

Non-technical Losses in Electricity Distribution: a Bibliometric Analysis

Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet, Felipe Moraes do Nascimento e José Renes Pinheiro

Abstract—This study aimed to provide an overview of the research on non-technical losses, presenting a bibliometric analysis of 392 studies in conference proceedings. The research was conducted using Scopus database from 1987 to 2019. The results showed an increasing trend in the number of publications on this subject, demonstrating the worldwide interest of the scientific community in non-technical losses. In addition, it was found that the predominant language in the writing of publications was English, the countries that most published articles in the area were India, Brazil and USA and the cumulative number of articles tends to reach 600 at the end of 2021. Developing countries are encouraging research in the area to reduce the damage caused by non-technical losses in electricity distribution, contributing to society as a large part of these costs are passed on to the consumer. The main contribution of this article is to present an overview of the research on non-technical losses in conference proceedings, indicating the main trends through the measured indicators.

Index Terms—bibliometric analysis, non-technical loss; energy theft

I. INTRODUÇÃO

O furto de eletricidade tem sido um fenômeno recorrente ao longo dos últimos anos em diversos lugares do mundo. Sendo assim, prejuízos significativos são causados para as concessionárias de distribuição de energia elétrica e, conseqüentemente, para o consumidor [1]. O furto de energia elétrica é considerado parte de um conjunto de perdas em distribuição chamado perdas não-técnicas, que são definidas como qualquer energia ou serviço consumido não faturado por causa da falha de um equipamento de medição ou por uma manipulação fraudulenta e mal-intencionada desse equipamento [2]–[6].

Submission date: September 29th, 2019.

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [processos n° 142448/2018-4, 311926/2017-7, 310594/2017-0 e 465640/2014-1], Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [processos n° 1845395/2019, 1773252/2018 e 23038.000776/2017–54] e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul [processo n° 17/2551-0000517-1].

F. S. Savian, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: savian.fernando@gmail.com).

J. C. M. Siluk, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: jsiluk@ufsm.br).

T. B. Garlet, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: tais_garlet@hotmail.com).

F. M. do Nascimento, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: nfelipenascimento@gmail.com).

J. R. Pinheiro, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil, e Universidade Federal da Bahia (UFBA), Bahia, Brasil (e-mail: jrenes@gepoc.ufsm.br).

Apesar de esse fenômeno afetar mais países em desenvolvimento, ainda é uma realidade em países desenvolvidos. As perdas não-técnicas são responsáveis por perdas anuais de US\$ 89 bilhões a nível mundial. Os 50 principais países emergentes perdem em torno de US\$ 58,7 bilhões por ano. Até 2024, estima-se que os países emergentes estarão gastando US\$ 29 bilhões por ano em infraestrutura de smart grids para combater o furto de eletricidade, aumentar a confiabilidade da rede e tornar as concessionárias de distribuição de energia elétrica mais sustentáveis [7]–[10].

No Brasil, essas perdas contabilizaram um custo de R\$6,6 bilhões em 2018, o que representa aos consumidores cerca de 3% do valor da tarifa de energia elétrica, variando por distribuidora [11]. Em termos de energia, esse valor corresponde a mais de 27.000 Gigawatt-hora (GWh), aproximadamente 8% do consumo no mercado cativo de energia brasileiro [12]. A região Norte do país é a mais afetada, apresentando 52% de perda não-técnica real relativa à baixa tensão que foi faturada em 2018, seguida pela região Sudeste (14,74%), Nordeste (11,42%), Sul (8,53%) e Centro-Oeste (6,63%) [13].

Os consumidores regulares, que não se enquadram como agentes ativos de perdas não-técnicas, também acabam sendo prejudicados. Geralmente, o prejuízo financeiro das concessionárias é repassado aos clientes, gerando um aumento das tarifas [8], [14]–[17]. Esse fato acaba por gerar um efeito cascata, pois com tarifas mais altas, o índice de perdas não-técnicas tende a aumentar [17], [18]. Além disso, devido a perdas no faturamento, as concessionárias perdem poder de investimento na rede, prejudicando ainda mais o consumidor, que recebe um serviço instável de fornecimento de energia elétrica [4], [19]–[21].

