



A Importância da Prevenção de Incêndios na Transição Energética

RABELLO, Kelly¹; HADDAD, Assed²; NAJJAR, Mohammad³.

kellyrabello.pea2022@poli.ufrj.br¹; assed@poli.ufrj.br²; mnajjar@poli.ufrj.br³.

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

³Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave: (3)

Energia Renovável

Incêndio

Transição Energética

Resumo:

Atualmente, a transição energética tem sido profundamente explorada em diversos estudos. A relevância e o conceito de transição energética, é o objeto de avanço e evolução nas últimas décadas e foco principal da nossa pesquisa. Embora seja essencial para um futuro mais sustentável para as próximas gerações, a transição energética apresenta consigo novos desafios e problemas a serem superados, especialmente no que se refere em termos de como garantir a segurança contra incêndios. Em relação ao tema, apesar da transição energética possuir uma grande relevância apresenta uma lacuna significativa na literatura científica em relação aos riscos de incêndios. Este artigo tem como objetivo de analisar os riscos de incêndios associados à transição energética, propor medidas de mitigação necessária para a prevenção e identificar os principais desafios e oportunidades. A implementação de normas e regulamentações específica para segurança contra incêndios é um pilar fundamental e essencial para garantir a viabilidade da transição energética e a construção de um futuro energético mais seguro e resiliente.

Abstract

Currently, the energy transition has been deeply explored in several studies. The relevance and concept of energy transition has been the object of advancement and evolution in recent decades and the focus of our research. Although it is essential for a more sustainable future for the next generations, the energy transition presents new challenges and problems to be overcome, especially in terms of how to guarantee fire safety. Regarding the topic, despite the energy transition having great relevance, there is a significant gap in the scientific literature regarding fire risks. This article aims to analyze the fire risks associated with the energy transition, propose mitigation measures necessary for prevention and identify the main challenges and opportunities. The implementation of specific standards and regulations for fire safety is a fundamental and essential pillar to guarantee the viability of the energy transition and the construction of a safer and more resilient energy future.

1. Introdução

A transição energética, através da inovação tecnológica e políticas públicas, é crucial para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente [1]. Esse movimento impacta positivamente na geração de empregos, redução da dependência de energia e melhoria da qualidade do ar [2].

A transição energética representa uma profunda transformação do sistema energético global, com a substituição gradual de combustíveis fósseis por fontes de energias renováveis, como a produção das energias solar, eólica e hidrelétrica [3]. Essa substituição é fundamental para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, diminuindo os impactos das mudanças climáticas. Embora a transição energética seja essencial para a sustentabilidade, apresenta novos desafios, como a segurança contra incêndios [4]. A ampliação do uso de energias renováveis e do armazenamento de energia em grande escala, embora seja fundamental, apresenta desafios de segurança para os sistemas energéticos durante a transição para uma matriz mais limpa [5].

O aumento dos riscos de incêndio, falhas de equipamentos e outros incidentes exigem soluções inovadoras para garantir a integridade e a confiabilidade dos sistemas energéticos [6]. Esses incidentes podem causar danos materiais, interrupções no fornecimento de energia e até mesmo colocar em risco a vida de pessoas [7]. Dessa forma, a segurança dos sistemas de armazenamento de energia é um aspecto vital em torno da transição energética e é um pré-requisito para a ampla adoção de tecnologias renováveis, especialmente à medida que a procura por energia limpa aumenta e as tecnologias de armazenamento avançam [8]. A questão dos incêndios nesses sistemas é, portanto, uma preocupação significativa [9]. À segurança contra de incêndios em sistemas de energia renovável requer a adoção criteriosa de medidas como a seleção de componentes de alta qualidade, a instalação correta dos equipamentos, a realização de inspeções periódicas e a

implementação de sistemas de detecção e alerta eficientes [10].

Os Sistemas de energia renovável, por mais importantes que sejam, apresentam probabilidade de riscos de incêndio que devem ser gerenciados. As baterias de lítio podem provocar incêndio se forem expostas à umidade por um tempo prolongado, o que pode resultar na corrosão das células [11]. Entre as principais tecnologias de armazenamento de energia, as baterias de íons de lítio se destacam por sua alta densidade energética. A fuga térmica, proveniente do superaquecimento das células da bateria, é um fator determinante para o surgimento de incêndios. Além disso, sobrecargas, curtos-circuitos e o uso de materiais inflamáveis em componentes elétricos também aumentam significativamente a probabilidade de ocorrência de incêndios [12].

