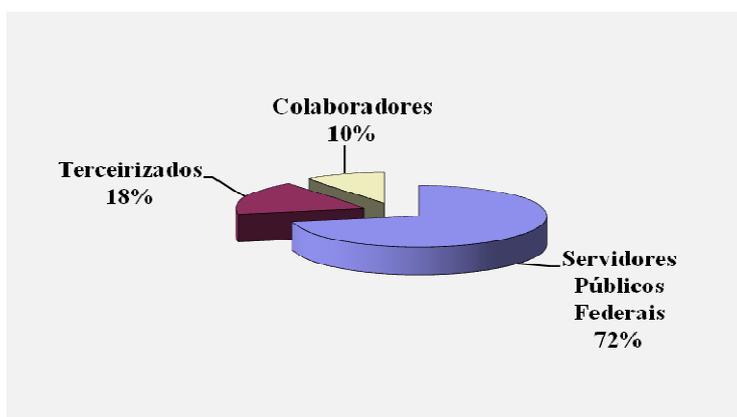


Figura 20: Composição do pessoal da instalação nuclear.

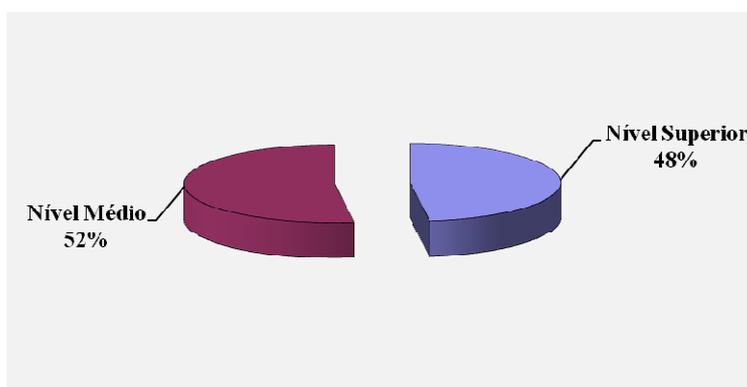


Figura 21: Escolaridade dos servidores da instalação nuclear.

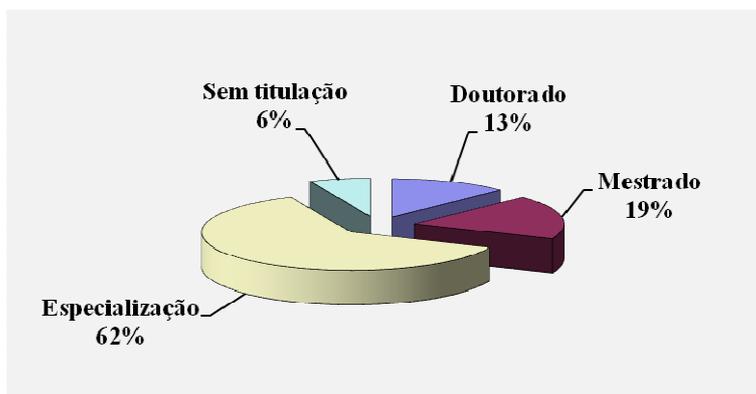


Figura 22: Titulação dos servidores da instalação nuclear.

4.2 Radiofármacos e a sua Produção na Instalação Nuclear

Um radiofármaco é uma substância que por sua forma farmacêutica, quantidade e qualidade de radiação, pode ser utilizada no diagnóstico e tratamento de seres vivos, qualquer que seja a via de administração utilizada (TEWSON e KROHN, 1998; IAEA, 2006). De forma mais simples, podemos dizer que radiofármacos são moléculas ligadas a elementos radioativos (radioisótopos), constituindo dessa forma fármacos radioativos que são utilizados em uma especialidade médica denominada medicina nuclear. Os radiofármacos são utilizados com a finalidade de diagnosticar patologias e disfunções do organismo. Em menor extensão, são aplicados na terapia de doenças, particularmente no tratamento de tumores radiosensíveis (IAEA, 2006).

A maioria dos procedimentos realizados atualmente em medicina nuclear tem finalidade diagnóstica. O paciente recebe uma dose de um radiofármaco, e é posteriormente examinado por um equipamento capaz de detectar a radiação oriunda do paciente e convertê-la em uma imagem que representa o órgão ou sistema avaliado.

A Emenda Constitucional 49, de oito de fevereiro de 2006, excluiu do monopólio da União a produção, a comercialização e a utilização de radioisótopos de meia-vida curta, para usos médicos, agrícolas e industriais (OLIVEIRA e LEÃO, 2008). Meia-vida curta significa que o produto dura muito pouco tempo. Entende-se por meia-vida, o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial.

Esta comercialização anteriormente era restrita a duas instalações nucleares, uma localizada no Rio de Janeiro e outra em São Paulo, ambas ligadas ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Apesar da quebra do monopólio, a União ainda detém quase totalmente este mercado, visto que a produção e comercialização de radioisótopos de meia-vida curta por centros privados de medicina nuclear ainda é desprezível. Este fato deve-se à falta de mão-de-obra especializada e a aquisição de aceleradores de partículas para produção de radiofármacos, que são caros e de difícil importação. Neste contexto, a instalação nuclear do Rio de Janeiro foi responsável, aproximadamente, por 7% do faturamento de radiofármacos da União, cabendo à instalação nuclear de São Paulo, 93% no ano de 2011.

Atualmente está em fase de elaboração um projeto de lei para a criação da Empresa Brasileira de Radiofármaco (EBR), uma empresa pública com controle da união e participação acionária do estado de São Paulo que absorverá as plantas industriais existentes nesses dois institutos de pesquisa.

A produção de radiofármacos pela instalação nuclear escolhida para o estudo reflete a preocupação desta organização em atender às demandas da sociedade. Essa atividade teve origem com a aquisição, em 1974, de um acelerador de partículas, o Ciclotron CV-28 de energia variável, o que deu início ao desenvolvimento de métodos de produção de radioisótopos para diferentes aplicações e a produção experimental para uso médico. Em 2003 foi instalado o segundo acelerador de partículas nuclear, o Ciclotron RDS-111, para produção do radioisótopo flúor-18.

Esta instalação nuclear produz atualmente dois tipos de radioisótopos, o iodo-123 ultrapuro e o flúor-18, usados como marcadores nos três radiofármacos fornecidos: o iodeto de sódio, a metaiodobenzilguanidina (MIBG) e o flúor-desoxiglicose (FDG).

A produção em larga escala do radioisótopo iodo-123, livre de impurezas, começou em 1998. O radioisótopo iodo-123, na forma do radiofármaco iodeto de sódio, é fornecido em uma solução aquosa, límpida e não injetável em ampolas de vidro. Sua administração se dá por via oral. O iodeto de sódio é usado para o diagnóstico de disfunções da tireoide, em substituição ao iodo-131, proporcionando 60 vezes menos doses radiológicas aos pacientes e 6000 vezes menos impacto ambiental (PARENTONI, 2004).

O elemento iodo, radioativo ou não, é absorvido pelo organismo humano preferencialmente pela glândula tireoide, onde se concentra. O funcionamento da tireoide influi muito no comportamento das pessoas e depende de como o iodo é por ela

absorvido. O fato de ser radioativo não tem qualquer influência no comportamento de um elemento químico em relação aos demais elementos (CARDOSO, 1999).

Para diagnóstico de tireoide, o paciente ingere o iodo-123, na forma do radiofármaco iodeto de sódio, que vai ser absorvido pela glândula. Por meio de um detector de radiação, um cintilômetro, posicionado na direção do pescoço do paciente (Figura 23), pode-se observar se o iodo foi muito ou pouco absorvido em relação ao normal (padrão) e como se distribuiu na glândula. O detector é associado a um mecanismo que permite obter um “desenho” ou mapeamento, em preto e branco ou colorido, da tireoide. Um diagnóstico, no caso um radiodiagnóstico (Figura 24), é feito por comparação com um mapa padrão de uma tireoide normal.

A mesma técnica é usada para mapeamento de outros órgãos, por exemplo, fígado e pulmão, utilizando outros tipos de radiofármacos.

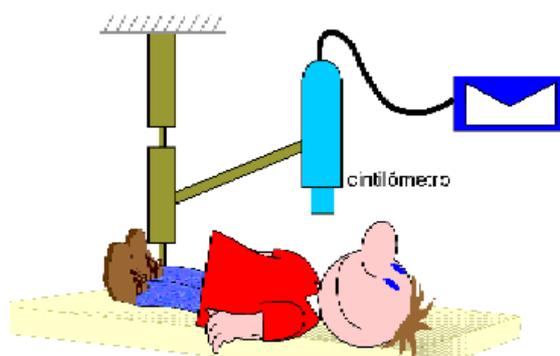


Figura 23: Exame para radiodiagnóstico da tireoide (Fonte: CARDOSO, 1999).

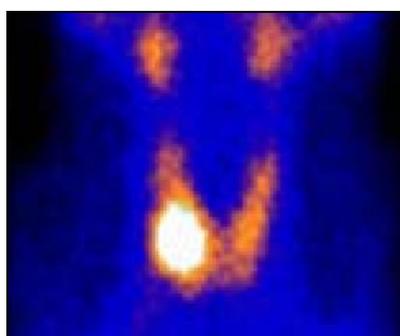


Figura 24: Exemplo de radiodiagnóstico da tireoide utilizando o iodo-123. A área mais brilhante indica maior concentração do radioisótopo (Fonte: CARDOSO, 1999).

O radiofármaco MIBG, marcado com iodo-123, é fornecido em uma solução isotônica, límpida e injetável, em ampolas de vidro. É utilizado para diagnóstico de neuroblastomas e doenças cardíacas. Por ter uma meia-vida de apenas 13,2 horas, o iodo-123 (MIBG) permite o diagnóstico de doenças cardíacas e tumores. Já o iodo-131 (MIBG) por ter uma vida maior (oito dias) é mais adequado para a utilização com doses maiores no tratamento de tumores (IAEA, 2006).

Com a produção do iodo-123 ultrapuro, esta instalação nuclear segue uma tendência mundial de disponibilizar radioisótopos de meia-vida curta para a realização de exames e terapias. O iodo-123 substitui com vantagens o iodo-131 permitindo a realização de exames menos agressivos para o paciente (PARENTONI, 2004).

O radiofármaco FDG é formado por moléculas de glicose marcadas com o radioisótopo flúor-18. Seu emprego vai da oncologia, inclusive distinguindo metástases de tumores originais, à cardiologia, neurologia e doenças infecciosas (IAEA, 2006). Este radiofármaco, injetado no paciente, é uma ferramenta de grande precisão no diagnóstico de patologias em que haja metabolismo de glicose. É utilizado em exames do tipo SPECT (sigla em inglês para tomografia por emissão de fóton único) ou PET (sigla em inglês para tomografia por emissão de pósitrons), esse último com uma resolução de imagem capaz de detectar tumores a partir de dois milímetros (Figura 25). Por ter uma meia-vida muito curta, de apenas 109 minutos, só pode ser comercializado pela instalação nuclear para hospitais e clínicas da capital do Rio de Janeiro e cidades próximas.

Segundo MESQUITA (2004), o exame com radiofármaco FDG é útil no diagnóstico de tumores cerebrais. O pesquisador explica que os tumores apresentam alto nível de metabolismo glicolítico enquanto os tecidos cerebrais necrosados ou normais apresentam relativamente menor atividade metabólica gerando gradientes de distribuição da radioatividade nesses tecidos. As regiões mais ativas (por exemplo, o tumor) concentram mais FDG do que os tecidos relativamente menos ativos.

MESQUITA (2004) acrescenta que, semelhantemente, alguns medicamentos ou drogas aceleram ou inibem a atividade cerebral e esse efeito pode ser avaliado com o FDG. Até mesmo as emoções geram atividades seletivas no cérebro que podem ser localizadas com o uso do FDG.

A Figura 26 mostra imagens cerebrais utilizando o FDG, obtidas com o PET. À esquerda, imagem de um cérebro normal e à direita um paciente drogado com cocaína.



Figura 25: Equipamento PET (Fonte: MESQUITA, 2004).

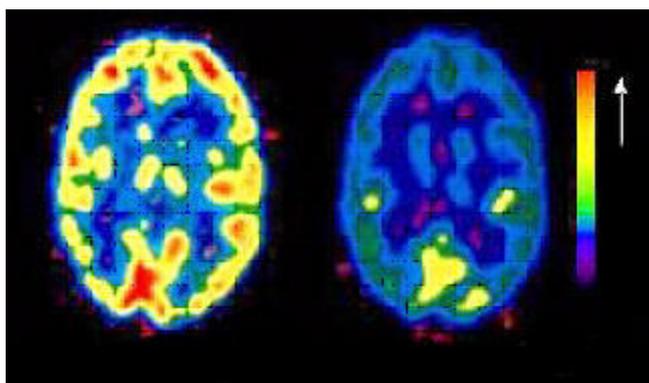


Figura 26: Imagens cerebrais utilizando o FDG obtidas com o PET (Fonte: MESQUITA, 2004).

A cadeia completa de produção de radiofármacos nessa instalação nuclear é dividida em três processos: irradiação, processamento e expedição. No processo de irradiação são utilizados aceleradores de partículas (ciclotrons) para produção dos radioisótopos iodo-123 ultrapuro e o flúor-18. No processamento são fabricadas as substâncias marcadas (radiofármacos) com os radioisótopos por meio de células de processamento e alíquotagem. Este processo incluiu também, o controle de qualidade da produção de radiofármacos. Na expedição é feita a embalagem dos radiofármacos, a

monitoração das embalagens, a monitoração do veículo que irá transportar os radiofármacos embalados e a documentação necessária para o transporte dos radiofármacos.

Em cada um desses processos existe o risco de exposição e até contaminação, devido à manipulação de substâncias radioativas, o que pode provocar sérios danos ao trabalhador. Além disso, o radiofármaco produzido deve prover uma dose de radiação conforme a necessidade do exame, sob pena de produzir danos irreparáveis ao paciente (no caso de doses muito altas de radiação) ou de impossibilitar o exame (no caso de doses muito baixas).

4.3 O Processo de Expedição de Radiofármacos na Instalação Nuclear

O processo de expedição de radiofármacos, última fase da cadeia de produção, foi escolhido para a aplicação do método proposto nesta tese. Esta escolha foi definida durante as primeiras reuniões com o coordenador de segurança e proteção radiológica da instalação nuclear que apontou a vontade de avaliar se os recursos disponibilizados ao setor onde é realizado o processo de expedição de radiofármacos eram suficientes para a manutenção da segurança.

Além disso, esta fase da cadeia de produção de radiofármacos, apesar de ser um processo crítico, onde existe manipulação de materiais radioativos, não teve impedimento de acesso das pessoas para execução da pesquisa, desde que fossem adotadas medidas de proteção e segurança, como por exemplo, a utilização de medidores pessoais de radiação, avental e luvas, para garantir que as exposições ocupacionais ficassem em conformidade com as normas de referência. Ao contrário dos processos de irradiação e processamento, que lidam com níveis de radiação muito mais elevados, o que impede o acesso de pessoas não relacionadas aos processos.

4.3.1 Modelagem Ergonômica do Processo de Expedição de Radiofármacos

Para entender a complexidade e a dinâmica do processo de expedição de radiofármacos utilizou-se uma modelagem ergonômica. De acordo com VIDAL (2008) e VIDAL e CARVALHO (2008), uma modelagem ergonômica é composta por um conjunto de técnicas de análises quantitativas e qualitativas aplicadas à situação de trabalho que permitem a descrição e a interpretação do que acontece na realidade enfocada. O objetivo desta modelagem foi fornecer uma visão clara da atividade de trabalho no processo de expedição de radiofármacos, a fim de adequar os indicadores preditivos e suas avaliações de acordo com as especificidades deste domínio organizacional.

As principais técnicas utilizadas nesta modelagem ergonômica foram a observação do trabalho (atividade de trabalho) e a ação conversacional (VIDAL, 2008; VIDAL *et al.*, 2009) por meio da realização de entrevistas diretas com os trabalhadores durante a execução de suas atividades, às quais se acrescentam verbalizações espontâneas e provocadas do entrevistado (ações conversacionais).

Segundo VIDAL *et al.* (2009), a observação do trabalho se constitui no grande diferencial para o entendimento da forma e das variabilidades existentes em processos organizacionais. É feita a partir da análise da atividade executada pelo trabalhador, levando em consideração as variabilidades existentes e as regulações realizadas pelo trabalhador para atingir os objetivos e metas estabelecidas pela tarefa.

