

Utilização do método HRN para análise de riscos em espaços confinados - Um estudo aplicado em uma empresa do ramo alimentício

Use of the HRN method for risk analysis in confined spaces - A study applied in a food company

Mikaelle Silva¹

 orcid.org/0000-0001-5130-5048

Augusto Santos²

 orcid.org/0009-0008-8698-4587

Larissa Fonseca³

 orcid.org/0009-0000-6227-8807

Bianca M. Vasconcelos⁴

 orcid.org/0000-0002-5968-9581

Eliane M. Gorga Lago⁵

 orcid.org/0000-0003-0987-3492

Felipe Mendes da Cruz⁶

 orcid.org/0000-0002-0163-465X

¹Escola Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil. E-mail: mks@poli.br.

²Diretor da Máximo SMS, Recife, Brasil. E-mail: augusto@maximosms.com.br.

³Escola Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil. E-mail: lfts@poli.br.

^{4,5,6}Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil. E-mail: bianca.vasconcelos@upe.br; eliane.lago@upe.br; felipemendeslsh@poli.br.

DOI: 10.25286/repav9i2.2751

Esta obra apresenta Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

Como citar este artigo pela NBR 6023/2018: SILVA, Mikaelle; SANTOS, Augusto; FONSECA, Larissa; LAGO, Eliane M. G.; VASCONCELOS, Bianca M.; MENDES, Felipe Utilização do método HRN para análise de riscos em espaços confinados Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, vol 9, n.2 , p. 33-40, 2024.

RESUMO

O artigo aborda a análise dos riscos e perigos contidos em ambientes confinados, onde as atividades envolvem riscos significativos. Ambientes confinados são locais não projetados para ocupação humana, mas que precisam ser acessados ocasionalmente para tarefas como manutenção. A norma NR 33 estabelece diretrizes para garantir a segurança nesses espaços, incluindo a necessidade de um Plano de Gestão de Segurança e Saúde do Trabalho. Além dos riscos atmosféricos, existem também os riscos ocupacionais classificados como físicos, químicos, ergonômicos, biológicos e mecânicos. O estudo utiliza o método HRN para quantificar esses riscos nos espaços confinados de uma indústria de bebidas, considerando parâmetros como probabilidade de ocorrência e gravidade do dano. Os resultados destacam os riscos mecânicos como predominantes e os riscos químicos como mais prejudiciais à segurança e saúde dos trabalhadores. A pesquisa contribui para a compreensão e prevenção desses riscos, enfatizando a importância da gestão da segurança em ambientes confinados para proteger a vida dos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos; HRN; Espaços Confinados; Segurança.

ABSTRACT

The article addresses the analysis of risks and hazards present in confined spaces, where activities involve significant risks. Confined spaces are areas not designed for human occupancy that need occasional access for tasks such as maintenance. The NR 33 regulation establishes guidelines to ensure safety in these spaces, including the requirement for a Safety and Occupational Health Management Plan. In addition to atmospheric risks, there are also occupational risks classified as physical, chemical, ergonomic, biological, and mechanical. The study employs the HRN method to quantify these risks in confined spaces within a beverage industry, considering parameters such as probability of occurrence and severity of harm. The results highlight mechanical risks as predominant and chemical risks as more detrimental to the safety and health of workers. The research contributes to the understanding and prevention of these risks, emphasizing the importance of safety management in confined spaces to protect the lives of workers.

KEYWORDS: Risks; HRN; Confined Spaces; Safety.

1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento de técnicas de trabalho com novos processos e métodos também compreende preocupações e desafios relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores. A evolução humana e suas formas de execução de tarefas implicam no surgimento de riscos àqueles que executam as atividades, embora existam modos e ambientes de trabalho que demandam mais atenção devido ao risco inerente à atividade [1]. Uma delas é a atividade realizada no interior de espaços confinados (ECs) presentes em diversos setores produtivos. Segundo a NR 33 [2], espaço confinado é qualquer área ou ambiente em que possa existir atmosfera perigosa, possua meios limitados de entrada e saída e que não seja projetado para ocupação humana, mas tenha a necessidade de ser acessado eventualmente para a execução de atividades internas específicas como manutenção e/ou limpeza.

