



APPLICATION OF THE FUZZY LOGIC IN OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO

Renata H. Bemvenuti¹✉, Luís Antônio dos S. Franz¹, Marco Antônio G. Silva¹

¹ Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, Brasil.

✉ reheidtmann@yahoo.com.br

Received: 22 Dezembro 2021 / Accepted: 16 Junho 2022 / Published: 17 setembro 2022

ABSTRACT. Brazil has been standing out for some years as the country with the most accidents at work in several sectors, such as the production industry and civil construction. Accidents at work are those that occur while working for the company, causing temporary or permanent injury, or even death. Artificial intelligence can contribute as a promising tool to reduce accidents as it is a field of knowledge that can support decision-making in a simpler and more accurate way than other methods, such as management by indicators. Fuzzy logic has been used for the risk assessment process to minimize the occurrence of accidents within the workplace. It lies within the field of knowledge of Artificial Intelligence, associated with the business decision-making process. To better understand the applicability of using Fuzzy Logic in the risk assessment and prioritization process, this paper intends to carry out a systematic literature review using the *Methodi Ordinatio*.

Keywords: *Methodi Ordinatio*, Fuzzy, Work Safety, Systematic Review

RESUMO. O Brasil vem se destacando há alguns anos como o país que mais ocorrem acidentes de trabalho em diversos setores, como indústria da produção e construção civil. Acidentes de trabalho são aqueles que ocorrem no exercício do trabalho a serviço da empresa, provocando lesão temporária ou permanente, ou até mesmo a morte. A inteligência artificial pode contribuir como uma ferramenta promissora na redução de acidentes por ser um campo de conhecimentos que pode apoiar a tomada de decisões de um modo mais simples e mais preciso do que outros métodos, como a gestão por indicadores. A lógica Fuzzy, ou lógica difusa, vem sendo usada para o processo de avaliação de riscos a fim de minimizar a ocorrência de acidentes dentro dos locais de trabalho. Ela encontra-se dentro do campo de conhecimentos da Inteligência Artificial, associada ao processo de tomada de decisões empresariais. Com o objetivo de procurar entender melhor a aplicabilidade da utilização da lógica Fuzzy no processo de avaliação e priorização de riscos, esse trabalho pretende fazer uma revisão sistemática da literatura utilizando o *Methodi Ordinatio*.

Palavras-chave: *Methodi Ordinatio*, Fuzzy, Segurança do Trabalho, Revisão Sistemática



1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países que mais ocorrem acidentes de trabalho em diversos setores, como indústria da produção e construção civil. Os riscos ocupacionais estão presentes em qualquer tipo de ambiente laboral e são eles, quando não controlados, responsáveis pelo elevado número de acidentes de trabalho. Diante disso, diversas mudanças ocorrem na legislação, aumentando os esforços para melhorar a segurança e qualidade de vida no trabalho. Os acidentes de trabalho são aqueles que ocorrem no exercício do trabalho a serviço da empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause redução permanente ou temporária da capacidade para o trabalho ou até mesmo a morte (BRASIL, 1991; BERMUDES; FONTANA, 2020; PIZA, 1997).

A segurança do trabalho engloba um conjunto de leis, normas, procedimentos de análise, educacionais e técnicas que tem como principal objetivo proteger a saúde e integridade física dos trabalhadores, ou seja, é um conjunto de medidas tomadas para reduzir acidentes de trabalho e doenças ocupacionais. Além de desempenhar esse papel, pode aumentar a qualidade do trabalho realizado, mantendo um ambiente seguro e saudável, influenciando diretamente na produtividade e reduzindo os custos. Medidas preventivas evitam que as empresas tenham gastos que não estavam programados, como por exemplo funcionários acidentados, multas e processos judiciais (MELO; PEIXOTO; BARBOSA, 2021).

Para auxiliar no processo de avaliação de riscos e prevenção de acidentes, existem algumas ferramentas e técnicas comumente utilizadas dentro das empresas. São elas: Lista de verificação, Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP), Análise do modo de falha e efeito (FMEA), Análise preliminar de perigos (APP), Análise de árvore de Falhas (AAF), Matriz de probabilidade/consequência (ABNT 2012). Entretanto, essas ferramentas possuem algumas limitações, como por exemplo a subjetividade de notas atribuídas para severidade e probabilidade de ocorrência de um determinado risco.

Nesse sentido, a Inteligência Artificial (IA) pode contribuir como uma ferramenta promissora uma vez que objetiva o processamento de informações de acordo com seu treinamento prévio com entrada-saída de dados. Dessa forma, a lógica de *Fuzzy*, ou também conhecida como lógica difusa, vem sendo usada para o processo de avaliação e priorização de riscos para redução de acidentes, pois auxilia o especialista na resolução de problemas cujo tratamento numérico é difícil pela quantidade de variáveis ou por sua complexidade, que resultaria em soluções com discrepância às expectativas de soluções desejadas (BARON et al, 2017; EUGÊNIO et al, 2020).