As previsões de capacidade instalada, é esperado um crescimento significativo nos próximos anos devido ao aumento do uso de energia renovável para atender às demandas de descarbonização [13]. No entanto, nos últimos anos, mais de 20 incidentes de incêndio em sistemas de rede foram reportados na Coréia e nos Estados Unidos, causando impactos negativos no mercado e na segurança. A fuga térmica tem sido identificada como um efeito recorrente resultante de falhas de alto impacto [13].

Somado à crescente complexidade dos sistemas de armazenamento de energia, o uso de materiais inflamáveis e a falta de normas específicas representam obstáculos importantes na garantia da segurança dessas tecnologias. As baterias são um sistema de armazenamento de energia muito comum e têm sido amplamente pesquisadas por causa de sua eficiência e aplicabilidade. Os principais problemas ambientais resultantes de sua utilização em larga escala ainda representam um desafio que precisa de mais investigações [11]. Os processos de produção, uso e descarte de baterias podem produzir poluentes que impactam o meio ambiente de várias maneiras. A implementação de simulados se revela imprescindível para a compreensão da

dinâmica de propagação da fuga térmica em incêndios associados a baterias de larga escala. [14] Este método é particularmente relevante, visto que a avaliação minuciosa de células ou módulos isolados é muitas vezes impraticável em razão de suas dimensões significativas. Assim, os simulados emergem como uma ferramenta eficaz para modelar e prever comportamentos térmicos nestes contextos críticos. Contudo, a fuga térmica ainda pode ocorrer após o mesmo ser submetido a abuso térmico ou mecânico. Portanto, a instalação de armazenamento e transporte deve ser projetada para reduzir o risco de fuga térmica, e qualquer incêndio que ocorra pode ser gerenciado adequadamente.

O objetivo do presente artigo é analisar a relação entre a transição energética e a prevenção de incêndio, abordando os desafios que surgem com a crescente demanda de utilização de energia renováveis, principalmente no que refere ao armazenamento de energia e busca identificar os principais perigos de incêndio relacionados a esses sistemas, propondo medidas de garantir seu funcionamento seguro.

Para atender aos objetivos propostos, este trabalho está estruturado da seguinte forma: após a introdução, que destaca os desafios da segurança contra incêndio em sistemas de transição energética, são apresentados os objetivos gerais. Na seção de métodos, detalha-se a revisão bibliográfica, subdividida em quatro etapas, e a metodologia empregada na análise dos dados. A análise descritiva dos materiais utilizados, com base nos dados do Scopus, permitiu validar os resultados obtidos. Na sequência, são apresentados os resultados da análise dos documentos coletados, seguidos das conclusões e referências bibliográficas utilizadas como subsídio para elaboração deste trabalho.

2. Métodos

Diante da crescente produção de pesquisas acadêmicas sobre transição energética e prevenção de incêndios, e considerando a intersecção desses temas com o foco desta pesquisa, optou-se por realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como metodologia, ferramenta que funciona a partir de pesquisa reunindo materiais escritos por diversos autores cujos trabalhos se alinharam com o objetivo da pesquisa. Outro método utilizado nesse trabalho em conjunto com a RSL foi a análise bibliográfica, que busca explorar a literatura internacional mais recente, a fim de construir uma base sólida completa e atualizada sobre um determinado tópico, contribuindo para uma compreensão holística da atual literatura [15, 16]. A sequência metodológica deste estudo pode ser resumida em quatro etapas principais, as quais são apresentadas a seguir:

Etapa 1: Seleção da base de dados e coleta de materiais relevantes, com base em critérios pré-estabelecidos.