LEPLAT (1992) aborda que o objetivo essencial da análise da atividade é determinar a tarefa efetiva, essas investigações possibilitam conhecer em detalhes o que favorece e o que dificulta aos agentes humanos desenvolverem o trabalho. Destaca ainda que a observação de gestos, posturas, deslocamentos, horários de trabalho, aspectos psicossociais e a organização do trabalho possibilitam diagnosticar o custo que o trabalho traz para o indivíduo.

A ação conversacional permite explicitar aspectos subjetivos envolvidos na atividade, fazendo emergir aspectos cognitivos que dificilmente seriam compreendidos somente por meio da observação ou da aplicação de entrevistas ou questionários (MARTINS JR. *et al.*, 2011; VIDAL *et al.*, 2009). A ação conversacional possibilita, portanto, maior conhecimento e entendimento de aspectos singulares da atividade, tais

como as variabilidades e regulações que podem ter contribuído para a ocorrência de um evento.

A seguir é mostrada a modelagem ergonômica realizada no setor.

4.3.1.1 Contextualização do Setor e Estudo da População de Trabalho

A equipe técnica do setor do processo de expedição de radiofármacos tem como missão garantir a obediência às normas e às práticas seguras na execução das atividades de expedição e de transporte de radiofármacos. O setor é subordinado a Coordenação de Segurança e Proteção Radiológica (CSPR) que pertence à alta administração da instalação nuclear.

Atualmente, sua força de trabalho é constituída por oito servidores. O perfil do quadro funcional deste setor é mostrado nas Figuras 27, 28, 29.

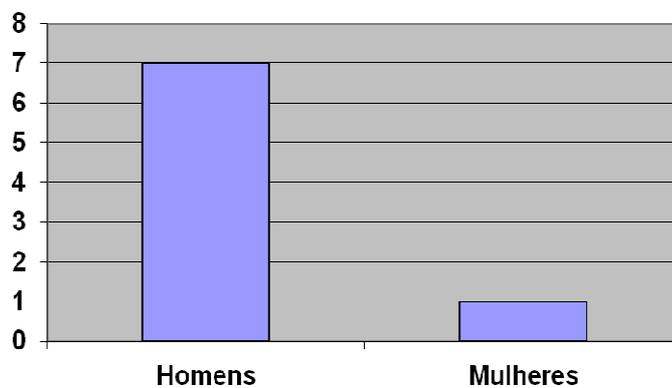


Figura 27: Gênero dos servidores do setor de expedição de radiofármacos.

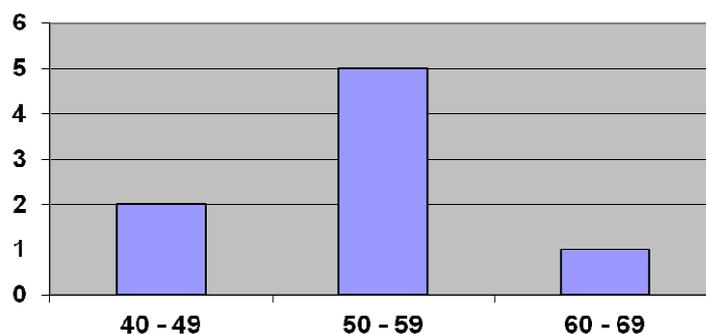


Figura 28: Faixa etária dos servidores do setor de expedição de radiofármacos.

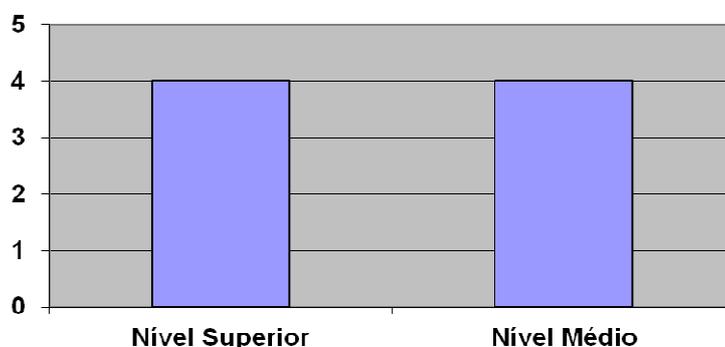


Figura 29: Escolaridade dos servidores do setor de expedição de radiofármacos.

No setor não há repartição por sexo e nem por faixa etária. Os oito servidores são divididos em grupos de três, trabalhando em escalas semanais. O turno de trabalho é das 7:30 às 16:30 horas com uma parada de 1 hora para o almoço e horários de café da manhã e lanche.

O grau de instrução da equipe técnica varia do nível médio ao superior, inclusive com cursos de pós-graduação. São técnicos, bacharéis e engenheiros treinados em cursos de radioproteção pela própria instituição. Todos desempenham as mesmas funções e possuem um tempo de permanência na instituição e na profissão em torno de 20 anos, portanto, possuem bastante experiência em relação ao processo de expedição de radiofármacos. A totalidade dos servidores tem idade superior a 40 anos, logo foi suposto que são pessoas com certo grau de maturidade e responsáveis.

As informações colhidas no Serviço de Saúde e Segurança do Trabalhador (SESST) revelaram que no setor não há altos índices de absenteísmo ou licenças médicas. Também não há ocorrência de doenças relativas à atividade de trabalho.

Todos são funcionários públicos federais estatutários, regidos pela lei 8112/90, que instituiu o Regime Jurídico Único para os servidores civis da União, das autarquias e das fundações públicas federais.

O processo de expedição de radiofármacos é baseado e regulamentado em normas estabelecidas pela CNEN e em normas regulamentadoras relacionadas a transporte e manuseio de produtos perigosos do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

4.3.1.2 Análise da Atividade

As etapas do processo produtivo do setor são:

- **Preparação da documentação**

Esta é a atividade inicial do processo de expedição de radiofármacos. Nesta etapa ocorre a preparação das declarações de expedição de acordo com o meio de transporte (terrestre ou aéreo). Para transporte aéreo é necessário a confecção de um documento segundo recomendações *IATA (International Air Transport Association)*.

Para a preparação dessa documentação, a equipe manipula planilhas de dados eletrônicas e informações referentes ao centro médico que solicitou o radiofármaco, ao tipo de radiofármaco e a medidas radiológicas. Segundo informações da equipe, a formatação desses documentos foi modificada algumas vezes pela instituição.

A equipe do setor reportou que os erros cometidos na confecção da documentação de transporte aéreo causam atraso e até o impedimento de embarque dos produtos quando estes erros são detectados no aeroporto, levando a perda do radiofármaco. A Figura 30 mostra esta atividade.



Figura 30: Preparação da documentação.

- **Recebimento dos radiofármacos**

Nesta etapa, a equipe recebe do setor de processamento o radiofármaco fabricado para expedição. Após o recebimento, a equipe anota as informações do horário de fabricação e confere as informações do destinatário e das características do radiofármaco com as informações contidas nas planilhas de dados. Estes radiofármacos são acondicionados em recipientes de chumbo para blindar a emissão de radiação (Figura 31).

A comunicação do setor de expedição com o setor de processamento é feita por meio de uma janela, onde os radiofármacos são recebidos. As equipes se comunicam por meio de telefones ou pessoalmente. O Anexo 2 mostra a planta baixa de arquitetura do local onde ocorre a produção do radiofármaco. Neste desenho podemos ver a localização desses setores.



Figura 31: Recipientes de chumbos para os radiofármacos.

- **Embalagem dos radiofármacos**

Nesta etapa, o radiofármaco é embalado e posicionado na bancada para início da monitoração radiológica.

A equipe reportou que o tipo de embalagem mudou várias vezes, já utilizaram latas de alumínio, potes plásticos e que atualmente utilizam baldes (Figura 32). Esta mudança deve-se a mudança de fornecedores de embalagens ao término do contrato.

- **Medição do radiofármaco**

Nesta etapa ocorre a medição radiológica do radiofármaco. Um técnico posiciona o medidor de radiação no centro das quatro superfícies laterais da embalagem e o maior valor medido é anotado. Além dessa medida, outra é realizada a 1 metro de distância da superfície que gerou o maior valor de dose. Todos esses valores são anotados em etiquetas, que são coladas na embalagem. Essas medidas são recomendadas pela CNEN. A Figura 32 mostra esta atividade.



Figura 32: Medição do radiofármaco embalado em balde.

- **Emissão da documentação**

Nesta etapa, a documentação necessária para transporte do radiofármaco é finalizada com a inclusão dos valores das medidas e de informações adicionais necessárias.

- **Monitoração do veículo que transportará os produtos e liberação da carga**

Esta etapa é realizada em uma área externa e descoberta. Os técnicos verificam se os radiofármacos embalados estão bem acondicionados no veículo e monitoram os níveis de radiação nas superfícies do veículo. Eles conferem a assinatura do transportador e liberam a carga.

Durante as observações, percebemos que as atividades executadas pelos trabalhadores exigem:

a) Equipamentos e instrumentos

- Monitores de radiação para medição de níveis de radiação;
- Microcomputadores para confecção de documentos de expedição;
- Equipamentos de Proteção Individual (EPI): jalecos, monitores de radiação pessoais, luvas e sapatilhas.

b) Cognição

Os trabalhadores enfrentam consideráveis demandas cognitivas durante as condições normais de trabalho e são exigidos perante a necessidade de soluções quando anomalias acontecem no processo. As demandas cognitivas observadas são:

- Reconhecimento de medidas radiológicas;
- Reconhecimento de situações de perigo;

- Manipulação de planilha de dados eletrônica e de informações para confecção de documentos de expedição;
- Conhecimento e avaliações de procedimentos de segurança e ações de emergência;

c) Esforços físicos

- Emprego de força para transporte (manipulação) dos radiofármacos embalados. Cada embalagem com recipientes de chumbo pode pesar, em alguns casos, 15 kg.

d) Pressão temporal

- Tarefas executadas com rapidez, devido à meia-vida curta dos radiofármacos, principalmente o FDG.

O FDG tem uma meia-vida curta (redução de atividade à metade) de 1 hora e 50 minutos, o que assegura o menor dano possível ao organismo do paciente, mas exige que seja utilizado dentro desse período. Assim, a logística para a produção e a distribuição do FDG não é simples. Isso significa que sua produção precisa ser feita perto do local de consumo, pois a cada período de aproximadamente duas horas, ele perde metade da radioatividade e, conseqüentemente, uma quantidade maior tem que ser utilizada para obter o mesmo resultado.

Além dessas exigências, foi observado que o processo de expedição de radiofármacos é pautado por diversas variabilidades: variações sazonais de demanda, variações advindas de defeitos ou falta de calibração dos monitores de radiação, variedades de matérias primas e insumos (as embalagens), variações de formatação da documentação de expedição, além das variabilidades de desempenho dos trabalhadores que configuram exemplos do *ETTO*, comentadas na Seção 2.1.3.

Para lidar com estas variabilidades, os trabalhadores do setor desenvolvem ações adaptativas. Desta forma, a capacidade de improvisação ou adaptação das pessoas passa

a ser um requisito fundamental na tentativa de contornar possíveis problemas, especialmente em razão da pressão temporal.

A Figura 33 mostra uma adaptação realizada para as medidas radiológicas no radiofármaco embalado.



Figura 33: Adaptação para medidas radiológicas.

A figura acima mostra um monitor de radiação, sinalizado pela seta, fixado a um pedaço de material plástico. Esta adaptação facilita o trabalhador, agilizando o tempo de leitura dos valores das medidas radiológicas do radiofármaco. Desta maneira, o trabalhador mantém o equilíbrio entre a produtividade e a segurança na monitoração da embalagem.

CAPÍTULO 5: APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

No capítulo anterior foi apresentado o processo de expedição de radiofármacos, que foi escolhido para a aplicação do método de avaliação. Neste capítulo é descrita a experiência completa de utilização do método no processo.

5.1 Indicadores Preditivos para o Processo de Expedição de Radiofármacos.

A modelagem ergonômica feita no capítulo anterior permitiu concluir que os indicadores apresentados na estrutura genérica (Tabela 1) eram adequados para a avaliação do processo expedição de radiofármacos. Entretanto, as avaliações dos indicadores foram modificadas de acordo com o contexto de trabalho no processo.

A estrutura de indicadores preditivos e a avaliação de cada indicador para avaliação da resiliência do processo de expedição de radiofármacos são apresentadas respectivamente nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Indicadores preditivos para o processo de expedição de radiofármacos.

Princípios	Indicadores
Comprometimento da Alta Direção	1.1 Recursos Humanos 1.2 Recursos Materiais 1.3 Compromisso com a Segurança 1.4 Política de Segurança 1.5 Objetivos de Segurança 1.6 Treinamentos 1.7 Identificação de Competências
Aprendizagem	2.1 Comunicação 2.2 Conteúdo das Informações 2.3 Execução das Tarefas 2.4 Práticas Reais de Trabalho 2.5 Adaptações Locais 2.6 Conteúdo das Documentações 2.7 Disponibilidade das Documentações 2.8 Investigações de Incidentes 2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes
Flexibilidade	3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas 3.2 Flexibilidade das Atividades 3.3 Reconhecimento Profissional 3.4 Limites do Trabalho Seguro 3.5 Relatos das Adaptações 3.6 Incorporação de Adaptações
Consciência	4.1 Relatos de Problemas 4.2 Informações de Segurança 4.3 Mecanismos de Comunicação 4.4 Disponibilidade para Substituições 4.5 Carga de Trabalho 4.6 Trabalho em Equipe 4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas 4.8 Compreensão das Limitações 4.9 Manutenção Preventiva 4.10 Identificação de Perigos
Cultura de Justiça	5.1 Relatos de Desvios/Erros 5.2 Entendimento dos Erros 5.3 Percepção dos Erros 5.4 Ações não Punitivas 5.5 Opinião da Equipe nas Investigações
Preparação para os problemas	6.1 Plano de Resposta à Emergência 6.2 Identificação de Riscos 6.3 Equipamentos de Segurança 6.4 Sistemas de Alarmes 6.5 Procedimentos Proativos 6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência

Tabela 9 - Avaliação dos indicadores preditivos para o processo de expedição de radiofármacos.

Princípios	Avaliação
Comprometimento da Alta Direção	<p>1.1 A capacidade de trabalhadores no setor é suficiente para garantir a execução segura das tarefas, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades.</p> <p>1.2 A qualidade dos recursos materiais (equipamentos, ferramentas, produtos) garantem a execução segura das atividades mesmo com a pressão temporal.</p> <p>1.3 As chefias mostram compromisso com as atividades de segurança e com os investimentos em segurança.</p> <p>1.4 A política de segurança da instalação nuclear está atualizada.</p> <p>1.5 Os trabalhadores participam da definição e do acompanhamento regular dos procedimentos e objetivos de segurança.</p> <p>1.6 Treinamentos adequados às atividades dos trabalhadores são frequentemente oferecidos e incentivados pelas chefias.</p> <p>1.7 Existe um procedimento adequado de identificação de competências e seleção de pessoas para trabalhar no local.</p>
Aprendizagem	<p>2.1 Os mecanismos de comunicação são eficientes para divulgação de informações sobre incidentes e informações relevantes ao trabalho.</p> <p>2.2 As informações trocadas durante os processos de comunicação são suficientes.</p> <p>2.3 As pessoas realizam as tarefas conforme prescritas.</p> <p>2.4 As tarefas realizadas de maneiras mais rápidas e eficientes são de conhecimento do grupo e da chefia.</p> <p>2.5 As adaptações das tarefas às condições locais são efetuadas conhecendo seus efeitos sobre a segurança.</p> <p>2.6 Os procedimentos, instruções ou documentações são atualizados e de fácil compreensão.</p> <p>2.7 Os procedimentos, instruções ou documentações estão disponíveis para as pessoas quando necessários.</p> <p>2.8 As investigações de incidentes levam em consideração os fatores técnicos, humanos e organizacionais e as conclusões contemplam causas como pressões pela produção, diferenças entre trabalho prescrito e real e identificações de migrações graduais de desempenho.</p> <p>2.9 As investigações de incidentes são realizadas por equipes multidisciplinares.</p>
Flexibilidade	<p>3.1 As pessoas são treinadas para controlar situações novas ou imprevistas na ausência de procedimentos ou instruções.</p> <p>3.2 As pessoas são incentivadas a refletir ao seguirem um procedimento, podendo realizar o trabalho da forma como consideram melhor.</p> <p>3.3 As experiências operacionais e as habilidades das pessoas são utilizadas pelo setor.</p> <p>3.4 Os procedimentos informam os limites do trabalho seguro, como detectar erros e recuperar o controle.</p> <p>3.5 As adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas) pelas pessoas.</p> <p>3.6 As adaptações bem sucedidas são incorporadas aos procedimentos.</p>

A tabela 9 continua na próxima página.