De forma a identificar e combater as perdas não-técnicas, diversos estudos são publicados anualmente por pesquisadores do mundo inteiro apresentando métodos de detecção [22], tanto em periódicos [23]–[30] quanto em anais de conferências [31]–[38], assim como também analisando aspectos regulatórios com a finalidade de traçar estratégias para mitigar esse problema [39]–[48]. O estudo de artigos científicos sobre detecção de perdas não-técnicas mostra que não existe uma metodologia comum seguida para detectar fraudes. De acordo com [1], os pesquisadores adotam métodos de diferentes campos do conhecimento, sendo os mais comuns aprendizado de máquina, detecção de anomalias, segurança cibernética e análise de redes de distribuição. Além disso, ressalta que os vários esquemas de detecção de perdas não-técnicas estão organizados em três grandes categorias: orientado a dados, orientado à rede e híbrido.

Revisões sistemáticas da literatura já foram publicadas acerca de perdas não-técnicas, como em [1], em que é apresentada uma visão geral dos algoritmos utilizados por sistemas de detecção de perdas não-técnicas com foco em explicar por que são adequados para aplicações específicas. Já em [17], as principais contribuições em relação a perdas não-técnicas são uma análise dos tipos de vetores de possíveis ataques e revisão e análise de estudos e requisitos apresentando soluções para detecção. Por sua vez, [49] tem como objetivo realizar uma investigação introdutória de perdas não técnicas em sistemas de distribuição de energia. Contudo, nenhuma análise que quantificasse apenas pesquisas publicadas ao longo dos anos sobre perdas não-técnicas em anais de conferências foi realizada até o momento.

Um dos principais métodos para quantificar estudos científicos é a análise bibliométrica, que tem sido utilizada para medir o progresso em muitas áreas da ciência e da engenharia, e é um instrumento de pesquisa comum para análises sistemáticas [50], [51]. Além disso, esse método permite avaliar tendências, características e padrões das publicações da área a ser pesquisada, bem como ampliar a pesquisa na área e contribuir para a credibilidade dos estudos encontrados [52], [53].

O objetivo desse artigo é apresentar uma análise bibliométrica que aborde o número de publicações em anais de conferências por ano, dados sobre autores e seus índices-h, palavras-chave, países e instituições que mais publicam, principais fundações patrocinadoras das pesquisas e artigos mais citados, a fim de obter uma visão geral das pesquisas sobre perdas não-técnicas publicadas em anais de conferências nos últimos 30 anos, mais precisamente entre 1987 e 2019. Dessa forma, este estudo representa uma fonte de vantagem competitiva para pesquisadores, que tomam conhecimento das novas tendências e grupos concorrentes, para agências institucionais e governamentais, que requerem avaliações da qualidade das pesquisas, e para empresas, que solicitam relatórios e artigos que são muitas vezes feitos em cooperação com equipes científicas.

II. MÉTODOS

Um método comum de pesquisa bibliométrica é buscar publicações usando a base de dados Scopus, que possui uma cobertura robusta e internacional de artigos de conferências [54]. A Scopus contempla as principais editoras do mundo, como Elsevier, Wiley-Blackwell, Taylor & Francis e IEEE, dentre outras. Na Scopus, estão disponíveis mais de oito milhões de artigos de conferência publicados em mais de 100.000 eventos do mundo inteiro, representando 10% de toda a base de dados. Essas pesquisas são publicadas como edições especiais de periódicos (cerca de 28%) ou como anais de conferências (cerca de 72%) [55]. Dessa forma, considerando que a Scopus é uma das maiores bases de dados do mundo e abrange uma ampla gama de estudos e conferências, ela foi a base de dados selecionada para a pesquisa.

A pesquisa englobou apenas artigos de anais de conferências, visto que são uma fonte e base para a mensuração do conhecimento científico, garantindo uma perspectiva holística

e detalhada da pesquisa atual. As investigações bibliométricas dos anais de conferências são uma abordagem nova e inovadora, cujos estudos e trabalhos apresentados podem ser interpretados como indicadores precoces do desenvolvimento científico [56].

