



BRAZILIAN JOURNAL  
OF  
RADIATION SCIENCES  
03-1A (2015) 01-16



## Um método proativo para gerenciamento da segurança em instalações nucleares

C. H. Grecco<sup>a</sup>; P. V. Carvalho<sup>a</sup>; I. L. Santos<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Nuclear/Serviço de Engenharia de Sistemas Complexos/Instituto de Engenharia Nuclear(IEN/CNEN), 21941-906, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

[grecco@ien.gov.br](mailto:grecco@ien.gov.br)

---

### ABSTRACT

Em razão da abordagem moderna para tratar a segurança em instalações nucleares que destaca que estas organizações devem ser capazes de avaliar e gerenciar de forma proativa suas atividades torna-se cada vez mais importante a necessidade de instrumentos de avaliação das condições de trabalho. Nesse contexto, este trabalho apresenta um método proativo de gerenciamento da segurança organizacional, 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. A teoria *fuzzy* é usada essencialmente para mapear modelos qualitativos de tomada de decisão, e para métodos de representação imprecisa. Os resultados deste trabalho objetivam uma melhoria no desempenho e na segurança nas organizações. 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 proativa das condições de trabalho de um domínio organizacional.

*Keywords:*

Palavras-chave: segurança organizacional, engenharia de resiliência, lógica fuzzy

---

## 1. INTRODUÇÃO

A complexidade dos sistemas que lidam com tecnologia perigosa (por exemplo, a nuclear) 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 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 [1], [2].

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 [1], [2], [3], [4]. 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 [5], [6]. Assim sendo, as organizações, principalmente as instalações nucleares, devem ser capazes de avaliar e gerenciar de forma proativa a segurança de suas atividades.

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 [4]. As aplicações da engenharia de resiliência são particularmente adequadas para sistemas de alto risco e com características de complexidade. Neste enfoque, 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 [6]. Para a avaliação da segurança 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 cotidiano (real).

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. Os indicadores de segurança tradicionalmente utilizados na engenharia de segurança são obtidos após a ocorrência de eventos indesejados. Estes indicadores não garantem conhecimentos suficientes para explorar eventos futuros e podem tornar-se obsoletos quando o tempo de análise for longo. Sendo assim, existe a necessidade do desenvolvimento de indicadores preditivos (*leading indicators*) que induzem e sustentem ações pró-ativas no controle

da segurança [7], [8]. 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.

A construção e a análise de indicadores preditivos devem ser baseadas em julgamentos humanos, 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. A teoria *fuzzy* é usada, essencialmente para mapear modelos qualitativos de tomada de decisão, e para métodos de representação imprecisa [2].

Os resultados deste trabalho objetivam uma melhoria no desempenho e na segurança nas organizações que lidam com tecnologias perigosas, como as instalações nucleares. 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 segurança.

## 1.1 PRÍNCÍPIOS DA ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA

A engenharia de resiliência aparece como um novo paradigma para lidar com a gestão de segurança. A engenharia de 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.

Diversos estudos apresentam propriedades de organizações resilientes, chamadas também de princípios da engenharia de resiliência [4], [10], [11], [12]. 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 neste trabalho, são apresentados a seguir:

**Comprometimento da alta direção:** O comprometimento da alta direção compreende que a segurança deve ser um valor cultural destacado na organização. 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 pela produção terão menos influência sobre

a segurança do trabalho, aumentando o equilíbrio entre esses objetivos, o que é uma questão de destaque abordada pela engenharia de resiliência.

**Aprendizagem:** O tema aprendizagem aborda a dificuldade da organização em identificar as melhores maneiras de realizar seus negócios e lidar com os problemas. Uma organização com uma boa cultura de aprendizagem identifica as melhores maneiras de condução de suas operações sem depender inteiramente de informações reativas. 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 [11].

**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. A 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 [12].

**Consciência:** A O princípio da consciência está relacionado à necessidade das organizações compreenderem como está seu desempenho no que diz respeito à segurança. 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 [11].

**Cultura de Justiça:** Esse tema é citado em estudos sobre a aprendizagem organizacional [11], [13]. 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 [13] 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.

**Preparação para os problemas:** Segundo Wrethall [11], uma organização resiliente tem que "estar à frente" dos problemas de desempenho humano, ou seja, a organização tem que estar preparada para responder. EPRI [12] relata que este princípio refere-se a uma abordagem proativa 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.

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.