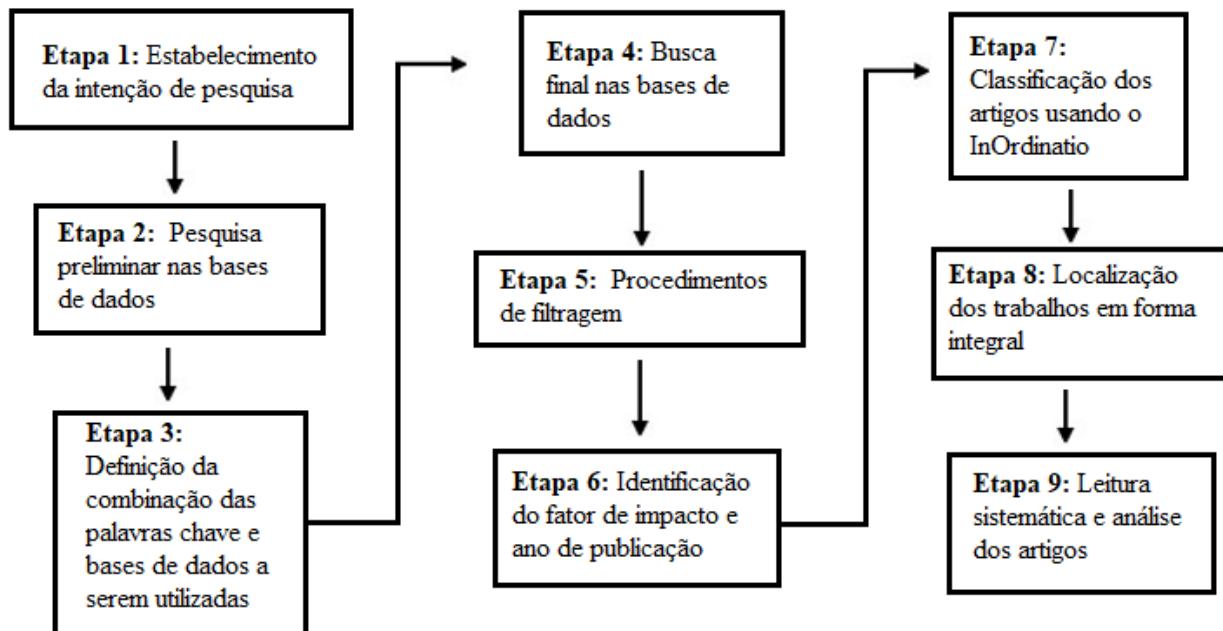


Com o objetivo de procurar entender melhor a aplicabilidade da utilização da lógica *Fuzzy* no processo de avaliação e priorização de riscos, esse trabalho pretende fazer uma revisão sistemática da literatura.

2 MÉTODO

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é o tipo de pesquisa que organiza, critica e integra as evidências disponíveis (BARBOSA et al, 2019). São baseadas em perguntas claras, utilizando-se de métodos sistemáticos e explícitos com objetivo de identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes. Para realização deste artigo foi utilizado o protocolo *Methodi Ordinatio*, levando em consideração três variáveis fundamentais para identificar a relevância das pesquisas, sendo eles o fator de impacto da revista, o número de citações e o ano de publicação do artigo. Esta metodologia foi aplicada em mais de 200 pesquisas de revisão sistemática em diferentes áreas do conhecimento, incluindo a Saúde e Segurança do Trabalho (SST) (PEIXOTO; PEREIRA-FILHO; FARIAS, 2021; ROLIM, GABRIEL, MOTA, & QUENTAL, 2021).

Este estudo seguiu as nove etapas do *Methodi Ordinatio* (Figura 1) para classificar os trabalhos da produção acadêmica. A aplicação da equação *InOrdinatio* (Equação 1), permite aos pesquisadores identificarem, dentre os trabalhos selecionados, os mais relevantes para serem analisados na revisão (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015; PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2018).


 FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA METODOLOGIA *INORDINATIO*


FONTE: Autores (2021)

$$InOrdinatio = \left(\frac{Fi}{1000} \right) + \alpha \times [10 - (Aat - Aar)] + \sum Ci \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

 Fi = fator de impacto da revista (SJR ou JCR) em que o artigo foi publicado;

α = fator de ponderação, relacionado com o peso do ano de publicação, que varia de 1 a 10. É atribuído pelo pesquisador, conforme a atualidade do tema. Neste trabalho, utilizou-se $\alpha = 10$, pois Pagani, Kovaleski e Resende (2015) sugerem utilizar este valor quando a atualidade dos artigos analisados é um fator importante para pesquisa.

 Aat = ano da execução das buscas desta pesquisa (constante igual a 2021);

 Aar = ano de publicação de cada artigo encontrado;

 $\sum Ci$ = somatório de citações do artigo.

2.1 ETAPAS DO *METHODI ORDINATIO*

Na etapa um, estabeleceu-se a intenção de pesquisa: utilização da lógica *Fuzzy* como ferramenta para auxiliar no processo de avaliação de riscos ocupacionais.

Na etapa dois, foi realizada a pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que reúne e disponibiliza conteúdo de qualidade a todas instituições e pesquisadores do Brasil. As buscas não foram limitadas por filtro de data, com o intuito de realizar uma revisão de todos os estudos publicados até a atualidade.

Na etapa três foram definidas as palavras chaves para a busca. Foi pesquisado na plataforma a expressão “*Fuzzy occupational*”, posteriormente foi necessário ampliar as buscas



por “Fuzzy” no título e “Work safety and occupational and MatLab”. Os descritores foram escritos na língua inglesa como forma de ampliar o potencial de busca das publicações. A opção “somente artigos” foi selecionada tendo em vista à exigência de se ter somente estudos primários em Revisões Sistemáticas da Literatura (GALVÃO; PEREIRA, 2014). Por fim, foi realizada a busca final no portal da CAPES (etapa quatro).

Na etapa cinco, denominada procedimentos de filtragem, foi efetuada a leitura dos 52 títulos e resumos, com o objetivo de garantir que houvesse a relação da lógica *Fuzzy* com a segurança no trabalho. Após essas leituras, foram eliminados aqueles que não se relacionavam com o tema (Quadro 1), restando 12 artigos.

QUADRO 1 – RESULTADO *METHODI ORDINATIO* COM FILTRAGEM

| PROCESSO DE FILTRAGEM | RESULTADO |
|--|-----------|
| Total de artigos | 52 |
| Total após eliminação de artigos não relacionados ao tema proposto ou sem fator de impacto | 12 |
| Total de artigos analisados na RSL (etapa nove) | 12 |

FONTE: Autores (2021)

A identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações foi realizada na etapa seis, utilizando-se os sites das revistas.