A pesquisa foi realizada em setembro de 2019 utilizando os seguintes termos de busca nos títulos, resumos e palavras-chave: “*non-technical loss**”, “*commercial loss**”, “*energy fraud**”, “*energy theft**”, “*electricity fraud**” e “*electricity theft**”. Não foi adicionada restrição de idioma. A Tabela I apresenta como foi realizada a pesquisa na base Scopus, o tipo de pesquisa que foi conduzida, bem como os campos e a *string* utilizada.

TABELA I
ESTRATÉGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ARTIGOS SOBRE PERDAS NÃO-TÉCNICAS

Base de dados	Scopus
Tipo de pesquisa	Advanced search
Campos de busca	TITLE-ABS-KEY (título, resumo e palavras-chave)
String de pesquisa	“non-technical loss*” OR “commercial loss*” OR “energy fraud*” OR “energy theft*” OR “electricity fraud*” OR “electricity theft*”
Período estipulado	Todos os anos até 2019
Tipo de documento	Conference proceedings ou Conference review

Os indicadores bibliométricos selecionados foram analisados através do Microsoft Excel 2016. A contribuição de diferentes países e instituições foi estimada pela localização da afiliação de pelo menos um dos autores dos artigos publicados. Artigos originados da Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales foram agrupados em Reino Unido.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos na análise bibliométrica. A pesquisa na base Scopus resultou em 392 artigos publicados entre 1987 e 2019, tendo esses dados sido coletados em setembro de 2019 através da pesquisa avançada na base de dados Scopus. Do total, 94,6% são artigos de pesquisa e 5,4% compõem artigos de revisões. O idioma de publicação predominante é o inglês, correspondendo a 97,45% dos artigos, seguido pelo português (2,04%), espanhol (0,25%) e russo (0,25%).

A. Características dos Resultados de Publicação

Os resultados foram obtidos analisando títulos, resumos e palavras-chave das publicações. A Figura 1 mostra que o número de publicações permaneceu baixo até meados da década de 2000, aumentando significativamente a partir de 2006. O ano de 2016 apresenta uma elevação substancial no número de artigos publicados. Em países desenvolvidos, o crescimento do número de publicações é motivado por políticas para maior eficiência e digitalização da rede, permitindo a coleta e análise de dados de operações de consumo e ativos [17]. Já em países em desenvolvimento, a identificação de perdas

não-técnicas tem sido fundamental nos últimos anos, dada sua grande evolução que ocorre tanto pelo fato de que impostos sobre a energia levam em consideração a quantidade de furtos no sistema de distribuição quanto pela quantidade crescente de assentamentos irregulares [57], [58].

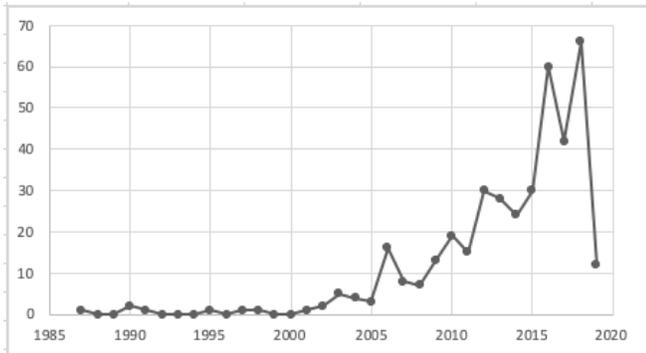


Fig. 1. Número de artigos por ano de publicação.

Durante o período de estudo, o número cumulativo de artigos cresceu de um em 1987 para 392 em 2019. Um modelo exponencial, apresentado na Figura 2, descreve a relação entre o número cumulativo de artigos e o ano de publicação ao longo do período. Uma relação significativa entre a quantidade de artigos e o ano foi observada com um alto coeficiente de determinação ($>0,977$). A curva exponencial para a pesquisa em perdas não-técnicas encontrada é $C = 0,8114e^{0,1888x}$, sendo “C” o número cumulativo de artigos e “x” o número de anos desde 1987. Baseado no modelo exponencial, o número de artigos acumulados estimados deve ser aproximadamente 600 ao final de 2021.