## 1.2 A LÓGICA FUZZY PARA MODELAGEM DE INDICADORES PREDITIVOS

O uso da lógica *fuzzy* em sistemas complexos será indicado sempre que se desejar aproximar o modelo construído da realidade. A utilização da lógica *fuzzy* em relação à lógica clássica nos processos complexos é justificada [2], [14]: (1) porque a naturalidade de sua abordagem torna seus conceitos fáceis de entender; (2) porque é flexível; (3) porque é tolerante com dados imprecisos; (4) porque pode modelar as funções não lineares da arbitrariedade da complexidade; (5) porque pode ser construída com base na experiência de especialistas; (6) porque é baseada na linguagem natural, base da comunicação humana.

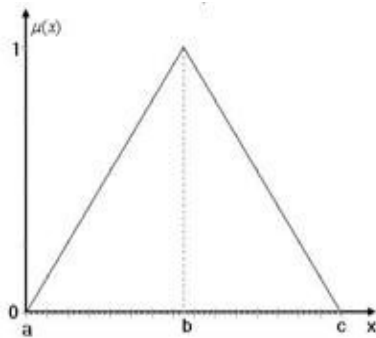
Vários trabalhos utilizam a abordagem *fuzzy* para avaliações de desempenho com relação a segurança, saúde ocupacional e meio ambiente em organizações [2], [15], [16]. Estes trabalhos apresentam importantes razões para o uso da lógica *fuzzy*: redução de erros humanos, obtenção de conhecimento e interpretação de uma grande quantidade de dados imprecisos por meio de especialistas.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos. 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. Assim, 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 (Eq.1):

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (1)$$

Um número *fuzzy*  $A$  é um subconjunto especial de números reais ( $R$ ). Sua função de pertinência  $\mu_A$  é um mapeamento contínuo de  $R$  intervalo fechado  $[0, 1]$ . Dentre as diversas formas de números *fuzzy*, o número *fuzzy* triangular é o mais utilizado [17]. Este número *fuzzy* é

representado por três pontos e expresso por  $A = (a, b, c)$ , como ilustrado na Fig. 1. Esta representação é interpretada como funções de pertinência, conforme a Eq. 2.



$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{se } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{se } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

**Figura 1.** Número *fuzzy* triangular

Um importante conceito na teoria dos conjuntos *fuzzy* é o conceito de variáveis linguísticas. Uma variável linguística é uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial, que podem ser representadas por conjuntos *fuzzy*. Neste trabalho, consideramos um indicador preditivo como uma variável linguística representada por um conjunto de quatro termos linguísticos: Não é Importante, Pouco Importante, Importante e Muito Importante. Esses termos linguísticos serão utilizados pelos especialistas para avaliar os graus de importância dos indicadores.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método para gerenciamento da segurança é constituído das seguintes etapas:

- (1) Seleção dos indicadores preditivos de acordo com os princípios da engenharia de resiliência;
- (2) Determinação de um padrão de segurança organizacional;
- (3) Avaliação do nível atual de segurança apoiando-se no padrão de segurança definido.

### (1) Seleção dos indicadores preditivos

A escolha dos indicadores de segurança para instalações nucleares deve incluir indicadores que forneçam um alerta sobre a queda de desempenho da planta, monitorando a segurança de maneira pró-ativa. Esses indicadores chamados de preditivos fornecem informações que ajudam os trabalhadores a responder às mudanças e a tomar medidas para alcançar os resultados desejados ou evitar resultados indesejados [7], [8], [12]. 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 sua execução. 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 instalação seja capaz de avaliar e gerenciar de maneira resiliente a segurança. Neste trabalho, a seleção dos indicadores utilizados no setor de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear foi baseada em uma intervenção ergonômica no setor [18]. Esses indicadores são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Indicadores preditivos

<b>Princípios</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Princípios</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Comprometimento da alta direção</b>	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	<b>Consciência</b>	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
<b>Aprendizagem</b>	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	<b>Cultura de Justiça</b>	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
<b>Flexibilidade</b>	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 das Adaptações	<b>Preparação para os problemas</b>	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

## **(2) Determinação do padrão de segurança organizacional**

*International Joint Conference RADIO 2014*

*Gramado, RS, Brazil, August 26-29, 2014*

*SOCIEDADE BRASILEIRA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - SBPR*

Nesta etapa, 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. 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 segurança que este deveria apresentar. Esta etapa é constituída dos seguintes passos: 1) Seleção dos especialistas; 2) Determinação do grau de importância dos especialistas, baseado no conhecimento e na experiência; 3) Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência para avaliação dos indicadores preditivos; 4) Determinação do grau de importância de cada indicador preditivo; 5) Agregação das opiniões *fuzzy*; 6) Determinação do padrão de segurança organizacional.