Os ECs costumam permanecer fechados por longos períodos, sendo abertos eventualmente por profissionais para inspeção, limpeza, manutenção ou resgate podendo expô-los a riscos de acidentes e óbito [3]. Nestas áreas é comum a ocorrência de eventos imprevistos devido à própria atmosfera do espaço que é naturalmente perigosa, sendo as causas mais comuns asfixia e aprisionamento/ soterramento em ambiente pobre de oxigênio, como afirma o Ministério do Trabalho.

Os acidentes em ambientes confinados costumam ser fatais e, em sua maioria, evitáveis se adotarem as medidas de segurança aplicáveis, sendo necessário criar meios de assegurar a vida dos trabalhadores [4]. Para evitar ocorrências de acidentes nestes espaços é necessário criar um Plano de Gestão de Segurança e Saúde do Trabalho em ambientes confinados [5]. Conforme a NR 33, a gestão de segurança e saúde do trabalho compreende um conjunto de medidas a serem planejadas, programadas, implementadas e avaliadas, integrando medidas técnicas de prevenção com as medidas administrativas, as medidas pessoais e de capacitação para trabalho em espaços confinados, assim como um gerenciamento dos riscos presentes em cada equipamento datado como espaço confinado através do estudo da planta de cada empresa e da natureza do material armazenado em cada espaço.

Apesar de serem mais conhecidos os riscos atmosféricos e respiratórios oferecidos pelas atividades em ambientes confinados, os que prestam serviços nesses espaços ainda são submetidos aos

riscos ocupacionais descritos pela norma regulamentadora de número 9 [6]. Estes riscos são divididos em cinco, podendo ser categorizados como riscos físicos, químicos, ergonômicos, biológicos ou mecânicos. Alguns dos riscos são intrínsecos ao ambiente de trabalho, outros surgem por fatores externos como a localização do espaço confinado e o produto ou as energias que este armazena, entretanto além do risco do espaço em si, deve-se mensurar os riscos próprios da atividade a ser exercida e os riscos que a execução da mesma em EC pode trazer ao trabalhador, uma vez que este tende a se potencializar [7].

Existem métodos para quantificação e análise de riscos que visam auxiliar no gerenciamento e previsibilidade dos riscos associados às atividades a fim de preservar a saúde e segurança dos trabalhadores no ambiente ocupacional. Um desses métodos é o HRN (*Hazard Rating Number*) que consiste numa equação matemática que tem por finalidade quantificar os riscos em máquinas e equipamentos em qualquer fase de operação. O HRN considera a máquina e o processo em que o equipamento está introduzido como parâmetros para o cálculo da variável. Em geral, ações colaborativas envolvem humanos e máquinas, as classificações padrão consideram apenas máquinas, mas o HRN considera ambos [8]. Visando analisar quantitativamente os riscos associados a espaços confinados mais utilizados na indústria bem como comparar os índices de periculosidade de cada risco de acordo com o método HRN, essa pesquisa foi elaborada.

2 METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma análise qualitativa e quantitativa que tem por propósito avaliar os riscos característicos dos ambientes confinados. Foram observados 137 espaços confinados na indústria de bebidas, através de visitas utilizando formulários capazes de catalogar e classificar a categoria do risco observado no equipamento, além de registros fotográficos. Esta observação *in loco* foi realizada em uma indústria localizada na cidade de Ipojuca - PE, com 42 dos espaços localizados na área interna e 95 na área externa.

Para melhor análise dos dados obtidos, optou-se por organizá-los fazendo uma divisão de acordo com tipo de equipamento e produto que este armazena. Assim foi possível separar em blocos os equipamentos que possuem características semelhantes quando se trata de seus aspectos principais, como volume, tipo e produto armazenado. O tratamento dos dados se configurou em uma observação numérica, relacionando o número total de riscos com o somatório de cada tipo para a obtenção de informações sobre a frequência de ocorrência de cada risco ocupacional de acordo com a Norma

Regulamentadora de número 9.

Durante a análise foi possível verificar que existia uma repetição de riscos ocupacionais em todos os espaços. Estes são chamados de riscos intrínsecos ao espaço, sendo provenientes da própria natureza de um ambiente confinado, ou seja, estão presentes independente da categoria, do material ou das energias armazenadas no espaço confinado. Exemplos desse tipo de risco são obstáculos e desníveis, temperaturas anormais, iluminação inadequada, dentre outros.