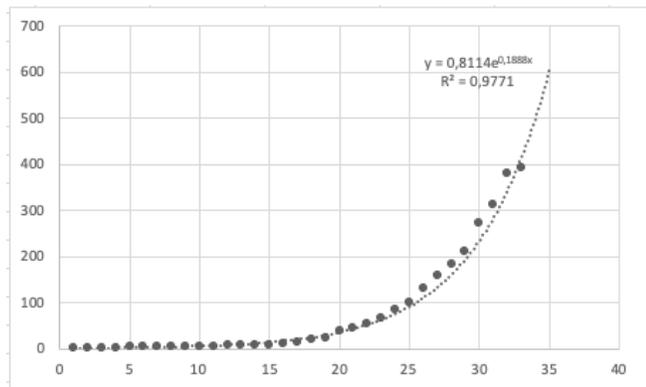


Fig. 2. Relação entre o número cumulativo de publicações e o ano de publicação.

O número médio de autores por publicação teve um aumento significativo, de 2,0 em 1987 para 3,0 em 2019. Contudo, o ano que apresentou maior número médio de autores por publicação foi 2013, com 4,39. Além disso, esta pesquisa levantou os autores que mais publicaram sobre esse tema em conferências ao longo do período apresentado, assim como o número de citações que esses artigos receberam e seus respectivos índices-h.

O índice-h é uma medida bibliométrica proposta por [59], e sugere que um cientista possui índice-h se h dos seus Np artigos

tem pelo menos h citações cada e os outros (Np – h) artigos não têm mais do que h citações cada. Dessa forma, um autor que possui um índice-h elevado comprova sua relevância na comunidade científica, tendo em vista que esse indicador representa o modo mais amplamente aceito de medir o impacto de uma publicação e de um autor [60]. Esses dados são apresentados na Tabela II.

TABELA II
DADOS SOBRE OS 18 AUTORES QUE MAIS PUBLICARAM SOBRE O TEMA DA PESQUISA

Autor	Artigos /autor	Número de citações	Média de citações por artigo	Índice-h
Wang, Lingfeng	6	183	30,50	36
Biscarri, Jesús	6	76	12,67	9
Depuru, Soma	6	183	30,50	13
Shekara Sreenadh Reddy	6	183	30,50	28
Devabhaktuni, Vijay Kumar	6	183	30,50	28
Dong, Zhaoyang	6	178	29,67	57
Nizar, Anizah	6	178	29,67	7
Hanim	6	178	29,67	7
Papa, João Paulo	6	53	8,83	26
Ramos, Caio César	6	53	8,83	9
Oba	6	53	8,83	9
State, Radu	6	30	5,00	17
Biscarri, Félix	5	72	14,40	12
Duarte, Diogo	5	20	4,00	2
Fernández, Alicia	5	12	2,40	6
Glauner, Patrick	5	30	6,00	4
Lecumberry, Federico	5	12	2,40	7
Liu, Ting	5	63	12,60	1
Millán, Rocío	5	72	14,40	8
Wang, Dai	5	62	12,40	1
Xiao, Yang	5	72	14,40	55

O índice-h pode ser representado através da Equação 1. Supondo que os documentos estejam organizados em ordem decrescente do número de citações. Seja c_i o número de citações de i artigos. O índice-h, quando os documentos são organizados em número decrescente de suas citações, pode ser definido como é apresentado na Equação 1 [61].

$$h = \max(i) : c_i \geq i \quad (1)$$

Nota-se que dentre os autores com maior número de artigos encontrados na análise bibliométrica, é comum que haja co-autoria. Os autores Wang, L., Depuru, S. S. S. R. e Devabhaktuni, V. K. publicaram seis artigos juntos. A mesma relação de co-autoria ocorre com Dong, Z. e Nizar, A. H., assim como com Papa, J. P. e Ramos, C. C. O.. Algumas co-autorias também são perceptíveis entre Biscarri, F., Biscarri, J. e Millán, R. e entre State, R. e Glauner, P.. O estudo de co-autoria através de uma perspectiva de rede pode mostrar que os pesquisadores trocam ideias, objetivos, questões de pesquisa, métodos de validação e métodos similares de análise de dados. Dessa forma, redes coesas de co-autoria podem gerar consensos sobre problemas, métodos de pesquisa e resultados [60].