Consciência	<p>4.1 As pessoas relatam problemas enfrentados durante a execução das atividades.</p> <p>4.2 As pessoas são informadas sobre orientações de segurança e assuntos que interferem na execução de suas atividades.</p> <p>4.3 Os mecanismos de comunicação estão sempre disponíveis.</p> <p>4.4 As pessoas assumem o papel das outras quando estas não estão disponíveis.</p> <p>4.5 O conteúdo e o volume de trabalho não colocam em risco a saúde das pessoas.</p> <p>4.6 Existe um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.</p> <p>4.7 As exigências das tarefas estão alinhadas com as habilidades das pessoas.</p> <p>4.8 As pessoas têm percepção e consciência das condições técnicas dos recursos materiais e limitações dos procedimentos e documentações.</p> <p>4.9 Existe um programa de manutenção preventiva dos equipamentos.</p> <p>4.10 Existem medidas proativas no setor para identificar novos riscos (avaliação de riscos), utilizando seus resultados no desenvolvimento de políticas, procedimentos ou práticas (ações corretivas).</p>
Cultura de Justiça	<p>5.1 As chefias incentivam o relato de desvios, preocupações ou erros pessoais.</p> <p>5.2 As chefias entendem que os erros cometidos pelas pessoas são normais.</p> <p>5.3 As chefias e as pessoas conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis.</p> <p>5.4 As pessoas não sofrem penalizações, punições ou represálias quando cometem erros.</p> <p>5.5 Nas investigações disciplinares ou de incidentes, as chefias levam em consideração a opinião da equipe de trabalho.</p>
Preparação para os problemas	<p>6.1 Existe um plano local atualizado de resposta à emergência.</p> <p>6.2 As tarefas ou situações rotineiras que podem afetar a segurança estão identificadas.</p> <p>6.3 Os equipamentos de segurança são guardados em locais adequados e rotineiramente testados.</p> <p>6.4 Existe um sistema de alarmes no setor.</p> <p>6.5 Existem procedimentos para monitorar as condições de segurança do setor.</p> <p>6.6 As pessoas são treinadas para respostas às emergências.</p>

5.2 Determinação do Padrão de Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos

Nesta parte da aplicação método, conforme descrito no Capítulo 3, são apresentadas as etapas realizadas para determinação do padrão de resiliência do processo de expedição de radiofármacos.

- **ETAPA 1: Definição dos indicadores.**

Estes indicadores apresentados na Seção 5.1 são as variáveis linguísticas do método.

- **ETAPA 2: Seleção dos especialistas.**

Foram escolhidos 12 especialistas, todos conhecidos pelos seus conhecimentos, experiência e trabalho na área de interesse, a saber:

Especialista 1: Experiência na área de ergonomia, fatores humanos, resiliência, confiabilidade humana e segurança nuclear. Trabalha na divisão de instrumentação nuclear e confiabilidade humana da instalação nuclear;

Especialista 2: Experiência na área de segurança, proteção radiológica e no processo de produção de radiofármacos. Responsável pela equipe do processo de expedição de radiofármacos;

Especialista 3: Experiência na área de ergonomia, fatores humanos, resiliência, confiabilidade humana e segurança nuclear. Chefe da divisão de instrumentação nuclear e confiabilidade humana da instalação nuclear;

Especialista 4: Experiência no processo de produção de radiofármacos. Responsável pela manutenção dos aceleradores de partículas (ciclotrons) produtores de radioisótopos;

Especialista 5: Experiência na área de segurança, proteção radiológica e no processo de produção de radiofármacos. Coordenador de segurança e proteção radiológica da instalação nuclear;

Especialistas 6 e 8: Experiência na área de segurança, proteção radiológica e no processo de produção de radiofármacos. Trabalham na expedição de radiofármacos;

Especialista 7: Experiência no processo de produção de radiofármacos. Responsável pelo serviço do ciclotron;

Especialista 9: Experiência no processo de produção e de radiofármacos. Trabalha no controle de qualidade no processo de processamento de radiofármacos;

Especialista 10 e 12: Experiência no processo de produção de radiofármacos. Trabalham na fase de irradiação e processamento de radiofármacos;

Especialista 11: Experiência no processo de produção de radiofármacos. Responsável pelo processo de irradiação e processamento de radiofármacos;

Desta forma, definimos o conjunto de especialistas que avaliaram os indicadores preditivos como: $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, onde $n = 12$.

- **ETAPA 3: Determinação do grau de importância dos especialistas.**

Para esta etapa foi utilizado o instrumento de coleta de dados do especialista apresentado no Apêndice 1. Este instrumento de coleta é um questionário (Q), adaptado de BELCHIOR (1997) e MORÉ (2004), com perguntas fechadas, com o propósito de diferenciar quantitativamente itens subjetivos.

O instrumento de coleta é composto por 9 questões (q) e cada questão possui vários itens. As questões (q) e seus respectivos itens, com graus de importância normalizados, foram elaborados com o objetivo de obter um grau de importância de cada especialista considerando os conhecimentos, produção científica, experiência e trabalho na área de produção de radiofármacos.

Cabe ressaltar que as questões podem ser adaptadas de acordo com as necessidades locais, assim como os graus de importância para cada um dos itens podem ser modificados para se obter resultados convenientes.

A Tabela 10 apresenta a apuração dos dados coletados dos especialistas. O total de pontos do questionário de cada especialista, tQ_i , é a soma dos graus de importância de cada questão (q) e o grau de importância de cada especialista, GIE_i , foi calculado por meio da Equação 3.1. A Figura 34 apresenta a representação gráfica dos graus de importância dos especialistas.

Conforme mostrado na Tabela 10 e na Figura 34, o especialista 12 é o que possui maior grau de importância (0,1151) e o especialista 4 é o que possui menor grau de importância (0,0511).

Tabela 10 - Apuração dos dados coletados dos especialistas.

E_i	q₁	q₂	q₃	q₄	q₅	q₆	q₇	q₈	q₉	tQ_i	GIE_i
1	1	1	0,9	1	0,7	1	0	0,9	0,9	7,4	0,1051
2	1	1	0	0,8	0	0,7	0,5	1	0,9	5,9	0,0838
3	1	1	1	1	0,7	1	0	1	0,9	7,6	0,1080
4	0,8	0,4	0	0	0	0	0,5	1	0,9	3,6	0,0511
5	1	0,8	0	0,8	1	1	1	1	0,6	7,2	0,1023
6	1	0,8	0,5	0,4	0,7	0,7	0,9	1	0,9	6,9	0,0980
7	0,8	0,4	0	0	0	0,3	0,5	1	0,9	3,9	0,0554
8	0,8	0,4	0	0	0,3	0,3	0,9	1	0,6	4,3	0,0611
9	0,8	0,8	0	0	0,3	0,3	1	0,7	0,6	4,5	0,0639
10	0,8	0,4	0	0	0	0,7	0,5	0,9	0,9	4,2	0,0597
11	1	0,8	0,9	0	0,7	1	0,5	1	0,9	6,8	0,0966
12	1	1	0,9	0,8	1	1	0,5	1	0,9	8,1	0,1151
Total										70,4	1,0000

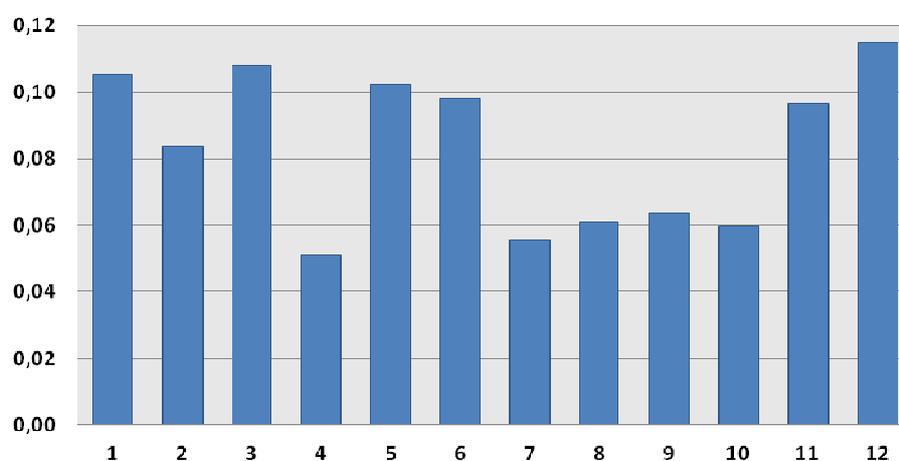


Figura 34: Representação gráfica dos graus de importância dos especialistas.

- **ETAPA 4: Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência**

Nesta etapa foram utilizados os termos linguísticos e as funções de pertinências apresentadas na Figura 15 e na Tabela 3, no Capítulo 3.

- **ETAPA 5: Determinação do grau de importância de cada indicador preditivo.**

Para determinar o grau de importância dos indicadores para o processo de expedição de radiofármacos foi utilizada uma planilha (Apêndice 2). Esta planilha foi preenchida pelos especialistas, utilizando o conjunto de termos linguísticos, caracterizados pelos números *fuzzy* triangulares, mostrados na Tabela 3. Esta planilha foi comentada e explicada detalhadamente para cada especialista, a fim de evitar distorções e dúvidas no seu preenchimento.

- **ETAPA 6: Tratamento dos dados coletados dos especialistas na avaliação de cada indicador preditivo.**

Como exemplo, nesta etapa são apresentados os cálculos da avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

- **ETAPA 6.1: Cálculo do grau de concordância entre opiniões.**

O cálculo do grau de concordância, GC_{ij} , entre os especialistas E_i e E_j , foi obtido por meio da Equação 3.2, ou seja, da razão entre a área de interseção das funções de pertinência correspondentes aos termos linguísticos (Tabela 12), utilizados no julgamento do indicador (opiniões), por esses especialistas (Tabela 11), e a área de união dessas mesmas funções de pertinência (Tabela 13).

Tabela 11 - Termos linguísticos usados pelos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Especialistas	Termos linguísticos	Números <i>fuzzy</i> N	Área de N
1	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
2	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
3	I	(1,0; 2,0; 3,0)	1
4	I	(1,0; 2,0; 3,0)	1
5	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
6	I	(1,0; 2,0; 3,0)	1
7	I	(1,0; 2,0; 3,0)	1
8	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
9	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
10	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
11	MI	(2,0; 3,0; 3,0)	0,5
12	I	(1,0; 2,0; 3,0)	1

Tabela 12 – Valores da área de interseção das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Opiniões	MI	MI	I	I	MI	I	I	MI	MI	MI	MI	I
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
I	0,25	0,25	1	1	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	1
I	0,25	0,25	1	1	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	1
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
I	0,25	0,25	1	1	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	1
I	0,25	0,25	1	1	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	1
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
MI	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
I	0,25	0,25	1	1	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	1

Tabela 13 – Valores da área de união das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Opiniões	MI	MI	I	I	MI	I	I	MI	MI	MI	MI	I
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
I	1,25	1,25	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1
I	1,25	1,25	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
I	1,25	1,25	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1
I	1,25	1,25	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
MI	0,5	0,5	1,25	1,25	0,5	1,25	1,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25
I	1,25	1,25	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1

- **ETAPA 6.2: Construção da matriz de concordância.**

Calculados todos os graus de concordância, GC_{ij} , entre cada par de especialistas E_i e E_j , foi construída a matriz de concordância, MC, representada na Tabela 14.

Tabela 14 – Matriz de concordância entre os especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

E_i/E_j	E_1/E_1	E_2/E_2	E_3/E_3	E_4/E_4	E_5/E_5	E_6/E_6	E_7/E_7	E_8/E_8	E_9/E_9	E_{10}/E_{10}	E_{11}/E_{11}	E_{12}/E_{12}
E_i/E_1	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_2	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_3	0,2	0,2	1	1	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2	1
E_i/E_4	0,2	0,2	1	1	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2	1
E_i/E_5	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_6	0,2	0,2	1	1	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2	1
E_i/E_7	0,2	0,2	1	1	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2	1
E_i/E_8	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_9	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_{10}	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_{11}	1	1	0,2	0,2	1	0,2	0,2	1	1	1	1	0,2
E_i/E_{12}	0,2	0,2	1	1	0,2	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2	1

Neste exemplo, observou-se que todos os graus de concordância possuem valores não nulos, ou seja, há concordância entre todos os especialistas na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Neste trabalho, uma pequena quantidade de valores $GC_{ij} = 0$ na avaliação dos indicadores foi considerada, ou seja, decidiu-se não fazer ajustes para a convergência das opiniões e utilizou-se as informações originais da pesquisa, uma vez que isto é possível no método. Com este procedimento, os graus de concordância nulos, de um dado especialista, reduzirão a importância desse especialista no julgamento final do indicador avaliado.

- **ETAPA 6.3: Cálculo da concordância relativa.**

Por meio dos dados obtidos da matriz de concordância, calculou-se a concordância relativa (CR_i) de cada especialista envolvido na avaliação pela Equação 3.3. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$CR_1 = \sqrt{\frac{1}{12-1} \cdot (1^2 + 1^2 + 0,2^2 + 0,2^2 + 1^2 + 0,2^2 + 0,2^2 + \dots + 0,2^2)} = 0,8090$$

A Tabela 15 apresenta os valores da concordância relativa de cada especialista.

Tabela 15 – Valores da concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Especialistas	CR_i
1	0,8090
2	0,8090
3	0,6928
4	0,6928
5	0,8090
6	0,6928
7	0,6928
8	0,8090
9	0,8090
10	0,8090
11	0,8090
12	0,6928
Total	9,1270

- **ETAPA 6.4: Cálculo do grau de concordância relativa.**

O grau de concordância relativa (GCR_k), de cada especialista, em relação aos demais especialistas, foi obtido pela Equação 3.4. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$GCR_1 = \frac{0,8090}{9,1270} = 0,0886$$

A Tabela 16 apresenta os valores do grau de concordância relativa de cada especialista.

Tabela 16 – Valores do grau de concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Especialistas	GCR_k
1	0,0886
2	0,0886
3	0,0759
4	0,0759
5	0,0886
6	0,0759
7	0,0759
8	0,0886
9	0,0886
10	0,0886
11	0,0886
12	0,0759

- **ETAPA 6.5: Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas.**

O coeficiente de consenso de cada especialista (CCE_k), considerando tanto o grau de concordância relativa (GCR_k), quanto o grau de importância do especialista (GIE_k) foi obtido pela Equação 3.5. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$CCE_1 = \frac{0,0886 \cdot 0,1051}{0,08315} = 0,1120$$

A Tabela 17 apresenta os valores do coeficiente de consenso de cada especialista.

Tabela 17 – Valores do coeficiente de consenso de cada especialista na avaliação do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

Especialistas	CCE_k
1	0,1120
2	0,0893
3	0,0985
4	0,0467
5	0,1090
6	0,0894
7	0,0505
8	0,0651
9	0,0681
10	0,0636
11	0,1029
12	0,1050

- **ETAPA 6.6: Determinação do valor *fuzzy* do indicador “Recursos Materiais”.**

O resultado da avaliação do indicador “Recursos Materiais”, relativo ao princípio da engenharia de resiliência “Comprometimento da Alta Direção”, é dado por N , calculado pela Equação 3.6, que também é um número *fuzzy* triangular.

$$N = \{[0,1120 \cdot n_{11}] + \dots + [0,1050 \cdot n_{12}]\}$$

$$N = \{[(0,1120 \cdot 2,00) + \dots + (0,1050 \cdot 1,00)];$$

$$[(0,1120 \cdot 3,00) + \dots + (0,1050 \cdot 2,00)];$$

$$[(0,1120 \cdot 3,00) + \dots + (0,1050 \cdot 3,00)]\}$$

$$N = (1,61; 2,61; 3,00)$$

Este número *fuzzy* N é representado na Figura 35.