Sabendo disso, foi escolhida a metodologia de classificação do espaço pelo Número de Avaliação de Perigos, do inglês, Hazard Rating Number, ou ainda como é mais conhecido, o método HRN, paramelhor representar o nível de periculosidade de cada risco dentro do ambiente confinado. Este é uma metodologia semi-quantitativa que atribui valores numéricos aos parâmetros usados para obtenção de grau de risco, sendo eles: Probabilidade de ocorrência (PO); Frequência de exposição ao risco (FE); Grau de severidade do dano (GS) e Número de pessoas expostas ao risco (NP). O grau de risco pode ser obtido através do produto de tais parâmetros, sendo definido através da Equação (1).

$$HRN = GS \times PO \times FE \times NP \quad (1)$$

O parâmetro Número de pessoas expostas ao risco (NP) foi implantado nesta pesquisa como uma constante de valor 1 porque um espaço confinado não é capaz de comportar um grande número de pessoas ao mesmo tempo e para que a avaliação seja feita considerando o risco e seu efeito no indivíduo, não analisando o âmbito geral. Já o parâmetro Frequência de exposição ao riscotambém foi fixado como uma constante de valor 1 pela necessidade de acesso somente eventual ao espaço confinado, este não necessita de acesso contínuo e só apresenta perigo quando é acessado.

Além de utilizar o método citado no intuito de determinar a periculosidade atrelada ao cálculo de cada risco, ainda é possível classifica-los de acordo com os intervalos do Quadro 1. Desta forma é possível quantificar a influência de cada tipo de risco sobre os trabalhadores expostos dentro do ambiente ao invés de somente a sua presença neste.

Quadro 1 – Relação entre HRN obtido, classificação do risco e medida de controle requerida.

HRN		
Resultado	Risco	Avaliação
0 a 1	Aceitável	Considerar possíveis ações. Manter as medidas de proteção.
1 a 5	Muito baixo	
5 a 10	Baixo	Garantir que as medidas atuais de proteção são eficazes. Aprimorar com ações complementares.
10 a 50	Significante	
50 a 100	Alto	Devem ser realizadas ações para reduzir ou eliminar o risco. Garantir a implementação de proteções ou dispositivos de segurança.
100 a 500	Muito alto	
500 a 1000	Extremo	Ação imediata para reduzir ou eliminar o risco.
Acima de 1000	Inaceitável	Interromper atividade até eliminação ou redução do risco.

Fonte: [15].

2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELOS DE PREDIÇÃO

Para complementar a análise após o tratamento dos dados utilizando o método HRN, ainda foi feita uma análise estatística destes. Além disso, foram aplicados quatro modelos de predição por aprendizado de máquina (Machine Learning) para eventualmente obter a previsão dos valores de índice de risco de acordo com a quantidade e os tipos de riscos apresentados por um espaço confinado em específico. Para tanto foi utilizada a linguagem de programação Python aplicada à inteligência artificial.

Os modelos escolhidos foram a Regressão Linear que é um método estatístico utilizado com o objetivo de modelar e estudar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes [9], neste caso entre o índice de risco e as categorias de risco; A árvore de Decisão com um funcionamento que consiste em dividir os dados em subconjuntos cada vez mais puros ou homogêneos antes de aplicar a regressão [10]; O método SVR Linear cujo principal objetivo é encontrar a máxima margem capaz de separar um hiperplano que corta o gráfico da função enquanto classifica corretamente a maior quantidade de pontos de treinamento possível [11]; e as Redes neurais que funcionam semelhante às redes de neurônios biológicos, por um sistema de pesos que diferencia os atributos previsoires [12], que nesse caso são as categorias de risco.

Após aplicados os métodos, o estudo da eficácia dos modelos e a análise estatística foram feitos através de métricas dedicadas a este fim. As métricas escolhidas e calculadas para fundamentar as análises foram a correlação e o *r2 score* ou coeficiente de determinação. Como a correlação é um parâmetro capaz de medir o nível de relacionamento linear entre duas variáveis [13], esta foi utilizada para medir o grau de influência de cada categoria de risco no resultado final do índice de risco. Em contrapartida, o coeficiente de determinação que tem a capacidade de quantificar a proporção de variabilidade de determinado valor [14], foi utilizado com o objetivo de

medir a variância explicada dos valores do índice gerados pelos modelos de predição.