B. Desempenho das Publicações: Países, Instituições e Fundações Patrocinadoras

Publicações de autores de 76 países foram contabilizadas na pesquisa bibliométrica. A Tabela III apresenta os dados de publicações e citações dos 10 países mais produtivos.

TABELA III
DADOS SOBRE OS 18 AUTORES QUE MAIS PUBLICARAM SOBRE O TEMA DA PESQUISA

País	Artigos/país	Artigo/país (%)	Número de citações
Índia	62	15,86%	248
Brasil	61	15,60%	247
Estados Unidos	60	15,35%	872
China	29	7,42%	108
África do Sul	14	3,57%	100
Austrália	12	3,07%	190
Espanha	11	2,81%	92
Reino Unido	11	2,81%	20
Malásia	10	2,56%	79
Portugal	10	2,56%	30

É possível notar que os países que mais publicaram na área de perdas não-técnicas foram Índia, Brasil e Estados Unidos, seguidos pela China. Isso ocorre pelo fato de os dois primeiros países sofrerem muito com esse fenômeno, tendo grandes prejuízos financeiros. Esse fato pode ser corroborado por [12], que atesta que o percentual de perdas não-técnicas varia entre 0,5% e 25% no Brasil, entre 20% e 40% na Índia, enquanto no Reino Unido, por exemplo, varia entre 0,2% e 1%. Já os Estados Unidos buscam identificar formas de combater perdas não-técnicas, visto que smart meters hackeados são muito utilizados para furto de eletricidade, resultando em perdas de até US\$ 6 bilhões para as empresas de distribuição de eletricidade norte-americanas [30]. Em 2013, as perdas financeiras registradas em 50 países emergentes, dentre eles Índia e China, somavam US\$58,7 bilhões. Esses países planejaram um investimento de US\$168 bilhões para tornar o smart grid mais confiável e desenvolver técnicas para reduzir as fraudes de perdas não-técnicas [26].

A Figura 3 apresenta a evolução do número de publicações por ano em cada país a partir do ano 2000, demonstrando que pesquisadores brasileiros já publicavam artigos referentes a perdas não-técnicas desde a metade da década de 2000, enquanto pesquisadores indianos ampliaram significativamente seus esforços nessas pesquisas a partir do início da década de 2010. No país asiático, o investimento em pesquisas na área iniciou, dentre outros fatores, em decorrência de um estudo do Banco Mundial, que sugere que o Produto Interno Bruto indiano teve um decréscimo de 1,5% como consequência do furto de eletricidade [62].

As instituições brasileiras também se destacaram no tema de perdas não-técnicas em distribuição de energia elétrica. Das 12 instituições com mais pesquisadores vinculados, três são brasileiras. No total, foram identificadas pesquisas provenientes de autores de 160 instituições distintas. Os resultados demonstram a importância das universidades como centros de pesquisa para solucionar problemas que afetam empresas e sociedade como um todo. Presume-se que as instituições acadêmicas contribuem para o desempenho do sistema de

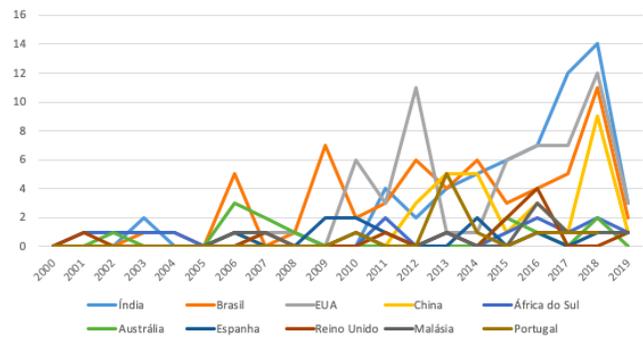


Fig. 3. Relação entre o número cumulativo de publicações e o ano de publicação.

inovação ao gerar e difundir conhecimento, estimulando assim o crescimento econômico [63]. Além disso, destaca-se a atuação da IEEE, sendo a terceira instituição com maior número de artigos vinculados a seus pesquisadores. Também ressalta-se que 107 dos 392 artigos resultantes da análise foram publicados em anais de conferências IEEE, o que corresponde a 27,3% de todos os resultados. A Tabela IV apresenta esses resultados.