**Seleção dos especialistas:** 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.

**Determinação do grau de importância dos especialistas.** 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) 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 pela Eq. 3. Na Eq. 3,  $tQ_i$ , é o total de pontos do questionário para o especialista  $i$ .

$$RI_i = \frac{tQ_i}{\sum_{i=1}^n tQ_i} \quad (3)$$

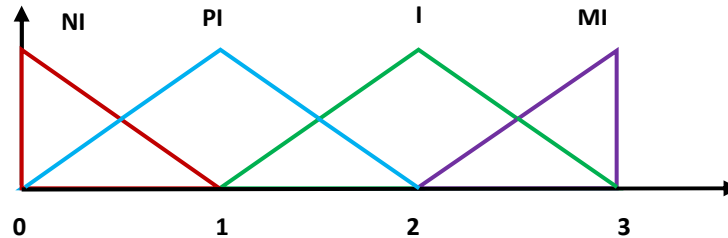
**Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência.** Na ótica da teoria *fuzzy*, cada indicador preditivo pode ser visto como uma variável linguística, relacionada a um conjunto de termos linguísticos associados a funções de pertinência, em um conjunto referencial estabelecido previamente. 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 são representados por números *fuzzy* triangulares que indicarão o grau de importância de cada indicador (Fig. 2). Os termos linguísticos utilizados pelos especialistas foram: Muito importante (MI), Importante (I), Pouco importante (PI) e Não é importante (NI).

*International Joint Conference RADIO 2014*

*Gramado, RS, Brazil, August 26-29, 2014*

*SOCIEDADE BRASILEIRA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - SBPR*





**Figura 2.** Números *fuzzy* triangulares

**Agregação das opiniões fuzzy.** Esta agregação de similaridades foi feita utilizando o método proposto por Hsu & Chen [19]. Este método é usado para combinar opiniões de especialistas representadas por números *fuzzy* triangulares. O cálculo do grau de concordância (GC), definido pela Eq. 4, 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.

$$GC_{ij} = \frac{AI}{AU} = \frac{\int_x (\min\{\mu_{N_i}(x), \mu_{N_j}(x)\}) dx}{\int_x (\max\{\mu_{N_i}(x), \mu_{N_j}(x)\}) dx} \quad (4)$$

Se dois especialistas tiverem a mesma opinião, então,  $GC = 1$ . Neste caso, as duas estimativas dos especialistas são coerentes, fazendo com que o grau de concordância entre eles seja igual a um. 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 [19]. Uma matriz de concordância (MC) é construída com todos os graus de concordância entre cada par de especialistas  $E_i$  e  $E_j$ . Se  $i = j$ ,  $GC_{ij} = 1$ . Esta matriz é apresentada em Eq.5.

$$MC = \begin{bmatrix} 1 & AD_{12} & \cdots & AD_{1j} & \cdots & AD_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ AD_{i1} & AD_{i2} & \cdots & AD_{ij} & \cdots & AD_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ AD_{n1} & AD_{n2} & \cdots & AD_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A concordância relativa de cada especialista ( $CR_i$ ) é obtido por meio da Eq. 6.

$$CR_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (GC_{ij})^2} \quad (6)$$

Em seguida, calcula-se o grau concordância relativa de um especialista ( $GCR_k$ ) em relação aos outros especialistas pela Eq. 7 e o coeficiente de consenso de cada especialista ( $CCE_k$ ) pela Eq. 8.

$$GCR_k = \frac{CR_k}{\sum_{i=1}^n CR_i} \quad (7)$$

$$CCE_k = \frac{GCR_k \cdot GIE_k}{\sum_{i=1}^n (GCR_i \cdot GIE_i)} \quad (8)$$

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 (Eq. 9). Na Eq. 9,  $n_i$  é o número *fuzzy* triangular relativo aos termos linguísticos (NI, PI, I, MI) utilizados pelos especialistas na avaliação dos indicadores.