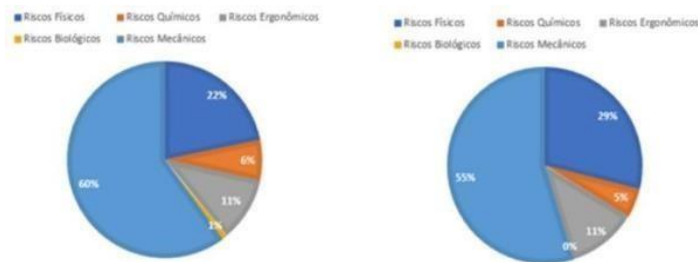
Para fazer todos os estudos foram escolhidos como dados de entrada, chamados de atributos precursores no caso dos modelos de previsão, a quantidade de riscos mecânicos, físicos, químicos, ergonômicos, biológicos, físicos, além do quantitativo total de riscos do espaço confinado analisado, estes foram organizados em um banco de dados. Além disso, o banco de dados foi dividido para as modalidades de treino e teste utilizadas pelos métodos de aprendizado de máquina, a divisão foi feita utilizando 70% do banco para treino e os outros 30% para teste dos modelos. Com os dados de entrada sendo submetidos aos métodos escolhidos, estes são capazes de gerar dados referentes ao valor de índice de risco para cada espaço confinado em específico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A indústria analisada nesta pesquisa atua no setor de produção de bebidas, seus espaços confinados inventariados são, em sua maioria, tanques de armazenamento de insumos necessários para a produção desse gênero alimentício. Estes ECs estão divididos nas categorias externos e internos. No gráfico da esquerda na Figura 1, tem-se a porcentagem de cada classificação de risco dos ECs internos. Onde os valores mais expressivos estão destinados aos Riscos Mecânicos com 55%, seguido dos Riscos Físicos e Ergonômicos com 29% e 11% respectivamente.

O gráfico da direita na Figura 1 apresenta a porcentagem de cada classificação de risco dos ECs externos com maior expressividade dos Riscos Mecânicos com 60% seguido dos Riscos Físicos e Ergonômicos com 22% e 11% respectivamente. Cabe destacar que, por se tratar de espaços não perturbados e cuja análise foi inicialmente semiquantitativa, os riscos atmosféricos não aparecem como riscos principais. Poeiras, gases e vapores devem ser avaliados quantitativamente com equipamentos de leitura direta antes da entrada e durante a permanência no local, mesmo após ter sido feita uma pré-análise de riscos do ambiente confinado. Esse tipo de avaliação não foi objeto do presente estudo.

Figura 1 – Quantitativo de riscos na área externa; Quantitativo de riscos na área interna



Fonte: Os autores.

A maioria dos riscos ditos como intrínsecos aos espaços analisados foi classificada na categoria de riscos mecânicos, de acordo com as informações apresentadas pela norma regulamentadora de número 9 que trata dos riscos ocupacionais. Sabendo disso, o estudo feito utilizando somente a quantidade de riscos por categoria dos espaços não seria eficaz para afirmar a periculosidade de um espaço.

Com o objetivo de resolver o problema da eficácia em afirmar a periculosidade de um determinado espaço confinado, foi utilizada a Equação (1) desenvolvida por Steel [15]. Com esta equação é possível quantificar riscos em máquinas e equipamentos considerando outros parâmetros.

Utilizando a Equação (1), o HRN de cada tipo de risco presente nas análises foi calculado, alterando apenas os parâmetros Grau de Severidade (GS) e Probabilidade de Ocorrência (PO). Estes valores foram separados de acordo com as categorias apresentadas pela norma regulamentadora de números 9. Os resultados dos cálculos são exibidos no Quadro 2.

Quadro 2 – Cálculo do HRN dos riscos.