TABELA IV
INSTITUIÇÕES MAIS PRODUTIVAS ENTRE 1987 E 2019

Instituição	País	Artigo/instituição
Universidade Estadual Paulista	Brasil	10
Universidade de São Paulo	Brasil	9
IEEE	Estados Unidos	7
Endesa	Espanha	7
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil	7
University of Seville	Espanha	7
University of Toledo	Estados Unidos	6
University of Queensland	Austrália	6
Universidad de la República	Uruguai	6
University of Luxembourg	Luxemburgo	6
CHOICE Technologies	Luxemburgo	5
Holding Sàrl		
Tata Consultancy Services	Índia	5

Dentre as 48 fundações de apoio à pesquisa identificadas, 11 se destacaram por terem mais de uma publicação vinculada a elas. Conforme é possível analisar na Tabela V, cinco dessas fundações são brasileiras, realçando ainda mais o investimento em pesquisas relacionadas a perdas não-técnicas no país. Apesar de o número absoluto de artigos decorrentes de pesquisas financiadas por fundações brasileiras ser pequeno, ressalta-se que dos 392 artigos que retornaram como resultado na pesquisa, 61 são de pesquisadores brasileiros. Destes, um total de 21 artigos atestam apoio de órgãos de fomento nacionais. Dessa forma, pode-se concluir que 34,43% dos artigos brasileiros são resultado de pesquisas financiadas por fundações patrocinadoras. É possível ressaltar, portanto, que iniciativas governamentais canalizam recursos através de órgãos de fomento.

TABELA V
FUNDAÇÕES PATROCINADORAS DE MAIOR DESTAQUE NA PESQUISA

Fundação patrocinadora	País/região	Artigo/fundação
National Science Foundation	Estados Unidos	9
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	5
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	5
National Natural Science Foundation of China	China	5
Agência Nacional de Energia Elétrica	Brasil	2
European Regional Development Fund	Europa	2
European Social Fund	Europa	2
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais	Brasil	2
Fundação para a Ciência e Tecnologia	Brasil	2
Qatar Foundation	Catar	2
Qatar National Research Fund	Catar	2

No Brasil, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) atuam no fomento de pesquisas em nível nacional, enquanto instituições como a Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) incentivam a pesquisa em nível estadual. Além disso, destaca-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que promove a pesquisa a nível nacional, desde que estas atendam aos requisitos de capacitação técnica da proposta de projeto [64].

C. Análise das Palavras-Chave

Análises estatísticas de palavras-chave podem ser utilizadas para identificar direcionamentos na ciência e provaram ser significantes em monitorar o desenvolvimento das áreas analisadas [51]. Nessa pesquisa, 2.514 palavras-chave foram identificadas no total. A Tabela VI apresenta as 10 palavras-chave mais utilizadas pelos autores, utilizando intervalos de oito anos para apresentar a evolução de sua utilização, dispondo o número total de artigos com cada palavra-chave por período fora dos parênteses e entre parênteses o percentual de artigos que utilizou essas palavras-chave em cada período.

Por meio dessa análise, observa-se a evolução da pesquisa relacionada a *smart grids* ao longo dos últimos 15 anos. Esse avanço relaciona-se com o fato de que a execução das redes inteligentes melhora o controle, o monitoramento e a otimização de inúmeras restrições de qualidade de energia. Além disso, os medidores inteligentes oferecem a chance de controlar e monitorar adequadamente o consumo de energia das famílias, tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores. Nesse tipo de aplicação, o principal método de furto de energia pode ser a interferência no medidor, fato abordado pelos estudos de [6] e [19]. É possível perceber que, no mesmo período, os termos crime e furto de eletricidade, relacionados a perdas não-técnicas, ganharam destaque, comprovando o direcionamento do foco das pesquisas para o

problema. Dessa forma, diversas soluções e metodologias publicadas em anais de conferências vêm ganhando destaque com o passar dos anos.