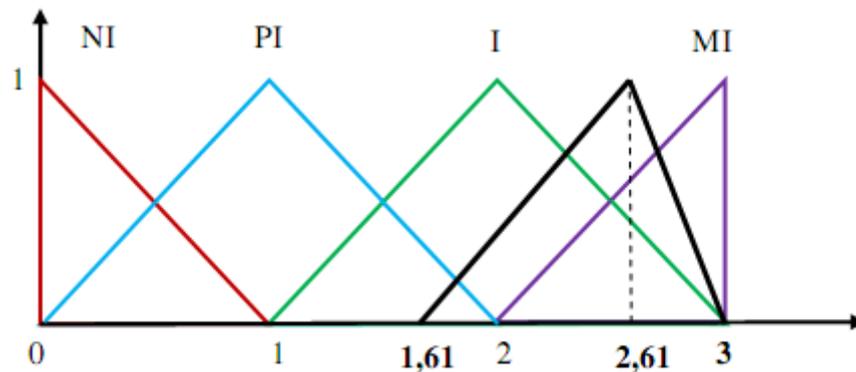


Figura 35: Função de pertinência do indicador “Recursos Materiais” do princípio “Comprometimento da Alta Direção”.

A Tabela 18 apresentada na etapa 7, mostra o resultado da avaliação de todos os indicadores utilizados nesta aplicação.

- **ETAPA 7: Estabelecimento do padrão de resiliência para o processo de expedição de radiofármacos.**

O padrão de resiliência para o processo de expedição de radiofármacos foi obtido por meio do cálculo grau de importância de cada indicador que compõe cada princípio da engenharia de resiliência. O grau de importância de cada indicador (GII_i) é calculado pela normalização dos valores *crisp* desses indicadores, utilizando a Equação 3.7.

A Tabela 18 mostra a avaliação dos indicadores de cada princípio da engenharia de resiliência para o processo de expedição de radiofármacos. Os valores do grau de importância de cada indicador (GII) formam um padrão de resiliência (conjunto *fuzzy*) para o processo de expedição de radiofármacos. Desta forma, obtivemos uma base de referência para a avaliação da resiliência deste domínio organizacional.

A Tabela 19 mostra os valores em ordem decrescente de grau de importância desses indicadores, ou seja, a hierarquização dos indicadores.

Tabela 18 – Avaliação dos indicadores para o processo de expedição de radiofármacos.

Indicadores	Número <i>fuzzy</i>			GII
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
Comprometimento da Alta Direção				
1.1 Recursos Humanos	1,51	2,51	3,00	0,893
1.2 Recursos Materiais	1,61	2,61	3,00	0,929
1.3 Compromisso com a Segurança	1,51	2,51	3,00	0,893
1.4 Política de Segurança	1,21	2,21	3,00	0,786
1.5 Objetivos de Segurança	1,47	2,47	2,97	0,879
1.6 Treinamentos	1,81	2,81	3,00	1,000
1.7 Identificação de Competências	1,06	2,06	2,89	0,733
Aprendizagem				
2.1 Comunicação	1,20	2,20	2,89	0,827
2.2 Conteúdo das Informações	1,15	2,15	2,95	0,808
2.3 Execução das Tarefas	1,49	2,49	2,85	0,936
2.4 Práticas Reais de Trabalho	1,35	2,35	2,85	0,883
2.5 Adaptações Locais	1,51	2,51	3,00	0,944
2.6 Conteúdo das Documentações	1,61	2,61	3,00	0,981
2.7 Disponibilidade das Documentações	1,37	2,37	2,95	0,891
2.8 Investigações de Incidentes	1,66	2,66	3,00	1,000
2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes	1,04	2,04	3,00	0,767
Flexibilidade				
3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas	1,65	2,65	2,92	0,964
3.2 Flexibilidade das Atividades	1,29	2,29	2,85	0,833
3.3 Reconhecimento Profissional	1,23	2,23	3,00	0,811
3.4 Limites do Trabalho Seguro	1,42	2,42	2,95	0,880
3.5 Relatos das Adaptações	1,63	2,63	3,00	0,956
3.6 Incorporação de Adaptações	1,75	2,75	3,00	1,000
Consciência				
4.1 Relatos de Problemas	1,65	2,65	2,89	1,000
4.2 Informações de Segurança	1,60	2,60	3,00	0,981
4.3 Mecanismos de Comunicação	1,16	2,16	2,81	0,815
4.4 Disponibilidade para Substituições	0,84	1,84	2,53	0,694
4.5 Carga de Trabalho	1,28	2,28	3,00	0,860
4.6 Trabalho em Equipe	1,36	2,36	2,95	0,891
4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas	1,28	2,28	3,00	0,860
4.8 Compreensão das Limitações	1,49	2,49	2,97	0,940
4.9 Manutenção Preventiva	1,40	2,40	3,00	0,906
4.10 Identificação de Perigos	1,42	2,42	3,00	0,913
Cultura de Justiça				
5.1 Relato de Desvios/Erros	1,28	2,28	2,93	0,870
5.2 Entendimento dos Erros	1,11	2,08	2,85	0,794
5.3 Percepção dos Erros	1,23	2,23	2,93	0,851
5.4 Ações não Punitivas	1,11	2,02	2,79	0,771
5.5 Opinião da Equipe nas Investigações	1,62	2,62	2,98	1,000
Preparação para os problemas				
6.1 Plano de Resposta à Emergência	1,49	2,49	3,00	0,883
6.2 Identificação de Riscos	1,73	2,73	3,00	0,968
6.3 Equipamentos de Segurança	1,56	2,56	3,00	0,908
6.4 Sistemas de Alarmes	1,60	2,60	3,00	0,922
6.5 Procedimentos Proativos	1,82	2,82	3,00	1,000
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	1,53	2,53	3,00	0,897

Tabela 19 - Valores em ordem decrescente de grau de importância dos indicadores para o processo de expedição de radiofármacos.

Indicadores	GII
Comprometimento da Alta Direção	
Treinamentos	1,000
Recursos Materiais	0,929
Recursos Humanos	0,893
Compromisso com a Segurança	0,893
Objetivos de Segurança	0,879
Política de Segurança	0,786
Identificação de Competências	0,733
Aprendizagem	
Investigações de Incidentes	1,000
Conteúdo das Documentações	0,981
Adaptações Locais	0,944
Execução das Tarefas	0,936
Disponibilidade das Documentações	0,891
Práticas Reais de Trabalho	0,883
Comunicação	0,827
Conteúdo das Informações	0,808
Responsabilidade das Investigações de Incidentes	0,767
Flexibilidade	
Incorporação de Adaptações	1,000
Capacidade de Controlar Situações Imprevistas	0,964
Relatos das Adaptações	0,956
Limites do Trabalho Seguro	0,880
Flexibilidade das Atividades	0,833
Reconhecimento Profissional	0,811
Consciência	
Relatos de Problemas	1,000
Informações de Segurança	0,981
Compreensão das Limitações	0,940
Identificação de Perigos	0,913
Manutenção Preventiva	0,906
Trabalho em Equipe	0,891
Carga de Trabalho	0,860
Tarefas e Habilidades das Pessoas	0,860
Mecanismos de Comunicação	0,815
Disponibilidade para Substituições	0,694
Cultura de Justiça	
Opinião da Equipe nas Investigações	1,000
Relato de Desvios/Erros	0,870
Percepção dos Erros	0,851
Entendimento dos Erros	0,794
Ações não Punitivas	0,771
Preparação para os problemas	
Procedimentos Proativos	1,000
Identificação de Riscos	0,968
Sistemas de Alarmes	0,922
Equipamentos de Segurança	0,908
Treinamentos de Resposta à Emergência	0,897
Plano de Resposta à Emergência	0,883

Com base nos dados da Tabela 18, observa-se que apenas o indicador “Disponibilidade para Substituições” do princípio “Consciência” não está no intervalo de I (importante) e MI (muito importante), segundo o conjunto de termos linguísticos da Tabela 3. Isto enfatiza a importância dos indicadores estabelecidos para o processo de expedição dos radiofármacos.

Com base nos dados da Tabela 19, podemos destacar os seguintes aspectos da avaliação de cada princípio da engenharia de resiliência:

Comprometimento da Alta Direção

O indicador “Treinamentos” possui o maior grau de importância entre os especialistas. Isto pode ser explicado porque, um programa de treinamento adequado é fundamental para capacitar, habilitar e motivar os trabalhadores para lidar com as variabilidades e as pressões temporais do processo de expedição de radiofármacos.

O indicador “Identificação de Competências” é o que apresentou o menor grau de importância. Isto pode ser atribuído ao fato, que por ser uma instituição do governo federal, a contratação de servidores se faz por meio de concursos públicos cujos editais, muitas vezes, não respeitam a demanda do setor.

Aprendizagem

O indicador “Investigações de Incidentes” é o que apresenta o maior grau de importância. Esta avaliação pode ser entendida apoiando-se em HOLLNAGEL e WOODS (2006), que argumentam que uma investigação de incidentes, sobretudo em sistemas complexos, com enfoque sociotécnico, proporciona uma análise mais próxima da realidade complexa de interações mútuas entre os trabalhadores, a tecnologia e o trabalho.

O indicador “Responsabilidade das Investigações de Incidentes” foi considerado de menor importância. Como a responsabilidade da investigação de incidentes desta instalação é da Coordenação de Segurança e Proteção Radiológica, composta por uma equipe de especialistas em radioproteção, segurança e saúde do trabalhador (equipe multidisciplinar), provavelmente os possíveis impactos desse indicador no processo de

expedição de radiofármacos, foram visualizados pelos especialistas de forma secundária.

Flexibilidade

O indicador “Incorporação de Adaptações” apresenta o maior grau de importância entre os especialistas, uma vez que é bastante relevante considerar as adaptações bem sucedidas para lidar com as variabilidades e as pressões temporais no processo de expedição de radiofármacos.

Por outro lado, o indicador “Reconhecimento Profissional” possui o menor grau de importância. Como os trabalhadores do processo possuem um tempo de experiência em torno de 20 anos, são treinados e desempenham a mesma função, provavelmente os possíveis impactos desse indicador no processo de expedição de radiofármacos, foram considerados menos importante pelos especialistas.

Consciência

O indicador “Relatos de Problemas” foi o que apresentou maior grau de importância. Esta avaliação pode ser entendida pela preocupação de se ter toda a força de trabalho consciente e alerta sobre eventuais problemas no processo, para que se consiga expedir em tempo hábil os radiofármacos.

O indicador “Disponibilidade para Substituições” apresentou grau de importância mais baixo. Visto que todos os trabalhadores desempenham a mesma função e em equipe, esse indicador não se torna tão importante quanto os outros.

Cultura de Justiça

O indicador “Opinião da Equipe nas Investigações” foi o que teve maior relevância entre os especialistas. Realmente, a opinião da equipe nas investigações e análises de incidentes, de forma sistêmica, é muito importante para se conhecer

profundamente as condições de funcionamento do sistema sociotécnico em que se deu o evento.

O indicador “Ações não Punitivas” foi o que teve a menor relevância. É provável que este baixo escore seja devido ao fato da força de trabalho do processo ser qualificada, experiente e responsável. Por este motivo, provavelmente, os impactos deste indicador não foram considerados pertinentes para o processo.

Preparação para os problemas

Para este princípio, o indicador “Procedimentos Proativos” é o que apresenta o maior grau de importância. Segundo WOODS (2006), esta tendência pode ser entendida pela preocupação das organizações que lidam com tecnologia perigosa em gerir a segurança com enfoque sociotécnico e sistêmico por meio de um monitoramento proativo das condições de segurança no trabalho.

O indicador “Plano de Resposta à Emergência” é o que apresenta o grau de importância mais baixo. Isto pode ser justificado porque a instalação possui um Plano Geral de Emergência (PGE) segundo recomendações da Comissão Nacional de Energia Nuclear e da Agência Internacional de Energia Atômica. Sendo assim, esse indicador não foi considerado relevante para o processo de expedição de radiofármacos.

5.3 Avaliação da Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos

Nesta etapa da aplicação método, os trabalhadores do processo de expedição de radiofármaco julgaram o conjunto de indicadores de cada princípio, considerando as condições em que o setor do processo se encontra. Os resultados deste julgamento foram confrontados com o padrão de resiliência estabelecido na seção anterior, gerando-se graus (índices) de atendimento aos princípios da engenharia de resiliência, a fim de avaliar a resiliência deste domínio organizacional. Esses índices medem o quanto o processo de expedição de radiofármaco atinge percentualmente, o padrão ideal

estabelecido, que tem índice igual a 1. As etapas da aplicação desta etapa do método são apresentadas a seguir.

- **ETAPA 1: Escolha dos termos linguísticos e funções de pertinência.**

Nesta etapa, para avaliar os graus (índices) de atendimento dos indicadores no processo de expedição de radiofármacos, foram utilizados os termos linguísticos e as funções de pertinências apresentadas na Figura 19 e na Tabela 7, no Capítulo 3.

- **ETAPA 2: Julgamento dos indicadores no processo de expedição de radiofármacos.**

Nesta etapa foi utilizada uma planilha (Apêndice 3), elaborada com base nos indicadores, para registrar às percepções dos trabalhadores do processo de expedição de radiofármacos sobre suas condições de trabalho. Essas percepções, traduzidas nos termos linguísticos (métricas subjetivas), foram as avaliações dos indicadores, ou seja, o resultado foi o grau de concordância do comportamento de cada um dos indicadores no processo de expedição de radiofármacos.

A avaliação (o preenchimento da planilha) foi realizada por cada trabalhador acompanhado pelo autor deste trabalho a fim de evitar distorções e dúvidas no decorrer desta etapa. Sete trabalhadores (T₁ a T₇) realizaram a avaliação, porque um trabalhador se encontrava em período de férias. O resultado desta avaliação é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultado da avaliação dos indicadores pelos trabalhadores.

Indicadores	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅	T₆	T₇
Comprometimento da Alta Direção							
1.1 Recursos Humanos	CT	DT	DP	CT	DT	CT	DT
1.2 Recursos Materiais	CP	DT	CP	CT	DT	CT	DP
1.3 Compromisso com a Segurança	DP	DP	CP	DP	CP	CP	CP
1.4 Política de Segurança	NCND	DP	CP	DP	NCND	DP	DP
1.5 Objetivos de Segurança	DP	DP	CT	DP	CP	DP	NCND
1.6 Treinamentos	DT	DP	CP	CP	DT	DT	DT
1.7 Identificação de Competências	NCND	DT	CT	CP	CP	DP	DT
Aprendizagem							
2.1 Comunicação	CP	CP	CP	DP	CT	CT	CP
2.2 Conteúdo das Informações	NCND	DP	CP	DP	NCND	CP	CP
2.3 Execução das Tarefas	DP	DP	CP	DP	CP	DP	DP
2.4 Práticas Reais de Trabalho	DP	DT	DP	DP	CT	DP	CP
2.5 Adaptações Locais	DP	CT	CP	DP	CT	DP	CP
2.6 Conteúdo das Documentações	CP	CP	CP	DP	CT	DP	CT
2.7 Disponibilidade das Documentações	CT	CP	CP	CT	CT	CP	CT
2.8 Investigações de Incidentes	CT	DP	DP	DP	CT	DP	DP
2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes	NCND	DT	CP	DP	CP	DP	DP
Flexibilidade							
3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas	DT	DP	NCND	NCND	DT	DT	DT
3.2 Flexibilidade das Atividades	CP	DT	CP	CP	CT	CT	CT
3.3 Reconhecimento Profissional	CP	CP	NCND	NCND	CT	CP	CT
3.4 Limites do Trabalho Seguro	NCND	CP	CT	DP	CT	CT	CT
3.5 Relatos das Adaptações	DP	CP	CP	DP	CP	CP	CP
3.6 Incorporação de Adaptações	NCND	DP	CP	NCND	CT	NCND	NCND
Consciência							
4.1 Relatos de Problemas	CT	CP	CP	DP	CT	CP	CT
4.2 Informações de Segurança	CP	CP	NCND	CP	CT	CP	CT
4.3 Mecanismos de Comunicação	CT	CP	CP	DP	CT	CT	CT
4.4 Disponibilidade para Substituições	CP	CP	CT	DP	CT	CT	CT
4.5 Carga de Trabalho	NCND	DT	CP	CP	CP	CP	CP
4.6 Trabalho em Equipe	DP	CP	CP	NCND	CP	CP	CP
4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas	CP	CP	CP	NCND	CT	CP	CT
4.8 Compreensão das Limitações	CP	CP	CP	NCND	CT	CT	CT
4.9 Manutenção Preventiva	DT	DP	NCND	DP	CT	DT	DT
4.10 Identificação de Perigos	DT	DP	CP	DP	CP	DP	DP
Cultura de Justiça							
5.1 Relato de Desvios/Erros	DP	DP	CT	DP	CT	DT	CP
5.2 Entendimento dos Erros	CP	NCND	NCND	CP	CT	CP	NCND
5.3 Percepção dos Erros	DT	CT	NCND	DP	CT	DP	DP
5.4 Ações não Punitivas	CT	CT	NCND	CT	CT	CT	CT
5.5 Opinião da Equipe nas Investigações	NCND	CP	CT	DT	CT	CP	CP
Preparação para os problemas							
6.1 Plano de Resposta à Emergência	CP	CT	CT	CT	CP	CT	CT
6.2 Identificação de Riscos	CP	CP	CT	DP	CT	DP	CP
6.3 Equipamentos de Segurança	DP	CP	CP	CT	CT	NCND	DP
6.4 Sistemas de Alarmes	DT	CP	CP	CP	CP	CP	CP
6.5 Procedimentos Proativos	DT	DT	CP	DP	DP	DP	DT
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	DT	DP	CP	DP	DT	DT	DP

- **ETAPA 3: Tratamento dos dados coletados.**

Cada termo linguístico utilizado nesta avaliação foi representado por um número *fuzzy* triangular (Figura 19) que foi convertido em um formato numérico, um grau de atendimento (Tabela 7), que corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1.