Evento	Valor	Risco	GS	FE	PO	NP	HRN
Físico		Ruído	1	1	0,5	1	0,5
		Umidade	1	1	0,5	1	0,5
		Temperaturas Anormais (UVA/UVB)	2	1	1	1	2
Químico		Temperaturas Anormais (Processo)	2	1	1	1	2
		Poeira não especificada	2	1	1	1	2
Ergonômico		Produtos armazenados	10	1	1	1	10
		Trabalho em postura inadequada	2	1	1	1	2
Biológico		Líquidos infectocontagiosos	10	1	1	1	10
		Iluminação inadequada	0,5	1	0,5	1	0,25
Mecânico		Atmosfera perigosa	2	1	1	1	2
		Obstáculos e desníveis	0,5	1	1	1	0,5
		Animais peçonhentos	1	1	0,5	1	0,5
		Altura superior a 2 metros	4	1	1	1	4
		Piso escorregadio	0,5	1	0,5	1	0,25
		Metano	8	1	0,5	1	4
		Atmosfera explosiva	10	1	0,5	1	5
	Tensão Elétrica	10	1	1	1	10	

A partir do cálculo do HRN foram gerados índices quantitativos para cada risco os quais foram ponderados a partir da Equação (2). A equação se baseia no princípio da média ponderada onde os pesos são os valores de HRN de cada tipo de risco estes são divididos pela quantidade total dos riscos encontrados no espaço, visando obter a média do valor HRN do ambiente.

$$\text{Índice de risco} = \frac{\sum \text{HRN do Risco}}{\sum \text{Riscos}} \quad (2)$$

Com o índice calculado foi possível construir banco de dados ilustrado no Quadro 2, que faz um levantamento utilizando os espaços confinados das áreas externas e internas, considerando o cálculo ponderado de cada risco.

Quadro 3 - Relação entre tipo de equipamento e índice de risco obtido.

Equipamentos	Quantidade	Riscos Físicos	Riscos Químicos	Riscos Ergonômicos	Riscos Biológicos	Riscos Mecânicos	Total	
Tanque Bico Kipor	2	1,45%	0,5	0	2	0	1,40	3,90
Tanque Desidratador	1	0,12%	1,25	0	0	0	1,40	4,45
Tanque Rótula Ináxia	11	1,37%	1	0	2	0	1,17	4,17
Filtro de Carvão	6	4,35%	1,25	0	2	0	1,63	4,88
Tanque Desidratador	1	0,12%	1,25	10	2	0	1,63	14,88
Tanque de Xarope	6	5,00%	1	0	2	0	1,40	4,40
Tanque Filtro	2	2,17%	1	0	2	0	1,17	4,15
Tanque de Água Clorada	3	2,17%	0,5	10	2	0	1,40	10,30
Filtro de Arco	5	3,62%	1,25	2	2	0	1,15	3,00
Tanque Carbonizador	1	0,12%	1	0	2	0	1,40	4,40
Tanque Alcolico	1	0,12%	1	0	2	0	1,40	4,40
Tanque Pré Espalhado	1	0,12%	1	0	2	0	0,29	3,29
Filtro de carvão	3	4,50%	1,25	4	2	0	1,23	3,73
Tanque de Arco	4	2,90%	1	10	2	0	1,23	14,23
Tanque de Água	14	10,14%	1	0	2	0	1,11	4,11
Filtro de Bombas	1	0,12%	1	0	2	0	1,29	4,29
Misturadora	2	1%	1	0	2	0	2,25	5,25
Desidratador	2	1%	1,25	0	2	0	0,55	3,80
Câmara de Arco	11	0%	2	4	2	0	0,59	0,69
Tanque de Barilha	2	1%	1,25	10	2	0	1,23	14,54
Tanque de Controle	1	1%	1,25	10	2	0	2,54	5,19
Tanque de Biorreator	3	1%	1,25	10	2	0	1,23	14,54
Tanque AD FLOC MEGA	3	2%	1,25	10	2	0	1,45	14,10
Tanque Filtro	1	1%	2	10	2	0	1,45	15,45
Tanque de controle	1	1%	1,25	0	2	0	2,96	6,21
Floculador	2	1%	1,25	10	2	0	2,96	16,21
Coluna	2	1%	1	0	2	0	2,04	6,04
Tanque de Dioxido	2	1%	1	10	2	0	2,96	15,96
Tanque de CO2	3	2%	2	10	2	0	1,21	15,21
Tanque Água	11	0%	1	0	2	0	1,45	4,45
Bacia dos Torres Algas	2	1%	1	0	2	10	1,63	14,63
Valor de Pressão	3	2%	1,25	0	2	0	1,45	4,70
Tanque Caixa de Filtro	1	4%	1,25	0	2	10	2,09	16,53
Bioator de Mecanização	1	1%	2	10	2	10	1,55	25,55
Tanque de Bacia Clorada	4	2%	2	10	2	0	1,45	16,45
Tanque de Regeneração de Cloro	2	1%	2	10	2	0	1,25	21,25
Total	138	100,00%						