TABELA VI
PALAVRAS-CHAVE MAIS CITADAS PELOS AUTORES

Palavra-chave	Total	1987-1995	1996-2003	2004-2012	2013-2019
Non-technical loss	150	0(0%)	0(0%)	47(41%)	103(39%)
Crime	146	0(0%)	0(0%)	28(24%)	118(45%)
Smart Power Grids	88	0(0%)	0(0%)	10(9%)	78(30%)
Electricity Theft	80	1(20%)	0(0%)	19(17%)	60(23%)
Electric Power Transmission Networks	74	0(0%)	1(10%)	4(3%)	69(26%)
Electric Utilities	68	2(40%)	2(20%)	28(24%)	36(14%)
Smart Grid	63	0(0%)	0(0%)	12(10%)	51(19%)
Smart Meters	63	0(0%)	0(0%)	13(11%)	50(18%)
Advanced Metering Infrastructures	52	0(0%)	0(0%)	10(9%)	42(16%)
Electric Power Distribution	44	0(0%)	4(40%)	21(18%)	19(7%)

D. Artigos mais Citados

Dentre os principais indicadores bibliométricos para avaliar a qualidade de uma pesquisa, destaca-se o número de citações recebidas por um artigo [65]. Conforme apresentado na Tabela VII são analisados os dez artigos mais citados dentre os 392 artigos encontrados na pesquisa e, na sequência, são descritos seus objetivos e principais contribuições.

TABELA VII
ARTIGOS MAIS CITADOS

#	Artigo	Ref.	Número de citações
1	Energy theft in the advanced metering infrastructure	[66]	128
2	Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines	[67]	92
3	Support vector machine based data classification for detection of electricity theft	[68]	89
4	Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure	[69]	83
5	Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines	[31]	67
6	AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations	[70]	55
6	A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems	[32]	55
8	Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks	[71]	51
9	Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection	[72]	49
10	Smart grid initiative for power distribution utility in India	[73]	47

O artigo mais citado é intitulado “*Energy Theft in the Advanced Metering Infrastructure*” [66], com 128 citações. Os

autores consideraram meios adversos de fraudar a rede elétrica manipulando sistemas *Advanced Metering Structure* (AMI), documentando os métodos que os adversários usariam para tentar manipular os dados de uso de energia e validando a viabilidade desses ataques.

Na sequência, o artigo intitulado “*Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines*” [67] aparece com 92 citações. O objetivo dos autores foi apresentar uma abordagem híbrida em relação à análise de perdas não-técnicas para concessionárias utilizando algoritmo genético e uma máquina de vetor de suporte. O modelo pré-selecionou clientes suspeitos para serem inspecionados no local por fraude com base no comportamento anormal do consumo.

O terceiro artigo apresentado na Tabela VII é intitulado “*Support vector machine based data classification for detection of electricity theft*” [68] e possui 89 citações. No artigo, os autores discutiram os problemas subjacentes à detecção de furto de eletricidade. Foram utilizadas máquinas de vetores de suporte, que foram treinadas com os dados coletados de medidores inteligentes, representando todas as formas possíveis de furto e testados em vários clientes.

Tendo recebido 83 citações, o artigo intitulado “*Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure*” [69] foi o quarto mais citado, e apresentou uma abordagem de AMI para modelar metas de invasores, como fraude energética. Foram gerados diversos cenários reais que identificaram manipulação de dados de uso de energia, medidores de falsificação e extração de dados confidenciais de registros internos.

O quinto artigo mais citado é intitulado “*Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines*” [31] e possui 67 citações. Os autores apresentaram uma nova abordagem para a análise de perdas não-técnicas para concessionárias de energia elétrica usando máquinas de vetores de suporte.