Na etapa sete, que trata da classificação dos artigos usando Equação *InOrdinatio*, realizou-se o cálculo apresentado na Equação 1.

Os artigos foram organizados em uma planilha (Quadro 2) contendo título e ano de publicação do artigo, número de citações (conforme *Scientific Journal Rankings* - SJR), fator de impacto e resultado do cálculo *InOrdinatio*.

A localização dos trabalhos em formato integral (etapa oito), foi realizada simultaneamente com a etapa seis, conforme orientam Pagani, Kovaleski e Resende (2018), por se tratar da visualização de forma integral dos artigos localizados.

Para leitura sistemática e análise dos artigos (etapa nove), o pesquisador atribui valores e critérios pessoais a fim de determinar quantos artigos irá ler, tendo em vista que os trabalhos se encontram, nesta fase, classificados por ordem de relevância (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2018). Neste trabalho, optou-se pela leitura de todos os 12 artigos selecionados.

3 RESULTADOS

3.1 LÓGICA FUZZY

Apesar de matrizes de probabilidade e impacto serem ferramentas consagradas para a análise de riscos (ABNT, 2012), elas apresentam necessidade de analisar informações imprecisas oriundas do conhecimento do especialista humano e o ranqueamento dos riscos classificados. Neste contexto, o emprego de Sistemas de Inferência *Fuzzy* em uma matriz desse tipo permite minimizar essas deficiências e reduzir incertezas por meio da modelagem do conhecimento humano (NAPOLITANO; SASSI, 2018).

A lógica *Fuzzy* foi introduzida nos meios científicos por Zadeh em 1965, através da publicação do artigo *Fuzzy Sets* no *Journal Information and Control* (RIGNEL; CHENCI; LUCAS, 2011). Porém, segundo Cox (1994), os princípios apresentados por esta lógica existiam há muitos anos. Em 1920, um Polonês chamado Jan Lukasiewicz utilizou o princípio

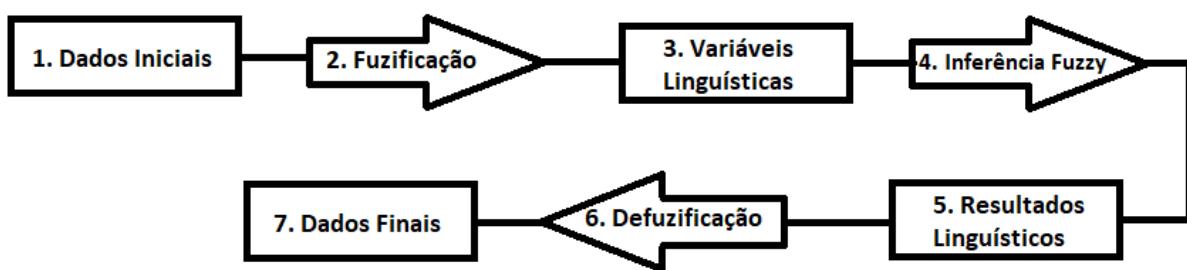


da incerteza e apresentou pela primeira vez as noções da lógica dos conceitos vagos onde é admissível um conjunto com valores não precisos. Primeiramente, Jan introduziu conjuntos com grau de pertinência sendo 0, $\frac{1}{2}$ e 1. Mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1 (SILVA et al, 2019).

Diferente da lógica Booleana que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso, a lógica difusa trata de valores que variam entre 0 e 1. Assim, uma pertinência de 0,5 pode representar meio verdade, logo 0,9 e 0,1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente (SILVA et al, 2019).

Com este exemplo apresentado, foi feita a criação das chamadas variáveis linguísticas que diferente da lógica tradicional, a *Fuzzy* permite captar o grau de incerteza presente nessas variáveis e modelá-las. O sistema lógico *Fuzzy* segue a sequência demonstrada na Figura 2.

FIGURA 2: SISTEMA LÓGICO FUZZY



FONTE: Autores baseado em Cox (1995).

Fuzzificação é o processo de decompor as variáveis de entrada de um sistema em um ou mais conjuntos difusos, produzindo uma série de percepções da entrada (RODRIGUES et al, 2016). São funções que relacionam uma variável numérica com um "grau de pertinência" a diferentes variáveis linguísticas (SARACINO et al, 2015).

As variáveis linguísticas são nomes dados aos conjuntos *Fuzzy*. Classificações como "muito baixo", "baixo", "médio", "alto" e "muito alto" são as variáveis linguísticas de um sistema. Sua principal função é possibilitar uma caracterização aproximada de fenômenos complexos.

Na etapa de inferência, ocorre a definição de regras. O modo mais comum de armazenar conhecimento *Fuzzy* é composto pela seguinte regra: se <situação> então <ação> (BARON et al, 2017).

A defuzzificação compreende o resultado interpretado da metodologia de inferência *Fuzzy* em elementos finais. Existem inúmeros métodos para defuzzificação, dentre eles destaca-se o método do centroide ou centro de área, que utiliza a soma dos valores de pertinência multiplicados pelos valores das variáveis, dividindo esse valor final pela área total do conjunto (*Fuzzy*) a ser defuzzificado (SHAW; SIMÕES, 1999).

3.2 RESULTADOS DA EQUAÇÃO INORDINATIO

O Quadro 2 apresenta os resultados do cálculo *InOrdinatio* dos 12 artigos selecionados.