A Tabela 21 apresenta os graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores do processo de expedição de radiofármaco.

Tabela 21 – Valores dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores.

Indicadores	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅	T₆	T₇
Comprometimento da Alta Direção							
1.1 Recursos Humanos	1,0	0,2	0,4	1,0	0,2	1,0	0,2
1.2 Recursos Materiais	0,8	0,2	0,8	1,0	0,2	1,0	0,4
1.3 Compromisso com a Segurança	0,4	0,4	0,8	0,4	0,8	0,8	0,8
1.4 Política de Segurança	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4	0,4
1.5 Objetivos de Segurança	0,4	0,4	1,0	0,4	0,8	0,4	0,6
1.6 Treinamentos	0,2	0,4	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2
1.7 Identificação de Competências	0,6	0,2	1,0	0,8	0,8	0,4	0,2
Aprendizagem							
2.1 Comunicação	0,8	0,8	0,8	0,4	1,0	1,0	0,8
2.2 Conteúdo das Informações	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,8	0,8
2.3 Execução das Tarefas	0,4	0,4	0,8	0,4	0,8	0,4	0,4
2.4 Práticas Reais de Trabalho	0,4	0,2	0,4	0,4	1,0	0,4	0,8
2.5 Adaptações Locais	0,4	1,0	0,8	0,4	1,0	0,4	0,8
2.6 Conteúdo das Documentações	0,8	0,8	0,8	0,4	1,0	0,4	1,0
2.7 Disponibilidade das Documentações	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0
2.8 Investigações de Incidentes	1,0	0,4	0,4	0,4	1,0	0,4	0,4
2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes	0,6	0,2	0,8	0,4	0,8	0,4	0,4
Flexibilidade							
3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas	0,2	0,4	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2
3.2 Flexibilidade das Atividades	0,8	0,2	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
3.3 Reconhecimento Profissional	0,8	0,8	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0
3.4 Limites do Trabalho Seguro	0,6	0,8	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0
3.5 Relatos das Adaptações	0,4	0,8	0,8	0,4	0,8	0,8	0,8
3.6 Incorporação de Adaptações	0,6	0,4	0,8	0,6	1,0	0,6	0,6
Consciência							
4.1 Relatos de Problemas	1,0	0,4	0,8	0,4	1,0	0,8	1,0
4.2 Informações de Segurança	0,8	0,4	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0
4.3 Mecanismos de Comunicação	1,0	0,4	0,8	0,4	1,0	1,0	1,0
4.4 Disponibilidade para Substituições	0,8	0,4	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0
4.5 Carga de Trabalho	0,6	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
4.6 Trabalho em Equipe	0,4	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8
4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	0,8	1,0
4.8 Compreensão das Limitações	0,8	0,8	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0
4.9 Manutenção Preventiva	0,2	0,4	0,6	0,4	1,0	0,2	0,2
4.10 Identificação de Perigos	0,2	0,4	0,8	0,4	0,8	0,4	0,4
Cultura de Justiça							
5.1 Relato de Desvios/Erros	0,4	0,4	1,0	0,4	1,0	0,2	0,8
5.2 Entendimento dos Erros	0,8	0,6	0,6	0,8	1,0	0,8	0,6
5.3 Percepção dos Erros	0,2	1,0	0,6	0,4	1,0	0,4	0,4
5.4 Ações não Punitivas	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0
5.5 Opinião da Equipe nas Investigações	0,6	0,8	1,0	0,2	1,0	0,8	0,8
Preparação para os problemas							
6.1 Plano de Resposta à Emergência	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0
6.2 Identificação de Riscos	0,8	0,8	1,0	0,4	1,0	0,4	0,8
6.3 Equipamentos de Segurança	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0	0,6	0,4
6.4 Sistemas de Alarmes	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6.5 Procedimentos Proativos	0,2	0,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,2
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	0,2	0,4	0,8	0,4	0,2	0,2	0,4

- **ETAPA 4: Defuzzificação.**

O objetivo desta etapa é obter um grau de atendimento do processo de expedição de radiofármacos aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de resiliência deste processo, que significa um índice de resiliência organizacional.

Nesta etapa, devido ao fato dos trabalhadores serem treinados para desempenharem as mesmas funções e todos possuírem um tempo de experiência no processo de expedição de radiofármacos em torno de 20 anos, considerou-se que todos os trabalhadores têm o mesmo grau de importância, ou seja, os trabalhadores foram considerados semelhantes em sua natureza e experiência profissional. Desta forma, utilizou-se a média *fuzzy* para agregar as opiniões individuais dos trabalhadores.

A média *fuzzy* é um operador de agregação bastante utilizado para agregar opiniões *fuzzy* quando não se considera a importância de cada indivíduo (DELGADO *et al.*, 1993; BUCKLEY, 1984). Por este motivo, utilizou-se este operador nesta etapa do método. O valor da média *fuzzy* de opiniões individuais, representadas por números *fuzzy* triangulares, (a, b, c) , será também um número *fuzzy* triangular, (a_m, b_m, c_m) , dado por:

$$a_m = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad b_m = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{n}, \quad c_m = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n} \quad (5.1)$$

A Tabela 22 apresenta os valores das médias *fuzzy* dos graus de atendimento dos indicadores (valores de b) de acordo com a opinião dos trabalhadores.

Considerando os valores apresentados na Tabela 22 e os valores do grau de importância dos indicadores (GII) calcularam-se, por meio do método do centro de área (Equação 3.8), os valores dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de resiliência deste processo. Esses valores são apresentados na Tabela 23.

Tabela 22 – Valores das médias *fuzzy* dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores.

Indicadores	Médias fuzzy
Comprometimento da Alta Direção	
1.1 Recursos Humanos	0,57
1.2 Recursos Materiais	0,63
1.3 Compromisso com a Segurança	0,63
1.4 Política de Segurança	0,51
1.5 Objetivos de Segurança	0,57
1.6 Treinamentos	0,40
1.7 Identificação de Competências	0,57
Aprendizagem	
2.1 Comunicação	0,80
2.2 Conteúdo das Informações	0,63
2.3 Execução das Tarefas	0,51
2.4 Práticas Reais de Trabalho	0,51
2.5 Adaptações Locais	0,69
2.6 Conteúdo das Documentações	0,74
2.7 Disponibilidade das Documentações	0,91
2.8 Investigações de Incidentes	0,57
2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes	0,51
Flexibilidade	
3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas	0,34
3.2 Flexibilidade das Atividades	0,80
3.3 Reconhecimento Profissional	0,80
3.4 Limites do Trabalho Seguro	0,83
3.5 Relatos das Adaptações	0,69
3.6 Incorporação de Adaptações	0,66
Consciência	
4.1 Relatos de Problemas	0,77
4.2 Informações de Segurança	0,77
4.3 Mecanismos de Comunicação	0,80
4.4 Disponibilidade para Substituições	0,80
4.5 Carga de Trabalho	0,69
4.6 Trabalho em Equipe	0,71
4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas	0,83
4.8 Compreensão das Limitações	0,86
4.9 Manutenção Preventiva	0,43
4.10 Identificação de Perigos	0,49
Cultura de Justiça	
5.1 Relato de Desvios/Erros	0,60
5.2 Entendimento dos Erros	0,74
5.3 Percepção dos Erros	0,57
5.4 Ações não Punitivas	0,94
5.5 Opinião da Equipe nas Investigações	0,74
Preparação para os problemas	
6.1 Plano de Resposta à Emergência	0,94
6.2 Identificação de Riscos	0,74
6.3 Equipamentos de Segurança	0,71
6.4 Sistemas de Alarmes	0,71
6.5 Procedimentos Proativos	0,37
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	0,37

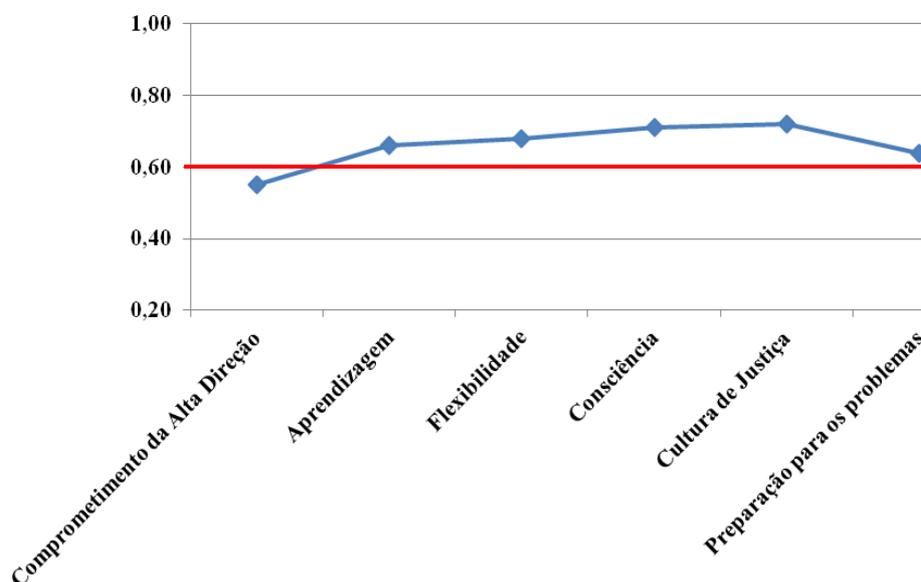
Tabela 23 – Valores dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de resiliência.

Princípios	Graus de atendimento
Comprometimento da Alta Direção	0,55
Aprendizagem	0,66
Flexibilidade	0,68
Consciência	0,71
Cultura de Justiça	0,72
Preparação para os problemas	0,64

Adicionalmente, para este trabalho, consideramos como satisfatórios os graus de atendimento que apresentaram valores maiores que 0,60, que significa um atendimento maior que 60 % aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de resiliência do processo avaliado. Isto é equivalente a fazer um corte- α robusto (*strong α -cut*), com $\alpha = 0,6$. Essa consideração é baseada na relação direta com o conjunto de termos linguísticos e funções de pertinência (Figura 19 e Tabela 7) utilizadas para avaliar os graus de atendimento dos indicadores no processo de expedição de radiofármacos. Entende-se que um valor menor que 0,6 significa discordância no atendimento dos indicadores no processo o que resulta em um não atendimento ao padrão de resiliência do processo.

A Figura 36 apresenta a representação gráfica dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de resiliência.

Figura 36: Representação gráfica dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de resiliência



Como estão mostrados na Tabela 23 e na Figura 36, os graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos apresentaram valores satisfatórios para os princípios “Aprendizagem” (0,66), “Flexibilidade” (0,68), “Consciência” (0,71), “Cultura de Justiça” (0,72) e “Preparação para os problemas” (0,64). Desta forma, apesar de alguns indicadores desses princípios apresentarem um grau de atendimento menor que 0,6, pode-se concluir que para esses princípios da engenharia de resiliência, o processo de expedição de radiofármacos está dentro do padrão de resiliência estabelecido para este processo.

Entretanto, o grau de atendimento para o princípio “Comprometimento da Alta Direção” apresentou um valor de 0,55, que é menor que o nível de aceitação (0,6). Isso evidencia que o processo de expedição de radiofármacos apresenta problemas relacionados aos indicadores desse princípio que precisam ser investigados. A partir desse resultado, pode-se afirmar que para o princípio “Comprometimento da Alta Direção”, o processo de expedição de radiofármacos está abaixo do padrão de resiliência estabelecido para este processo.

5.4 Validação e Restituição da Avaliação da Resiliência do Processo de Expedição de Radiofármacos

Segundo VIDAL (2008), esta fase de validação e restituição consiste em verificar na organização, junto aos setores analisados se os resultados obtidos correspondem à realidade, sendo esta verificação atestada pelos próprios observados. VIDAL (2008) chama de validação ao aspecto técnico e integrador deste processo e de restituição ao seu sentido deontológico e holístico.

Conforme WISNER (1993), sejam quais forem as modalidades da análise do trabalho que sejam utilizadas, é indispensável validar o trabalho de análise através de discussões com os trabalhadores.

Os resultados da aplicação do método foram apresentados aos trabalhadores e ao chefe do processo de expedição de radiofármacos. Esta equipe aprovou os resultados.

As verbalizações (falas e depoimentos) dos trabalhadores evidenciaram os problemas relacionados aos indicadores do princípio “Comprometimento da Alta Direção”, identificados pelo método. A seguir são apresentadas algumas verbalizações relevantes dos trabalhadores relacionadas aos indicadores (em negrito), que foram confirmadas pelo chefe do processo de expedição de radiofármacos:

Recursos Humanos

"A quantidade de pessoas é insuficiente."

"Existe sobrecarga de trabalho por falta de pessoas."

Recursos Materiais

"Poucos equipamentos. Faltam detectores."

"Os equipamentos funcionam, mas precisam de modernizações e revisões para obter medidas mais precisas."

Política de Segurança

"No meu entendimento, a política de segurança não está atualizada."

Objetivos de Segurança

"Não existe este acompanhamento de procedimentos e objetivos de segurança."

Treinamentos

"Os treinamentos não são oferecidos regularmente".

"Os treinamentos são raros".

"Não existem mais treinamentos."

Identificação de Competências

"Não existe procedimento, se aceita quem quiser trabalhar no setor."

Pudemos constatar junto ao chefe do processo de expedição de radiofármacos que nem ele nem os gestores da instalação nuclear têm flexibilidade e autonomia para utilizar os recursos financeiros. Por ser uma organização pública federal, eles não têm autorização para contratar pessoas para atender a crescente demanda de produção de radiofármacos, para pagar horas extras de trabalho, para comprar equipamentos, ferramentas e até mesmo utilizar recursos financeiros para treinamentos e manutenção de equipamentos. Isso faz com que os trabalhadores tenham uma percepção de que os gestores não estão comprometidos com o processo de expedição de radiofármacos.

Especificamente, constatamos ainda que estas dificuldades e limitações dos gestores da instalação nuclear foram evidenciadas pelos seguintes indicadores que apresentaram baixos valores de média *fuzzy* dos graus de atendimento (Tabela 22): "Capacidade de Controlar Situações Imprevistas" do princípio "Flexibilidade", "Manutenção Preventiva" do princípio "Consciência" e "Treinamentos de Resposta à Emergência" do princípio "Preparação para os problemas".

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este último capítulo apresenta as conclusões, as limitações da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. As conclusões, que buscam mostrar a validade e as contribuições desta tese, estão desenvolvidas quanto ao atendimento dos objetivos e hipóteses definidos e ao desenvolvimento do trabalho.

6.1 Conclusões

Para atingir o objetivo principal deste trabalho, foi utilizada a teoria *fuzzy* para estabelecer um método para avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas baseado em indicadores preditivos definidos de acordo com os princípios da engenharia de resiliência. A abordagem *fuzzy* contribuiu para suprir fraquezas de métodos que utilizam conceitos da engenharia de resiliência para tentar avaliar a resiliência organizacional. A principal fraqueza dos métodos abordados na revisão bibliográfica diz respeito à deficiência em lidar com a subjetividade e a consistência dos julgamentos humanos nas avaliações da resiliência organizacional. A utilização da lógica *fuzzy* e sua expressão nos conjuntos *fuzzy* permitiu tratar com uma fundamentação matemática sólida, medidas subjetivas obtidas a partir da opinião pessoal dos especialistas e dos trabalhadores que participaram desta pesquisa. Além disso, podemos afirmar que a abordagem *fuzzy* tornou o método prático e objetivo, o que facilitou sua aplicação. Esta abordagem é original e inédita no contexto das avaliações de resiliência organizacional.