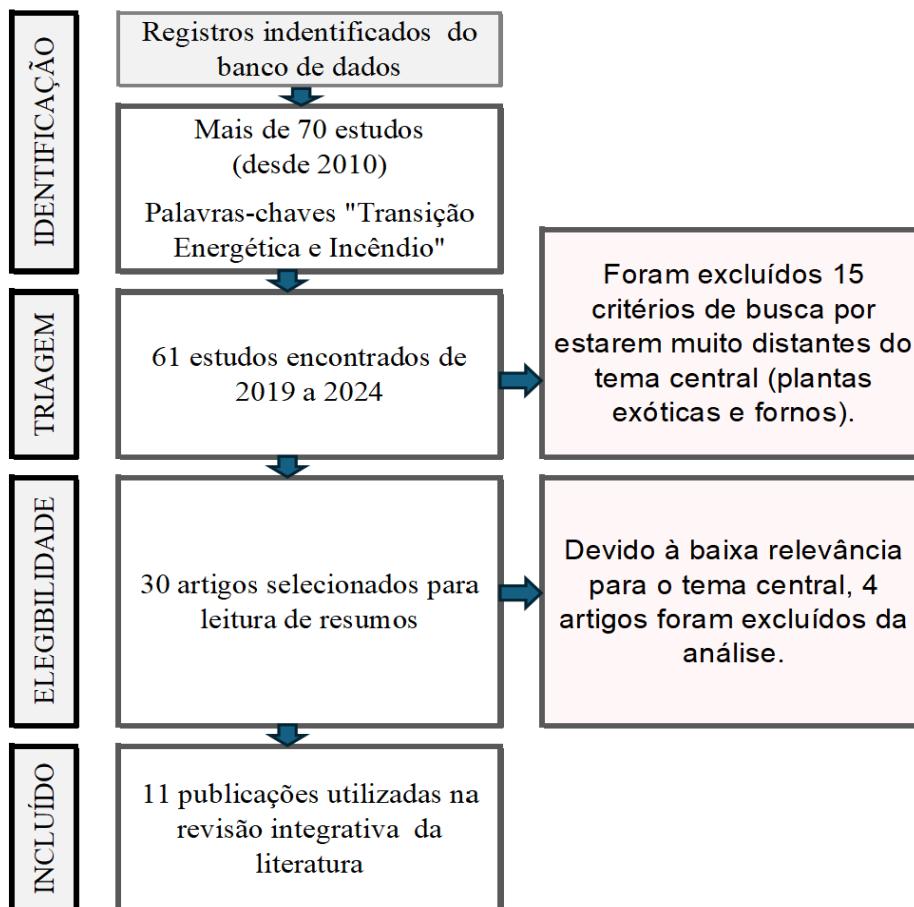
Etapa 2: Análise descritiva da literatura estudada.

Etapa 3: Apresentação de um esquema de classificação categorizando os estudos examinados.

Etapa 4: Avaliação do conteúdo encontrado na Etapa 1, utilizando como base a estrutura de classificação criado na Etapa 3.

A presente pesquisa empregou a base de dados Scopus utilizando palavras-chave relacionadas ao tema, como: “Transição Energética” e “Incêndio”. Dessa forma, foi possível filtrar as publicações para identificar aquelas que mais se alinhavam aos objetivos da pesquisa, conforme delimitados na Etapa 1 deste artigo. Inicialmente, não foi delimitada um período específico para a busca, o que resultou em mais de 70 manuscritos (Figura 1). Visando obter um conjunto de dados mais relevante e atualizado, refinamos a busca, restringindo os artigos científicos publicados nos últimos seis anos (2019-2024).

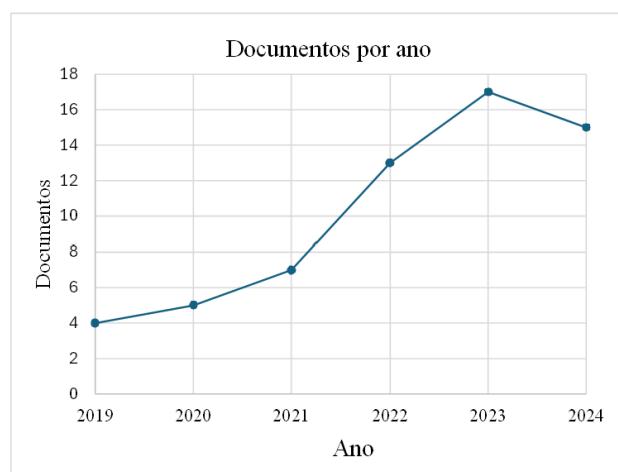
Figura 1 Análises bibliográficas que foram adotadas neste artigo.