 QUADRO 2 – RESULTADO DA EQUAÇÃO *INORDINATIO* PARA OS 12 ARTIGOS SELECIONADOS

| Artigo (etapa 5) | Citações (etapa 6) | Fator de Impacto (etapa 6) | Resultado <i>InOrdinatio</i> (etapa 7) |
|--|-----------------------|-------------------------------|---|
| 1. Application of Fuzzy Logic for Predicting of Mine Fire in Underground Coal Mine (DANISH; ONDER, 2020) | 4,5 | 2,70 | 94,50 |
| 2. Fire monitoring in coal mines using wireless underground sensor network and interval type-2 fuzzy logic controller (BASU et al, 2019) | 4,6 | 3,82 | 84,60 |
| 3. Development of Driving Fatigue Strain Index Using Fuzzy Logic to Analyze Risk Levels of Driving Activity (ANI et al, 2019) | 1,8 | 0,75 | 81,80 |
| 4. Risk assessment of particulate matters in a dentistry school using fuzzy inference systems (JAMSHIDI; KARIMI; HAGHSHENAS, 2018) | 3,9 | 4,41 | 73,93 |
| 5. A Fuzzy Logic Approach in the Definition of Risk Acceptance Boundaries in Occupational Safety and Health (RODRIGUES et al, 2016) | 3,6 | 1,54 | 53,60 |
| 6. Proactivity-and- consequence-based safety incentive (PCBSI) developed with a Fuzzy approach to reduce occupational accidents (SARACINO et al, 2015) | 7,8 | 5,49 | 47,80 |
| 7. Occupational Health and Safety Within the Scope of Risk Analysis with Fuzzy Proportional Risk Assessment Technique (Fuzzy Prat) (SUPCILLER; ABALI, 2015) | 3,7 | 2,63 | 43,70 |
| 8. Artificial Neural Networks and Advanced Fuzzy Techniques for Predicting Noise Level in the Industrial Embroidery Workrooms (ALIABADI et al, 2015) | 2,8 | 1,58 | 42,80 |
| 9. Human action quality evaluation based on Fuzzy logic with application in underground coal mining (IONICA; LEBA, 2015) | 0,0 | 1,50 | 40,00 |
| 10. Fuzzy logic-based model for prediction of building wall humidity level (HOSSAIN et al, 2014) | 4,0 | 2,92 | 34,00 |
| 11. Application of Fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines (GHASEMI; ATAEI, 2013) | 6,5 | 5,40 | 26,50 |
| 12. Expert system to predict effects of noise pollution on operators of power plant using neuro-fuzzy approach (AHMED; ZULQUERNAIN, 2009) | 2,6 | 0,86 | -17,39 |

FONTE: Autores (2021)

A seguir (Quadro 3), encontra-se um resumo dos 12 artigos selecionados para análise nesta RSL.

QUADRO 3 – RESUMO DOS 12 ARTIGOS ANALISADOS

| ARTIGO | OBJETIVO | INPUTS | OUTPUTS |
|--------|----------|--------|---------|
|--------|----------|--------|---------|



| | | | |
|--|--|---|--|
| 1. Aplicação da lógica <i>Fuzzy</i> para previsão de fogo em mina de carvão subterrânea (DANISH; ONDER, 2020). | Prever a ocorrência de incêndios em mina de carvão subterrânea. Para auxiliar nesse processo, foi utilizada a lógica <i>Fuzzy</i> . | CO O ₂ N ₂ Temperatura | Intensidade do fogo |
| 2. Monitoramento de incêndio em minas de carvão usando sensor subterrâneo sem fio e lógica difusa tipo 2 (BASU et al, 2019). | Utilizar um novo sistema de lógica <i>Fuzzy</i> tipo 2 (T2FLS) para prever incêndios e avaliar riscos em uma mina de carvão subterrânea. | Temperatura CO CO ₂ O ₂ | Intensidade do fogo |
| 3. Desenvolvimento do Índice de Esforço de Fadiga de Condução usando lógica <i>Fuzzy</i> para analisar os níveis de risco da atividade de direção (ANI et al, 2019). | Quantificar o nível de risco e propor uma solução para minimizar o número de acidentes e mortes, utilizando a lógica <i>Fuzzy</i> . | Atividade muscular Frequência cardíaca Força manual Distribuição de pressão no assento Vibração de corpo inteiro Duração de condução | Índice de tensão de fadiga de condução |
| 4. Avaliação de risco de partículas em uma escola de odontologia usando sistema de inferência <i>Fuzzy</i> (JAMSHIDI; KARIMI; HAGHSHENAS, 2018). | Avaliar a concentração de poeira no ar por sistemas de inferência <i>Fuzzy</i> | Partículas finas de poeira mineral Partículas grossas de poeira mineral Partículas totais suspensas | Nível de risco à saúde |
| 5. Uma abordagem de lógica difusa na definição de limites de aceitação de risco em segurança ocupacional e saúde (RODRIGUES et al, 2016). | Analizar a opinião dos profissionais de SST sobre seu nível de aceitação de risco de acidente no setor moveleiro, utilizando a lógica <i>Fuzzy</i> | Dias de trabalho perdidos por acidente Frequência de acidentes | Nível de Risco |
| 6. Incentivo de segurança baseada em proatividade e consequências desenvolvida com uma abordagem difusa para reduzir acidentes de trabalho (SARACINO, et al 2015). | Apresentar um sistema de recompensa (não monetária) para aumentar a segurança durante as atividades de trabalho, melhorando a motivação e o desempenho dos trabalhadores e reduzindo os acidentes de trabalho. | Nível de proatividade dos trabalhadores Prioridade de intervenção | Valor do sistema de recompensa |
| 7. Saúde e Segurança Ocupacional no Escopo da Análise de Risco com Fuzzy Proporcional. Técnica de avaliação de risco (<i>Fuzzy Prat</i>) (SUPCILLER; ABALI, 2015). | Integrar a técnica PRAT (avaliação de risco proporcional) com a lógica <i>Fuzzy</i> . | Probabilidade Severidade Frequência | Pontuação do risco |
| 8. Técnicas de redes neurais artificiais e <i>Fuzzy</i> para prever o nível de ruído em oficinas de bordados industriais (ALIABADI et al, 2015). | Utilizar redes neurais e lógica <i>Fuzzy</i> para prever o nível de ruído nas oficinas de bordados industriais. | Velocidade do bordado Número de cabeça de bordados | Nível equivalente de ruído |