Neste método de avaliação, inicialmente foi elaborada uma estrutura de indicadores preditivos com enfoque na engenharia de resiliência para servir de referência para avaliações da resiliência de domínios organizacionais que lidam com tecnologias perigosas. Esse enfoque é consistente com a visão sistêmica e sociotécnica, privilegiando a capacidade da organização em antecipar os perigos e falhas e se adaptar continuamente ao ambiente dinâmico e complexo em que esta organização está inserida. Já os indicadores tradicionalmente utilizados no gerenciamento da segurança são

reativos, fornecendo somente informações sobre a ocorrência de eventos indesejáveis, o que não condiz com o enfoque da engenharia da resiliência. Desta forma, a principal contribuição desta parte do método é disponibilizar para a comunidade científica referente ao assunto, uma estrutura abrangente de indicadores preditivos que abordam os seis princípios da engenharia de resiliência para avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas.

Na segunda etapa do método foi proposto um padrão de resiliência organizacional para servir de base de referência para avaliações de um domínio organizacional. As seguintes contribuições desta parte do método podem ser destacadas:

- 1) A utilização do grau de importância do especialista na área de interesse por meio de um instrumento de coleta de dados. É importante frisar que esses graus de importância podem, também, ser utilizados para avaliar e selecionar, antecipadamente o grupo de especialistas que participarão da avaliação dos indicadores. Desta forma, o padrão de resiliência organizacional pode ser ajustado em função da seleção dos especialistas.
- 2) A utilização de números *fuzzy* triangulares (funções de pertinência) para representar cada indicador preditivo dos princípios da engenharia de resiliência.
- 3) Aplicação do conceito de similaridade em tomadas de decisão, na apuração dos julgamentos dos especialistas. Deste modo, o resultado final da avaliação tende para o maior grau de consenso e não para uma tendência central. Isso significa que, quando um especialista divergir totalmente dos demais especialistas, seu estado de concordância em relação aos demais será nulo, com isso seu julgamento será automaticamente desprezado pelo método.

Na aplicação do método no setor de expedição de radiofármacos, a caracterização do contexto de trabalho e das atividades realizada por meio da modelagem ergonômica, permitiu fornecer uma visão sistêmica do modo como o trabalho ocorre. Os resultados dessa modelagem ratificaram a escolha dos indicadores e suas avaliações. É importante ressaltar que na classificação final dos 43 indicadores julgados pelos especialistas, apenas um (“Disponibilidade para Substituições” do

princípio “Consciência”) não foi classificado no intervalo dos termos linguísticos I (importante) e MI (muito importante). Isto mostra a importância e a validade dos indicadores estabelecidos para o processo de expedição dos radiofármacos.

Nesta etapa final, todos os trabalhadores do setor de expedição de radiofármacos foram considerados semelhantes em sua natureza e experiência, ou seja, todos com o mesmo grau de importância. Assim, todos os trabalhadores se consideraram importante no desenvolvimento do trabalho. Isto contribuiu para o sucesso e a sustentação da modelagem ergonômica no setor, além da harmonia durante a dinâmica desta modelagem. Pode-se afirmar que este critério resultou em uma boa construção do dispositivo social no setor.

Os resultados das avaliações no processo de expedição de radiofármacos revelaram que método possibilitou a identificação de problemas relacionados ao princípio “Comprometimento da Alta Direção”. Isso ficou evidenciado pelo grau de atendimento de 0,55, considerado menor que o nível de aceitação (0,6) especificado neste trabalho. Isto significa que para esse princípio, o processo avaliado atende em 55 % ao padrão de resiliência desse processo. Cabe salientar que este nível de aceitação pode ser modificado de acordo com as necessidades de avaliação.

Como evidência do resultado, a maioria dos indicadores do princípio “Comprometimento da Alta Direção” apresentaram valores de médias *fuzzy* dos graus de atendimento menores que 0,6.

Na etapa de validação e restituição foi possível identificar uma série de questões que explicam esse fato. Ficou claro que, por ser uma organização pública federal, os gestores da instalação nuclear e do processo expedição de radiofármacos não possuem autonomia e flexibilidade para lidar com recursos financeiros, o que dificulta e até impede a contratação de pessoas, compra e manutenção de equipamentos e a alocação de recursos financeiros para treinamentos. Isso fez com os trabalhadores tivessem uma percepção de que os gestores não estão comprometidos com o processo de expedição de radiofármacos. Essas questões também ficaram evidenciadas nos resultados dos indicadores “Capacidade de Controlar Situações Imprevistas” do princípio “Flexibilidade”, “Manutenção Preventiva” do princípio “Consciência” e “Treinamentos de Resposta à Emergência” do princípio “Preparação para os problemas”.

Desta forma, podemos afirmar que este método de avaliação da resiliência apontou não apenas as situações que podem levar o processo de expedição de radiofármacos ao insucesso, mas as situações normais de trabalho que estão de acordo

com os princípios da engenharia de resiliência. Esses resultados poderão ser utilizados na melhoria das condições de trabalho e de segurança do processo, possibilitando uma gestão mais efetiva da segurança. Portanto, o método pode ser considerado uma ferramenta de monitoramento de forma objetiva e pró-ativa das condições de trabalho de um domínio organizacional.

Podemos acrescentar que além da aplicação prática dos princípios da engenharia de resiliência, a metodologia utilizada neste trabalho de tese permitiu uma visão sistêmica do processo. Com a utilização de uma metodologia participativa, as percepções dos trabalhadores nas avaliações podem influenciar e guiar os gestores na melhoria da segurança no processo.

Finalmente, a partir dos resultados obtidos pela aplicação do método, torna-se claro que este método pode ser aplicado em qualquer organização considerada de segurança crítica (nuclear, aeronáutica, farmacêutica), desde que os indicadores e suas avaliações sejam modificados de acordo com as características organizacionais.

6.2 Limitações da Pesquisa e Sugestões para Trabalhos Futuros

O cenário da aplicação do método foi um fator limitante dessa pesquisa. Caso o processo completo de produção de radiofármacos fosse estudado, provavelmente teria sido possível a identificação de um maior número de pontos fortes e fracos de atendimento aos princípios da engenharia de resiliência. Esta avaliação mais abrangente, além de contribuir para a reestruturação das práticas de segurança na produção de radiofármacos, valorizaria a contribuição prática do método.

Considerando que o enfoque da engenharia de resiliência é relativamente recente, bem como assumindo que o mesmo ainda não é disseminado na indústria, pode-se considerar que ausência de um vasto referencial bibliográfico voltado aos princípios da engenharia de resiliência também se caracterizou um fator limitador nesta pesquisa.

Outro fator limitante da pesquisa foi a escassez de referencial teórico para estabelecimento de graus de importância para cada um dos subitens do instrumento de coleta de dados para identificação do perfil do especialista. Isto é um aspecto importante para obter valores finais consistentes com a avaliação dos especialistas.

Como sugestões para trabalhos futuros, podemos destacar:

- 1) Aplicação periódica deste método no processo de expedição de radiofármacos para avaliar se ações corretivas alteraram os índices de resiliência organizacional.
- 2) Utilização deste método em outras organizações consideradas de segurança crítica, para testar a sua aplicabilidade.
- 3) Desenvolvimento de um *software* para automatizar o uso do método, tornando uma ferramenta de fácil utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERSON, D. L.; DOYLE, J. C. “Contrasting views of complexity and their implications for network-centric infrastructures”. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics - Part A: Systems and humans*, v. 40, n. 4, pp. 839-852, 2010.
- AYYUB, B. M.; KLIR, G. J. *Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences*. Boca Raton, FL, Chapman & Hall/CRC, 2006.
- AKSELSSON, R.; KOORNNEEF, F.; STEWART, S.; WARD, M. *Resilience Safety Culture*. In: World Congress on Ergonomics, Beijing, China, 2009.
- ALE, B. “More thinking about process safety indicators”. *Safety Science*, v. 47, pp.470-471, 2009.
- ALMEIDA, I. M. “Abordagem sistêmica de acidentes e sistemas de gestão de saúde e segurança do trabalho”. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v. 1, n. 2, 2006.
- AMALBERTI, R. *La conduite des systèmes à risque*. Paris: Press Universitaires de France, 1996.
- BELCHIOR, A. D. *Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de software*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 1997.
- BRACCO F.; BRUNO A.; SOSSAI, D. *Improving Resilience through Practitioners’ Well-being: An Experience in Italian Health-care*. In: HOLLNAGEL, E; RIGAUD, E.; BESNARD, D. *Proceeding of the fourth Resilience Engineering Symposium*. Sophia Antipolis, França, MINES ParisTech: 2011.
- BUCKLEY, J. J. “The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach”. *Fuzzy Sets and Systems*, v.13, pp.25-37, 1984.
- BUCKLEY, W. *Society as a Complex Adaptive System*. Modern Systems Research for the Behavioral Scientist, pp. 493. Chicago: Aldine Publishing Company, 1968.
- CACCIABUE, P. C. “Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training”. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 83, pp. 229-240, 2004.
- CARDOSO E. M. *Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear*. Rio de Janeiro: CNEN, 1999. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2012.
- CARVALHO, P. V. R. “The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a mid-air collision to understand some characteristics of the air traffic management system”. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 96, pp. 1482-1498, 2011.

- CARVALHO, P. V. R.; GOMES, J. O.; HUBER, G. J.; VIDAL, M. C. “Normal people working in normal organizations with normal equipment: System safety and cognition in a mid-air collision”. *Applied Ergonomics*, v. 40, pp. 325-340, 2009.
- CASALI, A. *Comunicação Organizacional: Considerações Epistemológicas*. In: Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Curitiba, PR, 2004.
- CHAMOVITZ, I.; COSENZA, C. A. N. *Lógica Fuzzy: Alternativa viável para projetos complexos no Rio de Janeiro*. In: XIV PROFUNDÃO, Rio de Janeiro, 2010.
- CHIALASTRI, A. *Resilience and ergonomics in aviation*. In: HOLLNAGEL, E.; RIGAUD, E.; BESNARD, D. *Proceeding of the fourth Resilience Engineering Symposium*. Sophia Antipolis, França, MINES ParisTech: 2011.
- CHISTOFFERSEN, K.; WOODS, D. *How complex human-machine systems fail: putting “human error” in context*. In: KARWOWSKI, W.; MARRAS, W. S. *The occupational ergonomics handbook*. Boca Raton: CRC Pres, pp.585-600, 1999.
- COLLIS, J; HUSSEY, R. *Pesquisa em Administração*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- COSENZA, C. A. N. *An Industrial Location Model*. Working Paper. Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge: Cambridge University: 1981.
- COOK, R.; NEMETH, N. *Taking things in stride: cognitive features of two resilient performances*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- COOK, R.; WOODS, D. *Distance through differencing: An obstacle to organizational learning following accidents*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- CORREA, B. Q.; MORÉ, J. D. *Aplicação de um modelo fuzzy na definição das falhas humanas na logística operacional do mercado atacadista distribuidor de materiais de construção: um estudo de caso*. In: XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais – SIMPOI, FGV-EASP, São Paulo, 2009.
- DE CICCIO, F. *Custos de acidentes*. São Paulo: Fundacentro, 1988.
- DEKKER, S. *The field guide to human error investigation*. Great Britain: Ashgate, 2002.
- DEKKER, S. *Ten Questions About Human Error – A New View of Human Factors and System Safety*. Lawrence Erlbaum Associates, Taylor & Francis Group, 2005.
- DEKKER, S. *Resilience Engineering: Chronicling the Emergence of Confused Consensus*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- DEKKER, S. *Drift into failure: From hunting broken components to understanding complex systems*. Aldershot, UK: Ashgate, 2011.

- DELGADO, M., VERDEGAY, J. L.; VILA, M. A. "On aggregation operations of linguistic labels". *International Journal of Intelligent Systems*, v. 8, pp. 351-370, 1993.
- DUARTE, F. J. C. M.; VIDAL, M. C. R. *Uma Abordagem Ergonômica da Confiabilidade e a Noção de Modo Degradado de Funcionamento*. In: FREITAS, C. M., PORTO, M. F. S. e MACHADO, J. M. H. *Acidentes Industriais Ampliados – Desafios e Perspectivas para o Controle e a Prevenção*, Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000.
- EPRI – ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. *Guidelines for leading indicators of human performance*. Palo Alto, CA: 1999.
- EPRI – ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. *Guidelines for trial use of leading indicators of human performance: the human performance assistance package*. Palo Alto, CA: 2000.
- EPRI – ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. *Final report on leading indicators of human performance*. Palo Alto, CA: 2001.
- FLIN, N. *Erosion of managerial Resilience: From Vasa to NASA*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 1999.
- GUIMARÃES, L. B. M.; COSTELLA, M. F. *Segurança no trabalho: acidentes, cargas e custos humanos*. In: GUIMARÃES, L. B. M. *Ergonomia de Processo*. v. 2, 4ª ed., cap. 4. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2004.
- GRECCO, C. H. S.; SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; OLIVEIRA, M. V.; MOL, A. C. A. *Human factors questionnaire as a tool for risk assessment*. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M. C.; BONFATTI, R. *Análise ergonômica do trabalho no setor de expedição de radiofármacos de um instituto de pesquisas do governo federal*. In: XVI Congresso Brasileiro de Ergonomia - ABERGO 2010, Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. R.; SANTOS, I. J. A. L. *Leading Safety Performance Indicators for Resilience Assessment of Radiopharmaceuticals Production Processes*. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2011, Rio de Janeiro, RJ, 2011a.
- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. R.; FARIAS, M. S.; OLIVEIRA, M. V.; SANTOS, I. J. A. L. *A Ergonomia na Automatização do Processo de Monitoração de Radiofármacos de um Instituto de Pesquisa*. In: XXIII Congresso da Associação Latino-americana de Sociedades de Biologia e Medicina Nuclear - ALASBIMN BRASIL 2011, Porto de Galinhas, Pernambuco, 2011b.

- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M.C.; FARIAS, M. S.; OLIVEIRA, M. V.; SANTOS, I. L.; CARVALHO, P. V. R. “A ergonomia em projetos de automatização: estudo de caso no setor de expedição de radiofármacos de um instituto de pesquisas do governo federal”. *Ação Ergonômica*, v. 6, pp. 79-93, 2011c.
- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M. C.; SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R. “A method to assess safety and resilience in radiopharmaceuticals production process”. *Work (Reading, MA)*, v. 41, pp. 5838-5843, 2012a.
- GRECCO, C. H. S.; VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. R. *Using fuzzy set theory to model resilience in safe-critical organizations*. In: 4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics – AHFE 2012, San Francisco, California, USA, 2012b.
- GREENBAUM, K. B.; JACKSON, D. H.; Mc KEON, N. I. *Communication for a change*. Marsh & McLennan Companies, 1998.
- HALE, A.; GULDENMUND, F.; GOOSSENS, L. *Auditing resilience in risk control and safety management systems*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- HALE, A.; HEIJER, T. *Is resilience really necessary? The case of railways*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- HEINRICH, H. W. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. New York: McGraw Hill, 1959.
- HERRERA, I. A.; HOVDEN, J. *Leading Indicators applied to Maintenance in the Framework of Resilience Engineering: A Conceptual Approach*. In: HOLLNAGEL, E.; PIERI, F.; RIGAUD, E. *Proceeding of the Third Resilience Engineering Symposium*. École des Mines de Paris, France, 2008.
- HERRERA, I. A.; WOLTJER, R. “Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident investigation”. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 95 (12), pp. 1269-1275, 2010.
- HOLLNAGEL, E. *Barrier analysis and accident prevention*. Aldershot, UK: Ashgate, 2004.
- HOLLNAGEL, E. *The Challenge of the Unstable*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- HOLLNAGEL, E. *Safety Management – Looking Back or Looking Forward*. In: HOLLNAGEL, E.; NEMETH, C.; DEKKER, S. *Remaining the Sensitive to the Possibility of Failure - Resilience Engineering Perspectives*, Vol. 1., Ashgate Studies in Resilience Engineering, 2008.
- HOLLNAGEL, E. *Prologue: The Scope of Resilience Engineering*. In: HOLLNAGEL, E.; PARIÈS J.; WOODS, D.; WREATHALL, J. *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*. MPG Books Group, UK: Ashgate, 2011a.