Fonte: Elaborado pelo Autor baseado no banco de dados do Scopus (2024).

A análise identificou um expressivo crescimento nas publicações sobre o tema, com 61 manuscritos publicados entre 2019 e 2024. A Figura 2 evidencia um crescimento exponencial nas publicações sobre o assunto a partir de 2019, com o período analisado sendo um dos mais produtivos. A projeção para 2024 indica que o número de publicações continuará aumentando, mesmo com dados apenas do primeiro semestre.

Figura 2. Evolução das publicações com o tema “Transição Energética” e “Incêndio” desde 2019.



Fonte: Análise de resultados da pesquisa do Scopus (2024).

Objetivando o aprofundamento da análise, devido ao elevado número de resultados após a primeira filtragem, realizamos uma nova

busca, utilizando a expressão "transição energética" como ponto central. Foram combinadas as seguintes palavras-chave com o operador booleano "AND": (a) "transição energética" e "incêndio"; (b) "energia renovável" e "incêndio"; e (c) "transição energética" e "energia renovável". Essa segunda busca resultou em 61, 451 e 6280 resultados, respectivamente, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Número de publicações do ano de 2019 a primeiro semestre de 2024 indexadas na base de dados Scopus, encontradas ao utilizar os pares de palavras-chave

ANO	"transição energética"	"energia renovável"	"transição energética"
	"incêndio"	"incêndio"	"energia renovável"
2019	4	48	437
2020	5	56	575
2021	7	78	883
2022	13	98	1279
2023	17	92	1604
2024	15	79	1502
Total	61	451	6280

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no banco de dados do Scopus (2024)

Para identificar com maior precisão as intersecções entre os temas "transição energética" e "incêndio", utilizamos uma nova estratégia de busca, combinando três termos em cada consulta. A Tabela 2 apresenta os resultados dessa etapa.

Tabela 2. Número de publicações do ano de 2019 a primeiro semestre de 2024 indexadas na base de dados Scopus, com as palavras-chave em trios.

Termos usados na pesquisa	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
"transição energética"							
E							
"energia renovável"	1	2	2	2	4	5	16
E							
"incêndio"							
"transição energética"							
E							
"energia renovável"	0	0	0	0	1	0	1
E							
"prevenção de incêndios"							
"transição energética"							
E							
"incêndio"	0	1	1	4	4	1	11
E							
"segurança"							

Fonte: Elaborado pelo autor baseado no banco de dados do Scopus (2024).

Este estudo emprega bibliográfica para evidenciar a relação entre a transição energética e incêndio. A análise detalhada dos resultados bibliométrico obtidos a partir dos três grupos de busca fornecem subsídios para definir o foco de pesquisas futuras.