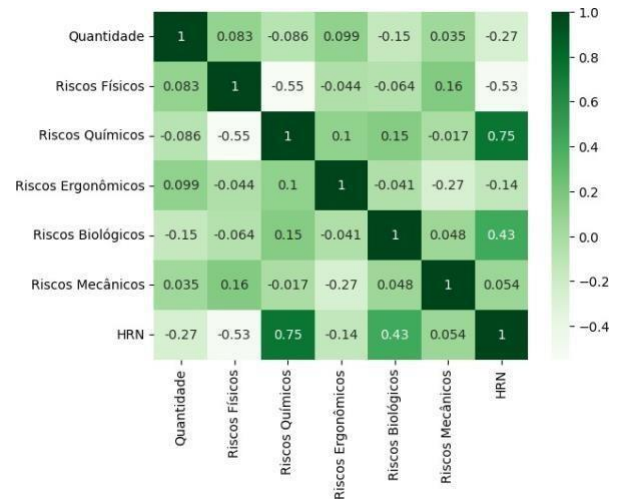
Fonte: Os autores.

Ao observar o quadro 3 é possível identificar que o EC - Reator de Mecanização possui maior índice de risco com 25,55. Além de possuir índice de risco diferente de zero para as demais categorias de riscos ocupacionais, indicando a presença de energias perigosas em diferentes categorias. Sabendo disso, podemos afirmar que a gestão e bloqueio de energias perigosas dos espaços confinados são necessários para a prevenção de acidentes nestes ambientes, em específico, na indústria alimentícia.

Para observar como se relacionam estatisticamente os parâmetros, quantidades de riscos por categoria e valor do índice de risco foram escolhidos alguns parâmetros capazes de expressar influência de cada categoria no valor final. Primeiramente foi calculada a correlação entre ambos os parâmetros utilizando a linguagem de

programação Python e aplicando o banco de dados criado a partir dos cálculos do índice de risco de cada um dos 137 espaços confinados analisados. Executando o código obteve-se o resultado mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Correlação entre riscos e valor do índice HRN.



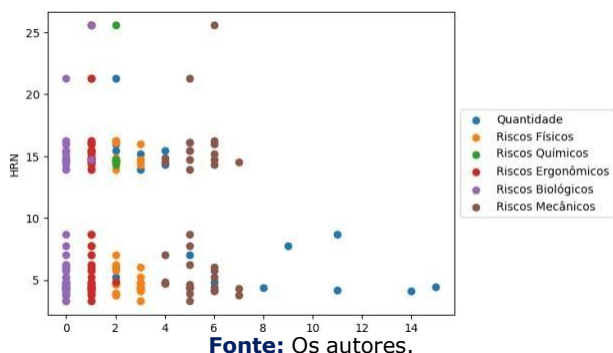
Fonte: Os autores.

Pela análise dos dados é possível observar que os riscos químicos e biológicos apresentam maior correlação com o valor do índice em comparação com as outras categorias de risco, ou seja, os riscos químicos e biológicos influenciam mais no valor do índice de risco do que as outras categorias. Podemos também inferir que a quantidade total de riscos não tem grande impacto no valor final do índice. Este resultado é proveniente da relação entre quantidade e variedade de riscos.

Foi possível observar no banco de dados criado que enquanto a quantidade de riscos não sofre muitas alterações graças aos perigos intrínsecos a um ambiente confinado, a variedade destes é grande e gera diferentes índices HRN pela mudança nos parâmetros utilizados na Equação (1). Esta afirmação é ilustrada no Quadro 2 onde existem nove tipos diferentes de riscos categorizados como mecânicos, gerando seis diferentes valores de HRN.