- HOLLNAGEL, E. *Epilogue: RAG –The Resilience Analysis Grid*. In: HOLLNAGEL, E.; PARIÈS J.; WOODS, D.; WREATHALL, J. *Resilience Engineering in Practice: A Guidebook*. MPG Books Group, UK: Ashgate, 2011b.
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. *Joint cognitive systems: An introduction to cognitive systems engineering*. London: Taylor & Francis, 2005
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. *Resilience engineering precepts*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- HSE – HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. *A review of safety culture and safety climate literature for the development of safety culture inspection toolkit*. Research Report 357, Norwich, HMSO, 2005.
- HSE – HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. *Developing process safety indicators: A step-by-step guide for chemical and major hazard industries*. HSE Books: 2006.
- HSU, H. M.; CHEN, C. T. “Aggregation of fuzzy opinions under group decision making”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 79, pp. 279-285, 1996.
- HUBER, G. *Um método para desenvolvimento de indicadores de resiliência em organizações*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, NCE, 2010.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Operational safety performance indicators for nuclear power plants*. Vienna, IAEA: 2000.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *A systematic approach to human performance improvement in nuclear power plants: training solutions*. Vienna, IAEA: 2001.
- IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Advances in medical radiation imaging for cancer diagnosis and treatment*. Vienna, IAEA: 2006.
- ISHIKAWA A.; AMAGASA, M.; SHIGA, T.; TOMIZAWA, G.; TATSUTA, R.; MIENO, H. “The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 55, pp. 241-253, 1993.
- JACKSON, S. *Architecting Resilient Systems: Accident Avoidance and Survival and Recovery from Disruptions*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- KARWOWSKI, W. *Applications of fuzzy set theory in human factors*. USA: Elsevier, 1986.
- KJELLÉN, U. “The safety measurement problem revisited”. *Safety Science*, v. 47, pp. 486-489, 2009.

- KOSKO, B. *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
- LEE, H. M. “Group decision making using fuzzy theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 80, pp. 261-271, 1996.
- LEPLAT, J. *Work Analysis in Ergonomic Psychology: A collection of texts*. Toulouse, Octarès éd, 1992.
- LEPLAT, J. *Quelques aspects de la complexité en ergonomie*. In: DANIELLOU, F. *L'Ergonomie en quête de ses principes*. Débats épistémologiques. Toulouse, Octarès éd, pp. 57-76, 1996.
- LEVESON, N. G.; MARAIS K.; SALEH, J. H. “Archetypes for organization safety”. *Safety Science*, v. 44, pp. 565-582, 2006.
- LIANG, G. S; WANG, M. J. “A fuzzy multi-criteria decision-making method for facility site selection”. *Int. J. Prod. Res.*, v. 29, n. 11, pp. 2313-2330, 1991.
- MARTINO, J. P. *Technological Forecasting for Decision Making*. New York: Elsevier, 1983.
- MARTINS, G. M. *Uma contribuição ao gerenciamento de risco da segurança dos sistemas de transporte: um modelo fuzzy-hierárquico para a avaliação do nível de ameaça intencional a um sistema*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2008.
- MARTINS JR., M.; CARVALHO, P. V. R.; VIDAL, M. C.; GRECCO, C. H. S.; BASTOS, B.; PACHECO, R. “A necessidade de novos métodos para análise de acidentes de trabalho na perícia judicial”. *Revista Produção. Print version* ISSN 0103-6513. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000035>, 2011. Acesso em: 23 de fevereiro de 2011.
- MEARNS, K. “From reactive to proactive – can LPIs deliver?” *Safety Science*, v. 47, pp. 491–492, 2009.
- MESQUITA, C. H. *Metodologia e Aplicações de Radioisótopos: Radiofarmácia*. Faculdades de Ciências Farmacêuticas da USP, São Paulo, 2004. Disponível em <http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/LinkAula/My-Files/radiofarmacia.htm>. Acesso em: 19 de março de 2012.
- MORÉ, J. D. *Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.
- NEAL, A.; GRIFFIN, M. A.; HART, P. M. “The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior”. *Safety Science*, v. 34(1–3), pp. 99-109, 2000.

- NUNES, I. L. “Handling Human-Centered Systems Uncertainty Using Fuzzy Logics – A Review”. *The Ergonomics Open Journal*, v. 3, pp. 38-48, 2010.
- OLIVEIRA JR., H. M. *Lógica Difusa – Aspectos Práticos e Aplicações*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1999.
- OLIVEIRA, R. S.; LEÃO, A.M.A.C. “História da Radiofarmácia e as Implicações da Emenda Constitucional N. 49”. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 44, n. 3, *Print version* ISSN 1516-9332, 2008.
- PARENTONI, E. M. M. *A Qualidade do Transporte Aéreo de Carga Perigosa Radioativa e seu Impacto no Sistema Logístico através de uma Visão Sistêmica*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.
- PEDRYCZ, W. “Relevancy of fuzzy models”. *Informations Sciences*, v. 52, pp. 285-302, 1990.
- PEDRYCZ, W. “Why triangular membership functions?” *Fuzzy Sets and Systems*, v. 64, pp. 21-30, 1994.
- PERROW, C. B. *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. New York: Basic Books Inc. Publishers, 1999.
- PRAETORIUS, G.; LUNDH M.; LUTZHOFT, M. *Learning from the past for pro-activity: A re-analysis of the accident of the MV Herald of free enterprise*. In: HOLLNAGEL, E; RIGAUD, E.; BESNARD, D. *Proceeding of the fourth Resilience Engineering Symposium*. Sophia Antipolis, França, MINES ParisTech: 2011.
- RASMUSSEN, J. “Risk management in a dynamic society: a modeling problem”. *Safety Science*, v.27, n.2, pp. 183-217, 1997.
- REASON, J. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press, 302 p., 1990.
- REASON, J. *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot: Ashgate, 1997.
- REASON, J. “Human error: models and management”. *British Medical Journal*, v.320, n. 18, pp.768-770, 2000.
- REIMAN, T.; OEDEWALD, P. “Assessment of Complex Sociotechnical Systems – Theoretical issues concerning the use of organizational culture and organizational core task concepts”. *Safety Science*, v. 45, pp.745-768, 2007.
- REIMAN, T.; OEDEWALD, P. *Evaluating safety critical organizations: Focus on the nuclear industry*. Swedish Radiation Safety Authority, Research Report 2009:12, 2009.
- REIMAN, T.; PIETIKÄINEN, E. *Indicators of safety culture – selection and utilization of leading safety performance indicators*. Swedish Radiation Safety Authority, Report number 2010:07, 2010.

- ROBBINS, S. P. *Comportamento Organizacional*. 9ª ed., São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002.
- ROSCIANO, P. C. *Construindo Indicadores para a Condição de Trabalho: Ergonomia e Lógica Fuzzy*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2009.
- ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Second Edition. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; GRECCO, C. H. S.. *Metodologia para identificação dos fatores que afetam o desempenho dos responsáveis pela retirada dos trabalhadores de instalações industriais, em situações de emergência*. In: XV Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru - SP, 2008a.
- SANTOS, I. J. A. L.; GRECCO, C. H. S.; CHICRALLA R. *Ergonomia e Fatores Humanos no Gerenciamento da Segurança de Instalações Industriais: Contribuições do Setor Nuclear Brasileiro*. In: IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, 2008b.
- SANTOS, I. J. A. L.; GRECCO, C. H. S.; MOL, A. C. A.; CARVALHO, P. V. R. “The use of questionnaire and virtual reality in the verification of the human factors issues in the design of nuclear control desk”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 39, pp. 159-166, 2009.
- SAURIN, T. A.; CARIM JR., G. C. “Evaluation and improvement of a method for assessing HSMS from the resilience engineering perspective: A case study of an electricity distributor”. *Safety Science*, v. 49, pp. 355-368, 2011.
- SHEFFI, Y. *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. Paperback Edition. MIT Press, Cambridge, 2007.
- SIQUEIRA, M. M. M. *Medidas do Comportamento Organizacional: Ferramentas de Diagnóstico e de Gestão*. Porto Alegre: Artmed Editora S.A, 2008.
- SOUZA, A. P. *Uma Abordagem para o Tratamento de Resiliência em Organizações*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, NCE, 2010.
- TANAKA, K. *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. New York: Springer-Verlag New York Inc., 1997.
- TEWSON, T. J, KROHN, K. A. “Pet radiopharmaceuticals: state-of-the-art and future prospects”. *Semin. Nucl. Med.*, v. 28, n. 3, pp. 221-234, 1998.
- TUROFF, M.; LINSTONE, H. A. *The Delphi Method – Techniques and Applications* (Eds.). London, UK: Addison-Wesley, 2002. Electronic version. Disponível em: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/>. Acesso em: 20 de março de 2011.

- VIDAL, M. C. “A evolução conceitual da noção de acidente do trabalho: conseqüências metodológicas sobre o diagnóstico de segurança”. *Cadernos da Engenharia de Produção*, v. 5, n. 13, pp.1 – 29. São Carlos: UFSCar, 1989.
- VIDAL, M. C. “Por uma engenharia cognitiva”. *Revista do Clube de Engenharia do Rio de Janeiro*, v.1, pp. 32-44, 1997.
- VIDAL, M. C. *Guia para Análise Ergonômica do Trabalho (AET) na Empresa*. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2008.
- VIDAL, M. C. “Editorial: Observar conversando”. *Folha Ergonômica*, Ano 9, Edição 16, CESERG/UFRJ/COPPE, 3 de dezembro de 2010.
- VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. R. *Ergonomia Cognitiva: raciocínio e decisão no trabalho*. Rio de Janeiro: Editora Virtual Científica, 2008.
- VIDAL, M. C.; CARVALHO, P. V. R.; SANTOS, M. S.; SANTOS I. J.L. “Collective work and resilience of complex systems”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 22 (4), pp. 516-527, 2009.
- WANO - WORLD ASSOCIATION OF NUCLEAR OPERATORS. *2008 Performance Indicators*. United Kingdom. London: WANO, 2009. Disponível em: [http://www.wano.org.uk/PerformanceIndicators/PI Trifold/PI 2008 TriFold.pdf](http://www.wano.org.uk/PerformanceIndicators/PI%20Trifold/PI%202008%20TriFold.pdf). Acesso em: 03 de fevereiro de 2011.
- WAKAMATSU A.; CHENG L. Y. *Metodologia de posicionamento dos elementos do canteiro de obras utilizando a teoria de sistema nebuloso*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/305, 26 p., São Paulo: EPUSP, 2001.
- WILSON, J. R. “Fundamentals of ergonomics in theory and practice”. *Applied Ergonomics*, v. 31, pp. 557-567, 2000.
- WISNER, A. *A inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia*. 1ª ed., São Paulo: Fundacentro, 1993.
- WOODS, D. *Essential Characteristics of Resilience*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; WOODS, D.; HOLLNAGEL, E. *Prologue: Resilience engineering concepts*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- WOODS, D.; WRETHALL, J. *Managing risk proactively: the emergence of resilience engineering*. Columbus: Ohio University, 2003.
- WREATHALL, J. *Properties of Resilient Organizations: An Initial View*. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Aldershot, UK: Ashgate, 2006.
- WREATHALL, J.; MERRITT, A. C. *Managing Human Performance in the Modern World: Developments in the US Nuclear Industry*. Innovation and Consolidation in Aviation. G. Edkins and P. Pfister (Eds.). Burlington, VT, Ashgate, 2003.

- YAGER, R. R. "Simultaneous solution of fuzzy models: an application to economic equilibrium analysis". *Fuzzy Sets and Systems*, v. 115, pp. 339 – 349, 2000.
- YAGER, R. R.; FILEV, D. P. "On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set". *Fuzzy Sets and Systems*, v. 55, pp. 255 – 272, 1993.
- ZADEH, L. A. "Fuzzy Sets". *Information Control*, v. 8, pp. 338 -353, 1965.
- ZADEH, L. A. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes". *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol SMC-3, pp. 28-44, 1973.
- ZADEH, L. A. "A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages". *Computer Mathematics with Applications*, v. 9, pp. 149-184, 1983.
- ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy set theory and its applications*. 3^a ed., USA: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- ZIMMERMANN, H. J. *Operators in Models of Decision Making*. In: DUBOIS, D.; PRADE H.; YAGER, R. R. *Fuzzy Information Engineering: a guide tour of applications*. John Wiley & Sons, Inc., USA: 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Instrumento de coleta de dados do especialista.

Avaliador:

1) Marque seu cargo/classe.

- | | |
|------------------------------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> Tecnologista (Pesquisador) Sênior | 1,0 |
| <input type="checkbox"/> Tecnologista (Pesquisador) Pleno | 0,9 |
| <input type="checkbox"/> Tecnologista (Pesquisador) Júnior | 0,8 |
| <input type="checkbox"/> Técnico III | 0,8 |
| <input type="checkbox"/> Técnico II | 0,5 |
| <input type="checkbox"/> Técnico I | 0,2 |

2) Marque a melhor opção do seu grau de escolaridade.

- | | |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> Doutorado | 1,0 |
| <input type="checkbox"/> Mestrado | 0,8 |
| <input type="checkbox"/> Pós-Graduação Lato Sensu | 0,6 |
| <input type="checkbox"/> Cursos de extensão (Especialização) | 0,4 |

3) Quantidade de artigos internacionais publicados relacionados à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos.

- | | |
|--------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> nenhum | 0 |
| <input type="checkbox"/> até 2 | 0,5 |
| <input type="checkbox"/> de 3 a 7 | 0,9 |
| <input type="checkbox"/> maior que 7 | 1,0 |

4) Quantidade de artigos nacionais publicados relacionados à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos.

- | | |
|--------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> nenhum | 0 |
| <input type="checkbox"/> até 2 | 0,4 |
| <input type="checkbox"/> de 3 a 7 | 0,8 |
| <input type="checkbox"/> maior que 7 | 1,0 |

5) Quantidade de relatórios técnicos relacionados à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos.

- | | |
|--------------------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> nenhum | 0 |
| <input type="checkbox"/> até 2 | 0,3 |
| <input type="checkbox"/> de 3 a 7 | 0,7 |
| <input type="checkbox"/> maior que 7 | 1,0 |

6) Quantidade de participações em eventos/congressos relacionados à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos.

- nenhuma 0
- até 2 0,3
- de 3 a 7 0,7
- maior que 7 1,0

7) Quantidade de participações na elaboração de normas, procedimentos ou instruções relacionadas à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos.

- nenhuma 0
- até 2 0,5
- de 3 a 7 0,9
- maior que 7 1,0

8) Quantos anos de experiência relacionados à segurança nuclear ou a produção de radiofármacos?

- nenhum 0
- até 5 0,3
- de 6 a 10 0,7
- de 11 a 15 0,9
- mais de 15 1,0

9) Como você classificaria seu entendimento relacionado à segurança do processo de expedição de radiofármacos?

- excelente 1,0
- bom 0,9
- médio 0,6
- baixo 0,3
- nenhum 0

APÊNDICE 2

Planilha para determinação do grau de importância de indicadores para o processo de expedição de radiofármacos.

Esta planilha faz parte de uma pesquisa e tem por objetivo determinar o grau de importância de indicadores relacionados aos princípios da Engenharia de Resiliência (Comprometimento da Alta Direção, Aprendizagem, Flexibilidade, Consciência, Cultura de Justiça e Preparação para os problemas), para avaliar a resiliência do processo de expedição de radiofármacos. A qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas pelos especialistas. Será utilizada a matemática *fuzzy* para agregar estas opiniões e elaborar uma hierarquização de indicadores.

Atribua as importâncias aos indicadores segundo a escala apresentada na tabela abaixo.

Importância	Explicação
NI	O indicador apresentado não é importante.
PI	O indicador apresentado é pouco importante.
I	O indicador apresentado é importante.
MI	O indicador apresentado é muito importante.