$$N = \sum_{i=1}^n (CCE_i \cdot n_i) \quad (9)$$

**Determinação do padrão de segurança organizacional.** Para estabelecer este padrão de segurança é calculado o grau de importância de cada indicador que compõe cada princípio da engenharia de resiliência. O grau de importância de cada indicador ( $GII_i$ ) é obtido pela normalização dos valores *crisp* desses indicadores (Eq. 10). 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.

$$GII_i = \frac{b_i}{\text{maior valor de } b} \quad (10)$$

### (3) Avaliação da segurança

Nesta etapa foram escolhidos termos linguísticos representados por números *fuzzy* triangulares para avaliar os graus de atendimento dos indicadores no setor de expedição de radiofármacos de uma instalação nuclear (tabela 2). Esta avaliação foi feita pelos trabalhadores desse setor.

**Tabela 2.** Termos linguísticos e números *fuzzy* para os 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 <sub>1</sub> = (0,0; 0,2; 0,4)
0,4	DP	Discordo parcialmente	N <sub>2</sub> = (0,2; 0,4; 0,6)
0,6	NCND	Não concordo, nem discordo	N <sub>3</sub> = (0,4; 0,6; 0,8)
0,8	CP	Concordo parcialmente	N <sub>4</sub> = (0,6; 0,8; 1,0)
1,0	CT	Concordo totalmente	N <sub>5</sub> = (0,8; 1,0; 1,0)

Em seguida, utilizando o método do centro de área [2] é calculado, para cada avaliação, o grau de atendimento do setor de expedição de radiofármacos aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de segurança organizacional, pela Eq.11.

$$Ai = \frac{\sum_{j=1}^k GII_j \cdot a_j}{\sum_{j=1}^k GII_j} \quad (11)$$

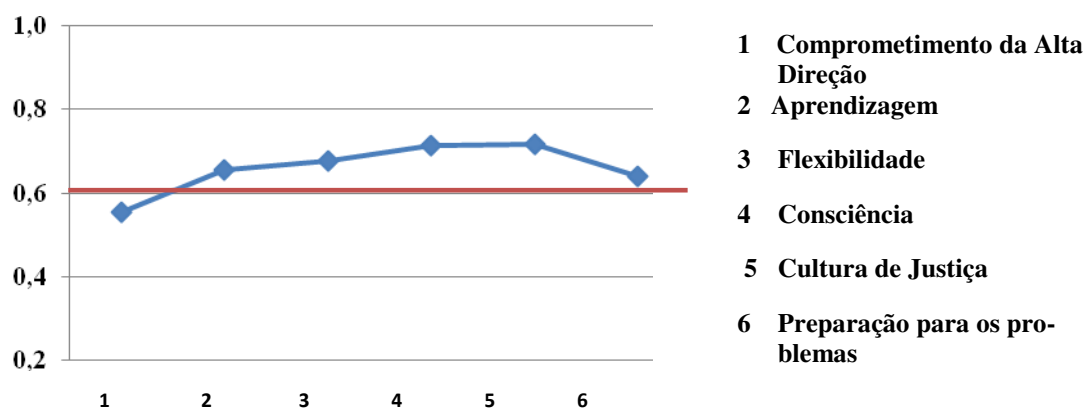
Na Eq. 11,  $a_j$  é o grau de atendimento do indicador  $j$  do princípio  $i$  no setor de expedição de radiofármacos e  $GII_j$  é o grau de importância do indicador  $j$  do princípio  $i$ , calculado por meio da Eq. 10.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O padrão de segurança organizacional foi obtido por meio da opinião de doze especialistas em produção de radiofármacos e segurança nuclear. A avaliação da segurança do setor de expedição de radiofármacos foi realizada pelos trabalhadores desse setor. O objetivo desta avaliação foi obter um grau de atendimento do processo de expedição de radiofármacos aos princípios da engenharia de resiliência do padrão de segurança organizacional deste processo, que significa um índice de segurança do local.

A figura 4 mostra a representação gráfica dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de segurança organizacional de acordo com a opinião dos trabalhadores. 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 segurança do processo avaliado. Isto é equivalente a fazer um corte- $\alpha$  robusto (*strong  $\alpha$ -cut*), com  $\alpha = 0,6$ . Essa consideração é baseada na relação direta com o conjunto de termos linguísticos e funções de pertinência 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 segurança do processo.

Desta forma, como apresentado na figura 4, 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). 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.



**Figura 4.** Representação gráfica dos graus de atendimento do processo de expedição de radiofármacos ao padrão de segurança.