Outro tipo de análise é feito ao observar as diferentes combinações de quantidade de riscos e os índices de risco gerados por estas. Este tipo de estudo é capaz de revelar que tipo de combinação de risco é a mais prejudicial para a segurança dentro de um ambiente confinado. A relação é ilustrada no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Gráfico de dispersão dos riscos com relação ao índice HRN.



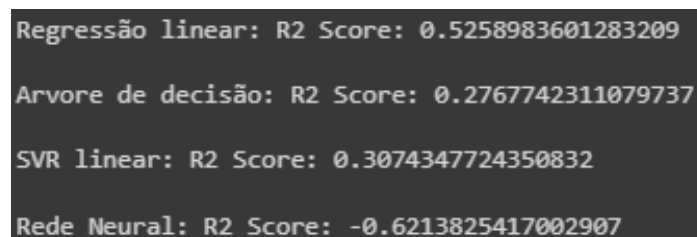
Fonte: Os autores.

Observando o gráfico gerado é possível notar que a quantidade de riscos e o risco mecânico são grandezas dispersas que podem gerar um alto índice de risco ou não, confirmando o resultado da correlação. Além disso, os riscos ergonômicos e físicos, independente da sua quantidade nessa situação em específico, não são capazes de gerar altos valores de índice de risco. Já os riscos químicos e biológicos, mesmo em pequena quantidade, sempre estão relacionados a altos valores de índice de risco.

Sabendo disso, é possível afirmar que uma combinação de categorias envolvendo riscos químicos e biológicos é a mais prejudicial para a segurança de um trabalhador exposto às condições de um ambiente confinado. Isto ocorre pela capacidade de certas substâncias químicas de gerar atmosferas explosivas, causar prejuízos à saúde ou até mesmo causar acidentes envolvendo a asfixia daqueles expostos a estas substâncias.

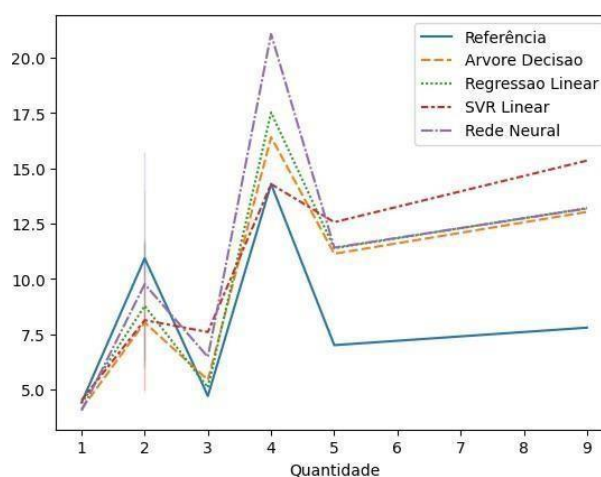
Para concluir o estudo, foi feita uma última análise utilizando quatro modelos de predição. Os modelos foram escolhidos estrategicamente visando abranger os principais tipos de métodos de aprendizado de máquina, sendo estes os métodos supervisionados, não supervisionados, por classificação e por regressão. Tais modelos foram utilizados com o objetivo de obter a previsão dos valores de índice de risco a partir da quantidade total de riscos e da quantidade individual destes por categoria. Os resultados quantitativos referentes ao coeficiente de determinação e o gráfico gerado podem ser observados nas Figuras 4 e 5 respectivamente.

Figura 4 – Parâmetro quantitativo para análise do modelo de predição.



Fonte: Os autores.

Figura 5 – Gráfico dos modelos.



Fonte: Os autores.

Como é possível perceber através dos resultados quantitativos referentes ao r^2 score, para este caso em específico, o modelo que melhor explica a variância dos dados de entrada é a regressão linear. Pela análise do gráfico podemos confirmar esse resultado afirmando que a curva gerada pelo modelo regressão linear é a mais próxima da curva de referência que representa a curva gerada pelos dados coletados de quantidade de riscos e índice de risco. Para melhorar os resultados da previsão gerada pelos modelos seria necessário aumentar o banco de dados adicionando assim mais espaços confinados e os índices de risco calculados para estes.