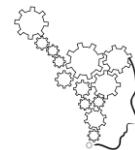
| | | Número de bordados Tipo tecido Vida útil da máquina de bordar Tipo de fabricante | |
|---|--|--|-----------------------------------|
| 9. Avaliação da qualidade da ação humana com base em lógica difusa com aplicação no subsolo mineração de carvão (IONICA; LEBA, 2015) | Aplicar um método de avaliação das ações humanas para estimar os possíveis riscos e prevenir possíveis falhas do sistema, tanto no nível do fator humano quanto no nível do equipamento. | Escopo Meios Efeitos Meios cognitivos | Ações humanas |
| 10. Modelo baseado em lógica difusa para previsão do nível de umidade na construção de parede (HOSSAIN et al, 2014) | Prever o nível de umidade da parede do edifício | Composição do material Hora do dia | Umidade relativa |
| 11. Aplicação da lógica difusa para prever a taxa de queda do telhado em minas de carvão (GHASEMI; ATAEI, 2013) | Utilizar a lógica <i>Fuzzy</i> como ferramenta para auxiliar e prever quedas de telhados em minas de carvão. | Classificação de telhado de mina de carvão Suporte primário de telhado Vão de intersecção Profundidade de cobertura | Taxa de queda do telhado |
| 12. Sistema para prever os efeitos da poluição sonora em operadores de usinas de energia usando abordagem neuro-difusa (AHMED; ZULQUERNAIN, 2009) | Desenvolver um modelo <i>Fuzzy</i> para prever os efeitos da poluição sonora na eficiência do trabalho humano através das variáveis nível de ruído, tempo de exposição e idade dos operadores. | Nível de ruído Tempo de exposição Idade | Redução na eficiência do trabalho |

FONTE: Autores (2021)

É possível observar que os artigos se referem a estudos realizados em diversos locais do mundo (Quadro 4).

QUADRO 4 – LOCAL DOS ARTIGOS SELECIONADOS NA FILTRAGEM

| LOCAL DA PESQUISA | REFERÊNCIA |
|-------------------|-------------------------------------|
| Índia | AHMED; ZULQUERNAIN (2009) |
| | BASU et al (2019) |
| Irã | ALIABADI et al (2015) |
| | JAMSHIDI; KARIMI; HAGHSHENAS (2018) |
| | GHASEMI; ATAEI (2013) |
| Malásia | ANI et al (2019) |
| | HOSSAIN et al (2014) |
| Turquia | DANISH; ONDER (2020) |
| | SUPCILLER; ABALI (2015) |
| Romênia | IONICA; LEBA (2015) |
| Portugal | RODRIGUES et al (2016) |



| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Itália | SARACINO et al (2015) |
| FONTE: Autores (2021) | |

Apesar de não ter sido filtrado artigo com procedência brasileira sobre o tema dessa revisão, a lógica *Fuzzy* pode ser promissora no processo de avaliação de riscos ocupacionais em ambientes de trabalho.

4 DISCUSSÃO

Os estudos incluídos nesta RSL mostraram que existem diversas situações que a lógica *Fuzzy* pode ser aplicada, auxiliando nas análises e eliminando os riscos.

Danish e Onder (2020) utilizaram a lógica *Fuzzy* para prever os pontos de uma mina de carvão subterrânea que têm maior chance de entrar em combustão espontânea e causar incêndio e, portanto, requerem medidas de prevenção.

Neste estudo a lógica *Fuzzy*, que é uma técnica mais precisa e confiável na previsão de combustão espontânea e monitoramento de fogo foi proposta. A intensidade do fogo foi verificada a partir de dados de CO, O₂, N₂ e temperatura.

Apresentando alguns resultados, pode-se notar que se a concentração de oxigênio é 3,3% e o nitrogênio 13,4% então a intensidade do fogo é 1,3. Se a concentração de oxigênio é 0% e CO é 0,0015% então a intensidade do fogo é 1,9. Se a concentração de nitrogênio é 0% e a temperatura é 26°C então a intensidade do fogo é 2 (DANISH; ONDER, 2020).

Basu et al., (2019) instalaram sensores em minas de carvão para obter dados ambientais como temperatura, umidade relativa, concentrações de gás, entre outros. Os resultados, mostraram que a lógica *Fuzzy* foi eficaz para prevenir risco de incêndio. Além disso, reduz o atraso na tomada de decisão comparado ao sistema off-line.

No artigo de Ani et al (2019), a lógica *Fuzzy* foi utilizada para analisar os níveis de risco da atividade de direção. O nível de risco foi quantificado para propor uma solução adequada para minimizar o número de acidentes e mortes nas rodovias.

Os autores usaram a lógica *Fuzzy* para o desenvolvimento do Índice de Tensão de Fadiga de Condução, baseado em seis fatores de risco (fadiga ao dirigir; atividade muscular, frequência cardíaca, força de pressão de preensão manual, distribuição de pressão no assento, vibração de corpo inteiro e duração da direção) para fornecer a análise sistemática e propor uma solução adequada para minimizar o número acidentes rodoviários e mortes. Esse índice (DFSI) objetiva alertar os usuários da estrada sobre o nível de risco e condição de direção, sendo segura ou insegura

Três níveis de risco foram definidos pelos autores: condições de condução “seguras” e precisam ser mantidas para que o motorista esteja confortável e seguro; condições de condução “ligeiramente inseguras” e podem prejudicar o motorista, possibilitando o envolvimento em acidentes; e condições de condução “inseguras” e o motorista não tem permissão de dirigir o carro, pois pode acarretar acidentes rodoviários.