Avaliador:

Cargo/Função:

Lotação:

1. Comprometimento da Alta Direção: Necessário para proporcionar liderança, influenciar as ações dos trabalhadores e alocar recursos e investimentos pró-ativos nos momentos mais oportunos.	
Indicadores	Importância
1.1 Recursos Humanos: Avalia se a capacidade de trabalhadores no setor é suficiente para garantir a execução segura das tarefas, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades.	
1.2 Recursos Materiais: Avalia se qualidade dos recursos materiais (equipamentos, ferramentas, produtos) garantem a execução segura das atividades mesmo com a pressão temporal.	
1.3 Compromisso com a Segurança: Avalia se as chefias mostram compromisso com as atividades de segurança e com os investimentos em segurança.	
1.4 Política de Segurança: Avalia se a política de segurança da instalação nuclear está atualizada.	
1.5 Objetivos de Segurança: Avalia a participação dos trabalhadores na definição e acompanhamento regular dos procedimentos e objetivos de segurança.	
1.6 Treinamentos: Avalia se treinamentos adequados às atividades dos trabalhadores são frequentemente oferecidos e incentivados pelas chefias.	
1.7 Identificação de Competências: Avalia se existe um procedimento adequado de identificação de competências e seleção de pessoas para trabalhar no setor.	
2. Aprendizagem: Uma organização com uma boa cultura de aprendizagem identifica as melhores maneiras de conduzir seus negócios sem depender inteiramente de informações reativas. A disponibilidade de informação é essencial para a aprendizagem em um ambiente instável e complexo.	
Indicadores	Importância
2.1 Comunicação: Avalia se os mecanismos de comunicação são eficientes para divulgação de informações sobre incidentes e informações relevantes ao trabalho.	
2.2 Conteúdo das Informações: Avalia se as informações trocadas durante os processos de comunicação são suficientes.	
2.3 Execução das Tarefas: Avalia se as pessoas realizam as tarefas conforme prescritas.	
2.4 Práticas Reais de Trabalho: Avalia se as tarefas realizadas de maneiras mais rápidas e eficientes são de conhecimento do grupo e da chefia.	
2.5 Adaptações Locais: Avalia se as adaptações das tarefas às condições locais são efetuadas conhecendo seus efeitos sobre a segurança.	
2.6 Conteúdo das Documentações: Avalia se os procedimentos, instruções ou documentações são atualizados e de fácil compreensão.	
2.7 Disponibilidade das Documentações: Avalia se os procedimentos, instruções ou documentações estão disponíveis para as pessoas quando necessários.	
2.8 Investigações de Incidentes: Avalia se as investigações de incidentes levam em consideração os fatores técnicos, humanos e organizacionais e as conclusões contemplam causas como pressões pela produção, diferenças entre trabalho prescrito e real e identificações de migrações graduais de desempenho.	
2.9 Responsabilidade das Investigações de Incidentes: Avalia se as investigações de incidentes são realizadas por equipes multidisciplinares.	
3. Flexibilidade: Este princípio retrata a habilidade de adaptação das organizações aos problemas novos e complexos, buscando soluções sem comprometer a funcionalidade global. A flexibilidade do trabalho humano permite que ações normais sejam bem sucedidas, pois as pessoas se adaptam às condições locais e às mudanças dos recursos e demandas.	
Indicadores	Importância
3.1 Capacidade de Controlar Situações Imprevistas: Avalia se as pessoas são treinadas para controlar situações novas ou imprevistas na ausência de procedimentos ou instruções.	
3.2 Flexibilidade das Atividades: Avalia se as pessoas são incentivadas a refletir ao seguirem um procedimento, podendo realizar o trabalho da forma como	

consideram melhor.	
3.3 Reconhecimento Profissional: Avalia se as experiências operacionais e as habilidades das pessoas são utilizadas pela Instituição.	
3.4 Informações sobre Limites do Trabalho Seguro: Avalia se os procedimentos informam os limites do trabalho seguro, como detectar erros e recuperar o controle.	
3.5 Relatos das Adaptações: Avalia se as adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas) pelas pessoas.	
3.6 Incorporação de Adaptações: Avalia se as adaptações bem sucedidas são incorporadas aos procedimentos.	
4. Consciência: O princípio da consciência está relacionado à necessidade das organizações compreenderem como está seu desempenho no que diz respeito à segurança. É importante que todas as partes interessadas estejam conscientes do seu próprio <i>status</i> na organização e do <i>status</i> de todos os outros agentes, tais como grupo de trabalho, máquinas ou equipamentos.	
Indicadores	Importância
4.1 Relatos de Problemas: Avalia se as pessoas relatam problemas enfrentados durante a execução das atividades.	
4.2 Informações de Segurança: Avalia se as pessoas são informadas sobre orientações de segurança e assuntos que interferem na execução de suas atividades.	
4.3 Mecanismos de Comunicação: Avalia se os mecanismos de comunicação estão sempre disponíveis.	
4.4 Disponibilidade para Substituições: Avalia se as pessoas assumem o papel das outras quando estas não estão disponíveis.	
4.5 Conteúdo e Volume de Trabalho: Avalia se o conteúdo e o volume de trabalho não coloca em risco a saúde das pessoas.	
4.6 Trabalho em Equipe: Avalia se existe um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.	
4.7 Tarefas e Habilidades das Pessoas : Avalia se as exigências das tarefas estão alinhadas com as habilidades das pessoas.	
4.8 Compreensão das Limitações: Avalia se as pessoas têm percepção e consciência das condições técnicas e físicas dos recursos materiais e limitações dos procedimentos e documentações.	
4.9 Manutenção Preventiva: Avalia se existe um programa de manutenção preventiva dos equipamentos.	
4.10 Identificação de Perigos: Avalia se existem medidas proativas no local para identificar novos riscos (avaliação de riscos), utilizando seus resultados para o desenvolvimento de políticas, procedimentos ou práticas (ações corretivas).	
5. Cultura de Justiça: Uma organização com cultura de justiça incentiva a comunicação de qualquer questão relacionada à segurança; este tipo de cultura não tolera atitudes que busquem culpados.	
Indicadores	Importância
5.1 Relatos de Desvios/Erros: Avalia se as chefias incentivam o relato de desvios, preocupações ou erros pessoais.	
5.2 Entendimento dos Erros: Avalia se as chefias entendem que os erros cometidos pelas pessoas são normais.	
5.3 Percepção dos Erros: Avalia se as chefias e as pessoas conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis.	
5.4 Ações não Punitivas: Avalia se as pessoas sofrem penalizações, punições ou represálias quando cometem erros.	
5.5 Opinião da Equipe nas Investigações: Avalia se nas investigações disciplinares ou de incidentes, as chefias levam em consideração a opinião da equipe de trabalho.	

6. Preparação (prontidão) para os problemas: Refere-se a uma abordagem pró-ativa de preparação e planejamento de ações para eliminar ou reduzir problemas de desempenho humano e eventos imprevistos ou não planejados. Uma organização resiliente tem que "estar à frente" dos problemas de desempenho humano, ou seja, a organização tem que estar preparada para antecipar-se aos problemas.

Indicadores	Importância
6.1 Plano de Resposta à Emergência: Avalia se existe um plano local atualizado de resposta à emergência.	
6.2 Identificação de Riscos: Avalia se as tarefas ou situações rotineiras que podem afetar a segurança estão identificadas.	
6.3 Equipamentos de Segurança: Avalia se os equipamentos de segurança são guardados em locais adequados e se são rotineiramente testados.	
6.4 Sistemas de Alarmes: Avalia se existe um sistema de alarmes no setor.	
6.5 Procedimentos Proativos: Avalia se existem procedimentos para monitorar as condições de segurança no setor.	
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência: Avalia se as pessoas são treinadas para respostas às emergências.	

APÊNDICE 3

Planilha para avaliação da resiliência do processo de expedição de radiofármacos.

Esta planilha faz parte de uma pesquisa e tem por objetivo determinar o nível de resiliência do setor de trabalho por meio de indicadores relacionados aos princípios da Engenharia de Resiliência. Esta planilha é de cunho puramente científico. A qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas. Será utilizada a matemática *fuzzy* para agregar estas opiniões e desta forma fornecer um indicativo de resiliência do local de trabalho.

A planilha deverá ser alimentada com informações relacionadas à percepção do ambiente e das condições de trabalho, assim como das políticas e do desempenho das pessoas no setor. Gostaríamos de saber o quanto você concorda ou discorda de cada uma delas.

DT	- Discordo totalmente
DP	- Discordo parcialmente
NCND	- Não concordo, nem discordo
CP	- Concordo parcialmente
CT	- Concordo totalmente

Avaliador:

Cargo/Função:

1. Comprometimento da Alta Direção: Necessário para proporcionar liderança, influenciar as ações dos trabalhadores e alocar recursos e investimentos pró-ativos nos momentos mais oportunos.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
1.1 A capacidade de trabalhadores no setor é suficiente para garantir a execução segura das tarefas, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades.	
1.2 A qualidade dos recursos materiais (equipamentos, ferramentas, produtos) garantem a execução segura das atividades mesmo com a pressão temporal.	
1.3 As chefias mostram compromisso com as atividades de segurança e com os investimentos em segurança.	
1.4 A política de segurança da instalação nuclear está atualizada.	
1.5 Os trabalhadores participam da definição e do acompanhamento regular dos procedimentos e objetivos de segurança.	
1.6 Treinamentos adequados às atividades dos trabalhadores são frequentemente oferecidos e incentivados pelas chefias.	
1.7 Existe um procedimento adequado de identificação de competências e seleção de pessoas para trabalhar no setor.	
2. Aprendizagem: Uma organização com uma boa cultura de aprendizagem identifica as melhores maneiras de conduzir seus negócios sem depender inteiramente de informações reativas. A disponibilidade de informação é essencial para a aprendizagem em um ambiente instável e complexo.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
2.1 Os mecanismos de comunicação são eficientes para divulgação de informações sobre incidentes e informações relevantes ao trabalho.	
2.2 As informações trocadas durante os processos de comunicação são suficientes.	
2.3 As pessoas realizam as tarefas conforme prescritas.	
2.4 As tarefas realizadas de maneiras mais rápidas e eficientes são de conhecimento do grupo e da chefia.	
2.5 As adaptações das tarefas às condições locais são efetuadas conhecendo seus efeitos sobre a segurança.	
2.6 Os procedimentos, instruções ou documentações são atualizados e de fácil compreensão.	
2.7 Os procedimentos, instruções ou documentações estão disponíveis para as pessoas quando necessários.	
2.8 As investigações de incidentes levam em consideração os fatores técnicos, humanos e organizacionais e as conclusões contemplam causas como pressões pela produção, diferenças entre trabalho prescrito e real e identificações de migrações graduais de desempenho.	
2.9 As investigações de incidentes são realizadas por equipes multidisciplinares.	
3. Flexibilidade: Este princípio retrata a habilidade de adaptação das organizações aos problemas novos e complexos, buscando soluções sem comprometer a funcionalidade global. A flexibilidade do trabalho humano permite que ações normais sejam bem sucedidas, pois as pessoas se adaptam às condições locais e às mudanças dos recursos e demandas.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
3.1 As pessoas são treinadas para controlar situações novas ou imprevistas na ausência de procedimentos ou instruções.	
3.2 As pessoas são incentivadas a refletir ao seguirem um procedimento, podendo realizar o trabalho da forma como consideram melhor.	
3.3 As experiências operacionais e as habilidades das pessoas são utilizadas pelo setor.	
3.4 Os procedimentos informam os limites do trabalho seguro, como detectar erros e recuperar o controle.	

3.5 As adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas) pelas pessoas.	
3.6 As adaptações bem sucedidas são incorporadas aos procedimentos.	
4. Consciência: O princípio da consciência está relacionado à necessidade das organizações compreenderem como está seu desempenho no que diz respeito à segurança. É importante que todas as partes interessadas estejam conscientes do seu próprio <i>status</i> na organização e do <i>status</i> de todos os outros agentes, tais como grupo de trabalho, máquinas ou equipamentos.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
4.1 As pessoas relatam problemas enfrentados durante a execução das atividades.	
4.2 As pessoas são informadas sobre orientações de segurança e assuntos que interferem na execução de suas atividades.	
4.3 Os mecanismos de comunicação estão sempre disponíveis.	
4.4 As pessoas assumem o papel das outras quando estas não estão disponíveis.	
4.5 O conteúdo e o volume de trabalho não colocam em risco a saúde das pessoas.	
4.6 Existe um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.	
4.7 As exigências das tarefas estão alinhadas com as habilidades das pessoas.	
4.8 As pessoas têm percepção e consciência das condições técnicas e físicas dos recursos e das limitações dos procedimentos e documentações.	
4.9 Existe um programa de manutenção preventiva dos equipamentos.	
4.10 Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos (avaliação de riscos), utilizando seus resultados para o desenvolvimento de políticas, procedimentos ou práticas (ações corretivas).	
5. Cultura de Justiça: Uma organização com cultura de justiça incentiva a comunicação de qualquer questão relacionada à segurança; este tipo de cultura não tolera atitudes que busquem culpados.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
5.1 As chefias incentivam o relato de desvios, preocupações ou erros pessoais.	
5.2 As chefias entendem que os erros cometidos pelas pessoas são normais.	
5.3 As chefias e as pessoas conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis.	
5.4 As pessoas não sofrem penalizações, punições ou represálias quando cometem erros.	
5.5 Nas investigações disciplinares ou de incidentes, as chefias levam em consideração a opinião da equipe de trabalho.	
6. Preparação (prontidão) para os problemas: Refere-se a uma abordagem pró-ativa de preparação e planejamento de ações para eliminar ou reduzir problemas de desempenho humano e eventos imprevistos ou não planejados. Uma organização resiliente tem que "estar à frente" dos problemas de desempenho humano, ou seja, a organização tem que estar preparada para antecipar-se aos problemas.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
6.1 Existe um plano local atualizado de resposta à emergência.	
6.2 As tarefas ou situações rotineiras que podem afetar a segurança estão identificadas.	
6.3 Os equipamentos de segurança são guardados em locais adequados e rotineiramente testados.	
6.4 Existe um sistema de alarmes no setor.	
6.5 Existem procedimentos para monitorar as condições de segurança do setor.	
6.6 As pessoas são treinadas para respostas às emergências.	

ANEXOS

ANEXO 1

Indicadores identificados em estudos na área nuclear.

Este anexo apresenta uma estrutura dos principais indicadores identificados em documentos do *Electric Power Research Institute* (EPRI 1999, 2000), da *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 2001) e em outras pesquisas na área nuclear (REIMAN e PIETIKÄINEN, 2010), assim como as principais fraquezas latentes associadas a estes indicadores.

Indicadores	Fraquezas
Comunicação	<ul style="list-style-type: none">• Falta de informações durante a realização de tarefas críticas;• Perigos, precauções e “armadilhas” não identificados no trabalho;• Dificuldade de comunicação devido a interferências ou ao ambiente ruidoso.
Equipamentos e Instalações	<ul style="list-style-type: none">• Problemas na acessibilidade aos locais dos equipamentos;• Problemas nos postos de trabalho (por exemplo, espaço reduzido de trabalho).
Atividades de Grupos e Interfaces de Trabalho	<ul style="list-style-type: none">• Folgas e permissões de trabalho não estão disponíveis quando necessárias;• Práticas de proteção à radiação dificultam o trabalho;• Prioridades de outros grupos prejudicam o trabalho;• Disponibilidade ou qualidade de peças ou ferramentas;• Controles de qualidade ou verificação por pares não estão disponíveis quando necessários.
Condição de Materiais	<ul style="list-style-type: none">• Grande quantidade de caminhos alternativos para realizar as tarefas que aumentam a carga de trabalho;• Ambiente físico de trabalho inadequado.
Planejamento e Agendamento	<ul style="list-style-type: none">• Cronograma “apertado”, pressão temporal ou outras pressões operacionais;• Planejamento inadequado de trabalho;• Falta de pessoas para a execução das atividades de planejamento.
Políticas	<ul style="list-style-type: none">• Objetivos conflitantes (produção x segurança x qualidade);• Gasto com requisitos improdutivos (por exemplo, requisitos excessivos de segurança em determinadas situações).

<p>Procedimentos e Documentação</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimentos que não correspondem às tarefas; • Procedimentos inexistentes ou que não estão disponíveis; • Plantas (desenhos) que não correspondem às instalações ou equipamentos; • Plantas (desenhos) que não são legíveis; • Especificações ou documentações de equipamentos difíceis de usar ou que não estão disponíveis.
<p>Papéis e Responsabilidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de clareza sobre quem deve fazer o que na execução das tarefas; • Os supervisores não estão disponíveis quando necessário; • Os líderes de equipe não possuem habilidades necessárias para desempenhar o papel de líder.
<p>Estrutura de Tarefas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura de tarefas que não faz sentido no contexto da atividade; • Existem maneiras mais eficientes ou mais rápidas para executar as tarefas.
<p>Treinamento e Experiência</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de habilidades ou conhecimentos; • Falta de experiência; • Desalinhamento entre treinamento e experiência.

ANEXO 2

Planta baixa de arquitetura do local onde ocorre o processo de produção do radiofármaco.