A possibilidade de prever o valor do índice de risco através dos atributos quantidade de risco por categoria e quantidade total de riscos é uma ferramenta capaz de facilitar e complementar a análise de riscos dos espaços confinados, item obrigatório segundo a NR 33, além disso esta ferramenta pode auxiliar em um bloqueio mais eficaz de energias perigosas uma vez que seria identificada exatamente qual tipo de categoria se

apresenta mais danosa à saúde e segurança dos indivíduos expostos aos ambientes confinados estudados.

4 CONCLUSÕES

É possível concluir que o tipo de risco mais presente em espaços confinados não perturbados da indústria de fabricação de bebidas é o Risco Mecânico, porém a presença deste não é tão influente quanto a presença dos riscos químico e biológico para o cálculo do índice de risco. Esta afirmação se faz clara ao classificar que o tipo de equipamento com maior índice de risco na planta industrial é o Reator de Mecanização, sendo este um equipamento marcado pela presença de riscos químicos e biológicos, além das outras categorias de risco.

Apesar da quantidade de riscos não ser capaz de determinar a periculosidade de um espaço confinado, este parâmetro se faz útil quando combinado com os cálculos de HRN e do índice de risco para quantificar o nível de periculosidade dos espaços e determinar quais devem ser as prioridades de um trabalhador ao entrar em um ambiente confinado específico.

Cabe destacar que os riscos atmosféricos (poeiras, gases e vapores) devem ser avaliados quantitativamente com equipamentos de leitura direta testados e calibrados antes do uso de acordo com a NR-33. Diante do exposto, as indústrias de alimentos além de inventariar seus espaços confinados devem desenvolver auditorias sistêmicas e planos de bloqueio para energias perigosas.

REFERENCIAS

- [1] PIRES, R. (2005). **Saúde e segurança do trabalho**. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, 3(2), 87-93.
- [2] BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 33**: Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados. Brasília: Secretaria de Inspeção do Trabalho, 2018. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SS T/NR/NR33.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023 às 14h33min.
- [3] BALEOTTI, L. S. **Riscos e Perigos em Espaços Confinados**. Revista Científica UNAR, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2007.
- [4] LIMA, R. M. **Segurança em espaços confinados**. Revista Proteção, São Paulo, v. 287, p. 30-34, 2016.
- [5] Santos, F. **Avaliação de risco em espaço confinado**: o caso de uma indústria de beneficiamento têxtil. Monografia. Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.
- [6] BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 09**: Avaliação E Controle Das Exposições Ocupacionais Agentes Físicos, Químicos E Biológicos. Brasília: Secretaria de Inspeção do Trabalho, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023 às 16h50min.
- [7] Burlet-Vienney D, Chinnialy Y, Bahloul A, Roberge B. **Risk analysis for confined Spaces entries**: critical analysis of four tools applied to three risk scenarios. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2016, 13(6), D99-D106. DOI: 10:1080/15459624.201611433949.
- [8] HIPPERT, M. P et. Al. **Towards safety level definition based on the HRN approach for industrial robots in collaborative activities**. ScienceDirect, v. 38, n. 1, p. 1481-1490, 2019
- [9] WHEELAN, C. **Estatística**: o que é, para que serve, como funciona. Editora Schwarcz- Companhia das Letras, 2016.
- [10] TRABELSI, A.; ELOUEDI, Z.; LEFEVRE, E. **Decision tree classifiers for evidential attribute values and class labels**. Fuzzy Sets and Systems, 366: 46-62, 2019.
- [11] KHANNA, Rahul; AWAD, Mariette. **Efficient Learnin/ machines: Theories, Concepts and Applications for Engineers and System Desi/ners**. Ed. 1. New York: Springer Science, 2015.
- [12] GARDNER, M.; DORLING, S. R. **Artificial neural networks (The multilayer perceptron)**: A review of applications in the atmospheric sciences. Atmospheric Environment, 32(14-15), 2627-2636. 1998.
- [13] RATNER, Bruce. **The correlation coefficient: Its values ran/e between + 1 / - 1, or do they?**. New York, p. 139 - 142, 2009.

- [14] CHIODE, Ângelo. **Avaliação de propostas de coeficientes de determinação do tipo R^2 em modelos de regressão logística com resposta nominal.** Dissertação. Mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2020.