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho descrevemos um método proativo para gerenciamento da segurança organizacional. Neste método utilizamos indicadores preditivos e as propriedades da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Além disso, desenvolvemos um padrão de segurança organizacional utilizando um método de agregação de similaridades para agregar as opiniões individuais dos especialistas, levando em consideração os graus de importância desses indivíduos. Um estudo piloto em uma instalação nuclear mostrou que este método baseado em indicadores preditivos e na lógica *fuzzy* oferece perspectivas interessantes para a implementação dos princípios da engenharia de resiliência no gerenciamento da segurança organizacional. Neste estudo, o método identificou problemas relacionados aos indicadores do princípio “Comprometimento da Alta Direção”. Estes problemas podem ser investigados a fim de implementar ações para tornar o processo de expedição de radiofármacos mais eficiente e seguro, além de melhorar a resiliência do setor. Diante disso, este método de avaliação pode ser considerado uma boa ferramenta de monitoramento de forma proativa das condições de trabalho de um domínio organizacional. 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.

## REFERÊNCIAS

[1] 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).

[2] GRECCO, C. H. S., VIDAL, M. C. R., COSENZA, C. A. N., SANTOS, I. J. A. L., CARVALHO, P. V. R. Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation. **Progress in Nuclear Energy**, v.70, pp.71-83 (2014).

[3] DEKKER, S. **Ten Questions About Human Error – A New View of Human Factors and System Safety**. Lawrence Erlbaum Associates, Taylor & Francis Group, London & England (2005).

[4] HOLLNAGEL, E., WOODS, D, LEVESON, N. **Resilience engineering. Concepts and precepts**. Ashgate Publishing Company, Burlington & England (2006).

[5] 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).

[6] Reiman, T., Oedewald, P. Evaluating safety critical organizations: Focus on the nuclear industry. **Swedish Radiation Safety Authority**, Research Report 12 (2009).

[7] EPRI. **Guidelines for Leading Indicators of Human Performance: Preliminary Guidance for Use of Workplace and Analytical Indicators of Human Performance**. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute (EPRI) (1999).

[8] REIMAN, T., PIETIKÄINEN, E. Indicators of safety culture – selection and utilization of leading safety performance indicators. **Swedish Radiation Safety Authority**, Report number 07 (2010).

[9] SAURIN, T. A., CARIM, 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).

[10] WOODS, D. **Essential Characteristics of Resilience**. In: HOLLNAGEL, E., WOODS, D, LEVESON, N. **Resilience engineering. Concepts and precepts**. Ashgate Publishing Company, Burlington & England (2006).

[11] WREATHALL, J. **Properties of Resilient Organizations: An Initial View**. HOLLNAGEL, E., WOODS, D, LEVESON, N. **Resilience engineering. Concepts and precepts**. Ashgate Publishing Company, Burlington & England (2006).

[12] EPRI. **Guidelines for trial use of leading indicators of human performance: the human performance assistance package**. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute (EPRI) (2000).

[13] REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents**. Ashgate Publishing Company, Burlington & England (1997).

[14] ZADEH, L. A. "Fuzzy Logic = Computing with words". **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 4, pp. 103-111 (1996).

[15] GENTILE, M., ROGERS, W., MANNAN, M. Development of an inherent safety index based on fuzzy logic. **AIChE Journal**, v.49 (4), pp. 959-968 (2003).

[16] NUNES I. L. ERGO X – The model of a fuzzy expert system for workstation ergonomic analysis. In: **International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors**, Karwowski W. (Ed.), CRC Press, pp. 3114-3121 (2006).

[17] PEDRYCZ, W. Why triangular membership functions? **Fuzzy Sets and Systems**, v.64, pp. 21-30 (1994).

*International Joint Conference RADIO 2014*

*Gramado, RS, Brazil, August 26-29, 2014*

*SOCIEDADE BRASILEIRA DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - SBPR*

[18] Grecco, C H. S., Vidal, M. C. R., Bonfatti, R. Análise ergonômica do trabalho no Setor de Expedição de Radiofármacos de um Instituto de Pesquisas, In: **Proceedings of the Congress of Brazilian Ergonomics Association**. Rio de Janeiro; 2010. (in Portuguese).

[19] HSU, H. M., CHEN, C. T. Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. **Fuzzy Sets and Systems**. v.79. pp. 279-285 (1996).