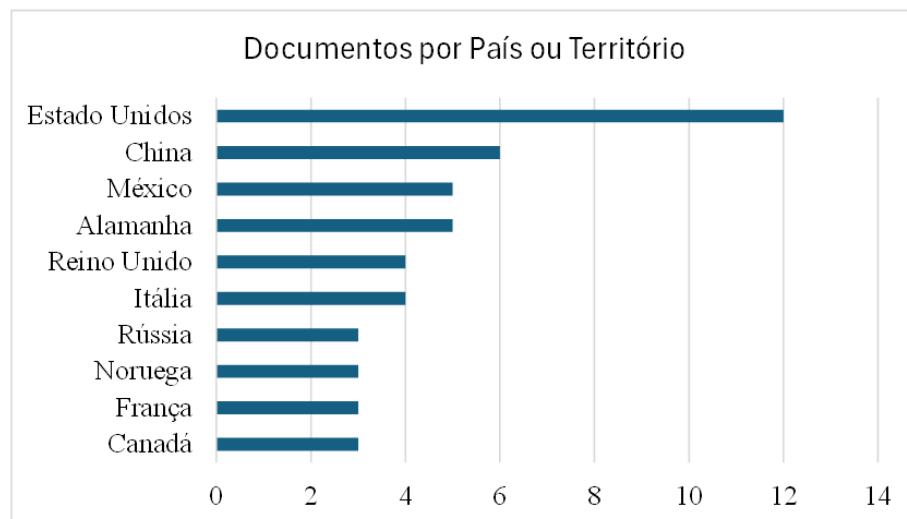
3. Análise Descritiva de Materiais

A análise da taxa de publicação entre 2019 e 2024 revela um crescimento exponencial do interesse acadêmico em transição energética e energias renováveis. O que poderia justificar a crescente atenção que o assunto tem recebido recentemente. Contudo, apesar de sua relevância para o contexto da transição energética, não foram explorados em detalhes em relação ao tema incêndio, o que representa uma lacuna a ser explorada em futuras pesquisas e contribuirá para uma compreensão mais completa dos impactos da transição energética e dos eventos de incêndio. Essa tendência ocorre mundialmente e pode ser evidenciado pelo fato de os artigos incluídos nesta revisão serem originários de vários países e é apresentada na Figura 3. É

importante destacar que esta revisão se baseia exclusivamente em artigos publicados em inglês, o que pode ter influenciado diretamente os resultados. Embora os Estados Unidos e a China sejam a maior fonte de informação sobre

o assunto, Alemanha, México, Itália aumentaram sua produção nos últimos anos e pode-se identificar na Figura 3.

Figura 3. Evolução das publicações com o tema “Transição Energética” e “Incêndio” desde 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado no banco de dados do Scopus (2024).

4. Análise dos documentos coletados

A análise bibliográfica conduzida no banco de dados Scopus sobre os termos mais relevantes em relação aos tópicos definidos nessa pesquisa.

O artigo argumenta a relevância da segurança para o processo de adoção e uso de tecnologias de transição energética e enfatiza que a segurança, juntamente com a confiabilidade em novas instalações, é essencial para uma transição energética sustentável.

Existe uma mudança de paradigma nas tecnologias de geração de energia ocorrendo em todo mundo, por meio da qual fontes de energia renováveis com interface eletrônica e inércia estão substituindo as máquinas síncronas convencionais [17].

De acordo [13, 2021], ele propõe um novo conceito em prevenção e proteção contra incêndios para os Sistema de Armazenamento

de Energia em Baterias de Íons de Lítio. Sugerindo a aplicação de um tipo de sistema de armazenamento de energia que combina o uso do vanádio, que pode aumentar a disponibilidade do Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias em caso de eventos de incêndio, limitando as consequências da falha, permitindo a substituição de elementos do módulo danificados e evitando a perda total do equipamento, com economia de custos relacionada ao risco e a propagação rápida do fogo em eventos de fuga térmica.

Os desafios de monitorar e controlar cada célula da bateria e a potencial propagação rápida do fogo, é necessário desenvolver soluções inovadoras. A implementação de medidas de proteção, apesar de necessária, gera impactos nos custos dos sistemas, o que pode restringir sua aceitação. Ações para garantir a segurança:

- a) A prevenção de incêndios em sistemas de armazenamento de energia demanda uma criteriosa seleção de componentes, instalação apropriada, monitoramento avançado e constante e sistemas eficazes de detecção e alarme de incêndios. Além disso, a criação de normas específicas serve para complementar essas ações, garantindo a segurança e o monitoramento contínuo desses sistemas.
- b) É de extrema importância a escolha de baterias de fabricantes confiáveis, que apresentem sistemas de controle de bateria eficazes e em conformidade com as normas de segurança vigentes.
- c) A instalação correta dos sistemas de armazenamento de energia é de extrema importância para prevenir possíveis complicações, como o superaquecimento e curto-circuito.
- d) A utilização de sistemas de monitoramento constante da temperatura, voltagem e corrente das baterias possibilita identificar eventuais irregularidades e tomar medidas de forma ágil em situações de falhas.
- e) A instalação de sistemas que identificam fumaça e aumento de temperatura, acompanhados de dispositivos que controlam incêndios com agentes extintores apropriados, torna-se uma medida essencial para prevenir a propagação de incêndios logo no seu início.
- f) A implementação de normas e regulamentos específicos para sistemas de armazenamento de energia se mostra como uma medida imprescindível para assegurar a proteção e integridade destes sistemas.