A fadiga ao dirigir foi identificada por Ani et al., (2019) como fator que mais contribui para os acidentes rodoviários e fatalidades, sendo os principais motivos: sensação de sonolência devido a um período de condução longo e condições de estrada monótonas.

No artigo de Jamshidi, Karimi e Haghshenas (2018), foi usada a lógica difusa usada para estimar o nível de risco à saúde causado poeira suspensa em diferentes partes de uma escola de odontologia: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto.

Os resultados deste estudo revelaram que as maiores concentrações de partículas estavam relacionadas às partículas suspensas totais (15,9 mg/m³) e às partículas grossas de



poeira mineral ($7,6 \text{ mg/m}^3$) na ortodontia geral. Na ortodontia especial, havia $13,5 \text{ mg/m}^3$ de partículas suspensas totais e $7,1 \text{ mg/m}^3$ de partículas grossas de poeira mineral.

A concentração de partículas finas de poeira mineral foram $6,9 \text{ mg/m}^3$ e $5,3 \text{ mg/m}^3$, na ortodontia geral e especial, respectivamente.

Dessa forma, a lógica *Fuzzy* foi considerada como ferramenta apropriada para modelar a distribuição de partículas (JAMSHIDI, KARIMI E HAGHSHENAS, 2018).

No artigo de Rodrigues et al (2016), foi feita uma abordagem de lógica *Fuzzy* na definição de limites de aceitação de risco em segurança ocupacional e saúde. Este artigo teve como principal objetivo analisar a opinião dos profissionais de SST sobre seu nível de aceitação de risco de acidente no setor moveleiro, utilizando a lógica *Fuzzy* (RODRIGUES et al, 2016).

O nível de risco foi avaliado a partir das variáveis de entrada: dias de trabalho perdidos por acidente e frequência de acidentes.

O nível de risco era aceitável quando as variáveis de entrada estavam no valor mais baixo (azul). A transição entre o nível aceitável (azul) e o nível inaceitável (amarelo) foi representado por outras cores, demonstrando que não havia descontinuidade quando ocorreu pequena mudança em uma das variáveis de entrada. Essa ausência de descontinuidade entre os 3 níveis (aceitável, tolerável e inaceitável) tornam difícil definir os limites entre eles. Isso ocorre devido a variação de um profissional para outro (RODRIGUES et al, 2016).

No artigo de Saracino et al (2015), foi proposta a participação dos trabalhadores e um sistema de recompensa de segurança. Ao analisar atividades que apresentavam riscos eram desenvolvidos relatórios, porém cada situação poderia ter um grau diferente de perigo.

O sistema de recompensa baseava-se em um incentivo à segurança, que poderia ser definido por meio de dois parâmetros: o comportamento do trabalhador, medido especialmente em termos de proatividade (ou seja, a atitude dos trabalhadores em relatar potencialmente situações perigosas); e as consequências que poderiam ser evitadas.

As informações coletadas por meio de um relatório ajudavam na avaliação do que um possível risco poderia causar. Um trabalhador que produziu um bom relatório, apresentou propostas para o problema e evitou que o risco acontecesse deveria ser recompensado pela empresa através de um incentivo, não necessariamente econômico (SARACINO et al, 2015). Como resultado dessa aplicação, ocorreu um aumento no número de relatórios sobre eventos perigosos. Devido a esse crescimento, a empresa possui uma grande quantidade de dados, os quais permite monitorar os padrões de segurança e planejar intervenções de manutenção (SARACINO et al, 2015).

A lógica *Fuzzy* foi aplicada para quantificar os dois parâmetros tendo em vista a sua imprecisão gerar o valor final do incentivo de segurança. O método proposto, Incentivo de Segurança Baseado em Proatividade e Consequência, foi promissor para aumentar a segurança nos locais de trabalho e consequentemente reduzir os custos de acidentes para a empresa (SARACINO et al, 2015).

A técnica *Proportional Risk Assessment Technique* (PRAT) utiliza uma equação para calcular o risco, a qual é composta pelo produto de três parâmetros: probabilidade, severidade e frequência. Supciller e Abali (2015) utilizaram a lógica *Fuzzy* para integrar esta análise de risco.

No método PRAT, diferentes grupos de probabilidade, severidade e frequência podem gerar a mesma pontuação de risco, embora o risco possa implicar em perigos completamente diferentes. Conforme os autores, a utilização da lógica *Fuzzy* permitiu a interpretação dos riscos de forma mais realista, considerando a importância relativa entre probabilidade, severidade e



frequência, obtendo-se uma classificação mais precisa, que corrige as deficiências do modelo convencional (SUPCILLER; ABALI, 2015).

Após apresentar os métodos utilizados para avaliação de riscos, foi realizado um estudo de caso em uma empresa têxtil que fabrica toalhas e roupões de banho. Para determinar as fontes dos perigos, a empresa foi visitada diversas vezes e com base nas entrevistas com os trabalhadores, as fontes de perigo mais significativas foram as máquinas de tear. Foram encontradas 37 fontes de perigo e os parâmetros de probabilidade, severidade e frequência foram determinados (SUPCILLER; ABALI, 2015).

Aliabadi et al (2015), utilizaram redes neurais e lógica *Fuzzy* para prever o nível de ruído nas oficinas de bordados industriais. A previsão de ruído é uma ferramenta importante para avaliar o custo-benefício medidas de controle de ruído em salas de trabalho industriais.

Os dados foram coletados em 60 salas de bordados industriais. Devido à natureza das operações de bordar, os operadores estão expostos a ruído excessivo e correm risco de perda de audição (ALIABADI et al, 2015).

Tipo de fabricante das máquinas, número de bordados, tipo de tecido, vida útil da máquina de bordar, velocidade de operação e número de cabeças de bordado as características reconhecidas para verificar a emissão de ruído (ALIABADI et al, 2015).