5. Conclusão

Este estudo se aprofunda no tema da transição energética e demonstra alguns dos riscos associados e os seus novos desafios relativos à segurança, mas especificadamente dentro da prevenção de incêndio. Como demonstrado, este assunto ainda é um tema pouco abordado nas literaturas científica, fazendo com que alguns riscos associados não sejam definitivamente difundidos ou prevenidos.

Destaca-se a necessidade de mudança em padrões de consumo e na forma de como são explorados os recursos naturais, uma vez que alguns dos materiais utilizado nessas tecnologias são de difícil extração ou possuem alto teor tóxico, gerando problemas de saúde e descarte. Sendo assim, verifica-se a necessidade a fim de desenvolver novas soluções que possam atender aos desafios trazidos pelas novas tecnologias. Dessa forma, a integração desses dois elementos (transição energética e prevenção de incêndio) se mostra essencial a fim de garantir uma transição energética sustentável e segura.

Visando o aprimoramento deste tema sugere-se como complementação de trabalhos futuros com a abordagem da transição energética em contextos específicos de uso, com levantamento de riscos setorizados de acordo com o perfil de utilização.

6. Referências

- [1] ALMEIDA, J.F.P. *Sustentabilidade ESG (Environmental, Social, and Corporate Governance): A indústria de petróleo e gás como atores fundamentais na transição energética.* Universidade Federal de São Carlos, 2024.
- [2] LIMA, P. T. D.; MARIANO NETO, M.; ABRAHÃO, R. *Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil.* Revista Brasileira de Geografia Física, 2022.
- [3] SMIL, V. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospect.* ABC-CLIO, 2010.
- [4] CINTRA, R. H. S. Panorama e perspectivas das políticas públicas e normativas para a transição energética no contexto da UNASUL. Universidade Federal de São Carlos, 2018.
- [5] LOSEKANN, L.; TAVARES, A. *Transição energética e potencial de cooperação nos BRICs em energias renováveis e gás natural.* Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021.
- [6] BRITO, M. F.; LIMA, L. C.; BATISTA, N. E. *Use of artificial intelligence in fire safety in solar photovoltaic systems.* Research, Society and Development, 2023.
- [7] MANTOVANI, M. S.; SLOB, E. M. G. B. *Análise do trabalho dos eletricitários nos serviços de emergência.* Revista eletrônica da Universidade Vale do Rio Verde, 2016.
- [8] RAMOS, C. C. *A difusão da tecnologia de armazenamento de energia no contexto da transição energética: Uma análise sob a perspectiva multinível.* Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.
- [9] SILVA, R. R. *Modelos para Análises de Sistemas Energéticos Industriais aplicados a Estudos de Eficiência Energética.* Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2013.
- [10] GOMES, R. D. Avaliação crítica da NBR 5410:2004: identificação de aspectos obsoletos em confronto com a realidade atual. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023.
- [11] DEHGHANI-SANJI, A.R.; THARUMALINGAM, E.; DUSSEAUXT, M.B.; FRASER R. Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019.
- [12] KONNRAD, R. M. *Dimensionamento de sistema fotovoltaico aplicado à edificações prediais.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- [13] BARELLI, L.; BIDINI, G.; OTTAVIANO, P.A.; PELOSI, D.; PERLA, M.; GALLORINI, F.; SERANGELI, M. A novel concept for grid Li-ion BESS safety: Integration of Vanadium-air flow battery technology in fire protection system. *Journal of Energy Storage*, 2021.
- [14] MISHRA, D.; TUMMALA, R.; BRIGMON, T.; JAIN, A. *Simulations-based investigation of the effectiveness of fire suppression techniques for safe, large-scale storage of Li-ion batteries.* *Journal of Energy Storage*, Volume 84, Part B, 20 April 2024, Page 110870.
- [15] BOLÍVAR, M.P.R.; MEIJER, A.J. Smart governance: Using a literature review and empirical analysis to build a research model. *Soc. Sci. Comput. Rev.* 2016, 34, 673-692.
- [16] MAYRING, P. *Qualitative Inhaltsanalyse. In Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie;* MEY, G.; MRUCK, K. Eds.; Beltz- Psychologie Verl. Union: Munich, Germany, 2010; pp. 601-613.
- [17] AKRAM, U.; NADARAJAH, M.; SHAH, R.; MILANO, F. A review on rapid responsive energy storage technologies for frequency regulation in

modern power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020