A combinação das abordagens redes neurais e lógica *Fuzzy* para prever o nível de ruído nas oficinas de bordados industriais foi muito favorável para o desenvolvimento de um sistema inteligente.

Os modelos de previsão desenvolvidos no estudo de Aliabadi et al (2015), podem ser considerados ferramentas úteis para profissionais de saúde ocupacional e acústica, com o objetivo de projetar, implementar e avaliar várias medidas de controle de ruído nas salas de trabalho.

Ionica e Leba (2015), aplicaram o modelo *Fuzzy* como método de avaliação das ações humanas para estimar possíveis riscos e prevenir possíveis falhas. A metodologia de pesquisa baseou-se na avaliação de escopo, meios e efeitos para definir ações.

Pôde-se observar o alto nível de risco associado a “Ações não eficientes” quando os meios cognitivos são “inadequados”, independentemente dos efeitos e meios envolvidos, são geradas avarias em todo o sistema de trabalho (IONICA; LEBA, 2015).

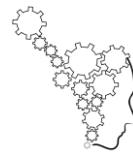
Além de avaliar o fator humano e enquadramento de suas ações em uma determinada tipologia, o estudo forneceu uma ferramenta visual, representada pelas superfícies difusas, útil para identificar um momento crítico que pode levar a avarias no sistema de trabalho (IONICA; LEBA, 2015).

Hossain et al (2014), apresentaram um modelo baseado na lógica *Fuzzy* para prever o nível de umidade na construção de uma parede. As consequências dessa umidade podem levar a rachaduras e deterioração, causando danos à estrutura. A umidade relativa foi verificada a partir dos dados de entrada: composição do material e hora do dia.

Foram utilizados três tipos de tijolos com diferentes composições de materiais para medir a umidade. Os três tijolos eram compostos de, respectivamente: 20, 30 e 40% de cimento, 70, 60 e 50% de areia e 10, 10 e 10% de água. (HOSSAIN et al, 2014).

Cada tijolo era fabricado com um orifício onde o sensor de umidade estava instalado para detectar o nível de umidade. Todos os tijolos eram salpicados com água do lado oposto do furo (HOSSAIN et al, 2014).

Os resultados da aplicação da lógica *Fuzzy* mostraram que o tijolo com a maior proporção de cimento exibiu a leitura de baixa umidade. O tijolo com proporção média de



cimento exibiu a leitura média de umidade. O tijolo com a menor proporção de cimento registrou a leitura de alta umidade (HOSSAIN et al, 2014).

No artigo de Ghasemi e Ataei (2013), a lógica *Fuzzy* foi aplicada para prever a taxa de queda do telhado em minas de carvão. Este risco é comum em atividades de mineração subterrânea de carvão, podendo causar lesões nos trabalhadores.

Os autores analisaram vários parâmetros conhecidos por influenciar a estabilidade do telhado: classificação do telhado de mina de carvão; suporte primário do telhado; vão de intersecção; e profundidade de cobertura.

Os resultados mostraram que o modelo proposto permitiu prever a taxa de queda do telhado corretamente em 19 (85%) dos 22 casos. Quando o modelo previu taxa de queda em que a probabilidade de ocorrer a queda do telhado era muito alta, permitiu desenvolver medidas de monitoramento e controle, que diminuem o risco de queda a um nível aceitável (GHASEMI; ATAEI, 2013). Dessa forma, os autores consideraram que a ferramenta *Fuzzy* foi útil e poderosa, sendo utilizada para aumentar a segurança das minas subterrâneas e reduzir acidentes (GHASEMI; ATAEI, 2013).

Ahmed e Zulquernain (2009), desenvolveram um modelo *neuro-fuzzy* com o objetivo de prever a eficiência do trabalho humano em uma estação de energia, a partir das variáveis nível de ruído, tempo de exposição e idade.

O ruído é um som indesejado que pode causar danos aos funcionários que ficam muito tempo expostos, como por exemplo efeitos na saúde mental e emocional, além de desviar a atenção ao desempenhar as tarefas (AHMED; ZULQUERNAIN, 2009).

Algumas regras usadas foram: SE o nível de ruído for baixo E o tempo de exposição for médio, E a idade for velha ENTÃO a redução na eficiência do trabalho é aproximadamente 4%. SE o nível de ruído for alto E o tempo de exposição for longo E a idade for velha ENTÃO a redução na eficiência do trabalho é aproximadamente 25% (AHMED; ZULQUERNAIN, 2009).

Através dos resultados obtidos, pôde-se observar que a eficiência do trabalho não foi afetada em 100 dBA para a idade jovem, enquanto para idades médias e velhas a redução na eficiência do trabalho foi de 30% e 50% respectivamente, com o mesmo tempo de exposição. Já a redução na eficiência do trabalho foi quase 23% para jovens, 42% para idades médias e 63% para idades velhas a 105 dB.

Ao aplicar este modelo, conclui-se que para o mesmo tempo de exposição, o nível de ruído e a idade teve grande influência nos resultados. Além disso, a faixa etária jovem não foi afetada enquanto as idades avançadas foram significativamente afetadas (AHMED; ZULQUERNAIN, 2009).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram apresentadas as possibilidades de aplicação da lógica *Fuzzy* como ferramenta aliada na segurança e saúde do trabalhador, ajudando a prevenir acidentes de trabalho.

Além disso, observou-se que a lógica *Fuzzy* pode ser aplicada com diversas finalidades, e se torna promissora a sua utilização no processo de avaliação de riscos ocupacionais em ambientes de trabalho.



REFERÊNCIAS

- AHMED, H. K.; ZULQUERNAIN, M. Expert system to predict effects of noise pollution on operators of power plant using neuro-fuzzy approach. **Noise Health**, v. 11, p. 206-216, 2009. <http://doi.org/10.4103/1463-1741.56214>
- ALIABADI, M. et al. Artificial Neural Networks and Advanced *Fuzzy* Techniques for Predicting Noise Level in the Industrial Embroidery Workrooms. **Applied Artificial Intelligence**, v. 29, p. 766-785, 2015. <https://doi.org/10.1080/08839514.2015.1071090>
- ANI, M. F. et al. Development of Driving Fatigue Strain Index Using *Fuzzy* Logic to Analyze Risk Levels of Driving Activity. **Transactions on Electrical and Electronic Engineering**, v. 14, p. 1764-1771, 2019. <https://doi.org/10.1002/tee.23002>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (2012). **ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012 - Gestão de Riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos**. Rio de Janeiro, RJ. 96 p.
- BARBOSA, F. T. et al. Tutorial for performing systematic review and meta-analysis with interventional anesthesia studies. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 69, p. 299-306, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2019.03.003>
- BARON, L. G. et al. Modelagem *Fuzzy* para apoio à tomada de decisão sobre as condições de trabalho em marmorarias. **Revista Brasileira de Qualidade de Vida**, v. 9, p. 327-349, 2017. <http://doi.org/10.3895/rbqv.v9n4.5646>
- BASU, S. et al. Fire monitoring in coal mines using wireless underground sensor network and interval type-2 *Fuzzy* logic controller. **International Journal of Coal Science & Technology**, v. 6, p. 274-285, 2019. <http://doi.org/10.1007/s40789-019-0244-7>
- BERMUDES, W.; FONTANA, K. R. Occupational risk in a motorcycle trade and accident history company from 2007 to 2017. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 8, p. 4-15, 2020. <http://doi.org/10.5380/relainep.v8i13.67754>
- BRASIL. Lei 8.213 de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm. Acesso em: 20 ago. 2021.
- COX, E. *Fuzzy logic for business and industry*. Massachusetts: Charles River Media INC, 1995.
- COX, E. *The Fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems*. Newlegis York: AP Professional, 1994.
- DANISH, E.; ONDER, M. Application of *Fuzzy* logic for predicting of mine fire in underground coal mine. **Safety and Health at Work**, v. 11, p. 322-334, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.06.005>



EUGÊNIO, T. M. C. et al. Metodologia *Fuzzy* aplicada à avaliação do bem-estar de operadores de máquinas portáteis motorizadas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, p. 10-19, 2020. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0002>

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 183-184, 2014. <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742014000100018>

GHASEMI, E.; ATAEI, M. Application of *Fuzzy* logic for predicting roof fall rate in coal mines. **Neural Computing and Applications**, v. 22, p. 311-321, 2013. <http://doi.org/10.1007/s00521-012-0819-3>

HOSSAIN, A. et al. *Fuzzy* logic-based model for prediction of building wall humidity level. **Indoor and Built Environment**, v. 23, p. 565-573, 2014. <http://doi.org/10.1177/1420326X12462713>

IONICA, A.; LEBA, M. Human action quality evaluation based on *Fuzzy* logic with application in underground coal mining. **Work**, v. 51, p. 611-620, 2015. <http://doi.org/10.3233/WOR-152012>

JAMSHIDI, R. H.; KARIMI, A.; HAGHSHENAS, M. Risk assessment of particulate matters in a dentistry school using *Fuzzy* inference systems. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 116, p. 257-263, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.11.010>

MELO, G. A.; PEIXOTO, M. G. M.; BARBOSA, S. B. Ergonomic analysis in the information technology sector of a federal university located in alto paranaiba. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 9, p. 153-165, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/relainep.v9i16.82815>

NAPOLITANO, D. M. R.; SASSI, R. J. Modelo de sistema de inferência *Fuzzy* baseado em matrizes de probabilidade e impacto para classificar riscos em projetos. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 8, p. 69-89, 2018. <http://doi.org/10.22279/navus.2018.v8n4.p69-89.717>

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citations, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109-2135, 2015. <http://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.; RESENDE, L. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v. 46, p. 161-187, 2018. <https://doi.org/10.18225/ci.inf..v47i1.1886>

PEIXOTO, N. E. S.; PEREIRA-FILHO, M. M.; FARIA, J. S. Panorama da Produção Empírica Internacional de Inovação em Serviços Turísticos entre 2008 e 2020: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Revista Eletrônica de Negócios Internacionais**, v. 16, p. 56-74, 2021. <http://dx.doi.org/10.18568/internext.v16i1.596>

PIZA, F. T. Informações básicas sobre saúde e segurança no trabalho. São Paulo: CIPA, 1997.



RIGNEL, D. G. D. S; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. Uma introdução a lógica *Fuzzy*. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, p. 17-28, 2011.

RODRIGUES, M. A. et al. A *Fuzzy* logic approach in the definition of risk acceptance boundaries in occupational safety and health. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems Part B: Mechanical Engineering**, v.2, p. 1-6, 2016. <https://doi.org/10.1115/1.4032923>

SARACINO, A. et al. Proactivity-and-consequence-based safety incentive (PCBSI) developed with a *Fuzzy* approach to reduce occupational accidents. **Safety Science**, v. 79, p.175-183, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.011>

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA. 1999.

SUPCILLER, A. A.; ABALI, N. Occupational health and safety within the scope of risk analysis with *Fuzzy* proportional risk assessment technique (*Fuzzy* Prat). **Quality and Reliability Engineering International**, v. 31, p. 1137-1150, 2015. <http://doi.org/10.1002/qre.1908>

SILVA, L. M.; SILVA, E. J. A.; FERREIRA, L. F.; GONÇALVES, R. M.; SILVA, B. Q. Estado da arte dos fundamentos e ideias da Lógica *Fuzzy* aplicada as Ciências e Tecnologia. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 7, p. 149-169, 2019. <http://doi.org/10.3895/rbgeo.v7n3.9365>