Com 55 citações, os artigos intitulados “*AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations*” [70] e “*A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems*” [32] aparecem na sexta posição. O primeiro artigo tem por objetivo pesquisar as várias ameaças enfrentadas pelas AMIs e as técnicas comuns de ataque usadas para realizá-las, a fim de identificar e entender os requisitos para uma solução abrangente de detecção de intrusões. Já o segundo formula o problema da detecção de furto de eletricidade como um jogo entre a concessionária de energia elétrica e o ladrão de eletricidade, no qual o objetivo do ladrão de eletricidade é roubar uma quantidade predefinida de eletricidade, minimizando a probabilidade de ser detectado, enquanto a concessionária deseja maximizar a probabilidade de detecção e o grau de custo operacional em que incorrerá para gerenciar esse mecanismo de detecção de anomalias.

O artigo intitulado “*Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks*” [71] possui 51 citações, e propõe um modelo de ameaça para o uso da análise de dados na detecção de furto de eletricidade e uma nova métrica que aproveita esse modelo de ameaça para avaliar e comparar os detectores de

anomalias, utilizando dados reais de um sistema AMI para validar a abordagem.

Na sequência, o artigo intitulado “*Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection*” [72] aparece com 49 citações. Os autores propõem um novo método de análise automática de recursos usando técnicas wavelet e combinando vários classificadores para identificar fraudes em redes de distribuição de eletricidade.

O décimo artigo mais citado é intitulado “*Smart grid initiative for power distribution utility in India*” [73], com 47 citações. Este artigo discute as iniciativas de smart grids na Índia, metodologia de implementação, desafios e benefícios, analisando a necessidade dessa tecnologia para minimizar perdas técnicas e comerciais. Também elabora a metodologia para implementar o projeto de rede inteligente no cenário de energia indiano, destacando os vários desafios para implementar a rede inteligente no país.

E. Interpretação dos Resultados

Os resultados desse estudo mostram as características gerais dos artigos publicados em anais de conferências indexados na base de dados Scopus. A Tabela VIII destaca as análises conduzidas, os principais resultados encontrados e as conclusões preliminares desse estudo.

As conferências são um importante canal de comunicação para pesquisadores no campo de perdas não-técnicas, principalmente para publicação de artigos de pesquisa (94,6%), conforme é possível observar na Tabela VIII. Artigos de revisão também são publicados em conferências, contudo em número significativamente menor (5,4%). O número de artigos de pesquisa é maior porque eles são derivados de pesquisas experimentais originais, gerando conclusões inéditas em decorrência de novas descobertas científicas. Por outro lado, artigos de revisão são derivados de pesquisas não experimentais, ou seja, se baseiam no conhecimento gerado até o momento sobre determinado assunto [74]. Dessa forma, artigos de revisão englobam estudos acerca de diversos artigos de pesquisa, existindo, portanto, em menor número.

Além disso, identificou-se que perdas não-técnicas representam um tópico consolidado na literatura, tendo atingido o pico de publicações em 2018. Até 2005, o máximo de publicações por ano foi de cinco. A partir de 2006, o número de publicações aumentou significativamente, chegando a 66 publicações em 2008. A tendência de crescimento mostra que o número acumulado de publicações chegue a 600 ao final de 2021. Esse interesse contínuo mostra que há uma tendência de que as pesquisas na área de perdas não-técnicas sigam crescendo nos próximos anos, de modo a resolver uma série de barreiras, como a apresentada por [32], que diz que as técnicas tradicionais de detecção desse tipo de perdas por si só não são suficientes, pois podem em geral detectar que alguns dos clientes conectados à concessionária estão furtando eletricidade, mas não conseguem identificar exatamente quem eles são.

A análise dos artigos por idioma indicou que o inglês corresponde ao principal idioma de comunicação científica. A prevalência do inglês deriva do seu advento como um idioma

global, aumentando as possibilidades em diversos setores internacionais, principalmente no campo científico [52].

TABELA VIII
CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS QUE ABORDAM PERDAS NÃO-TÉCNICAS

Análise realizada	Principais resultados	Conclusões preliminares
Quantidade de artigos por tipo de documento	94,6% dos artigos são de pesquisa e 5,4% são de revisões	Artigos de pesquisa apresentam número mais significativo do que revisões
Quantidade de artigos por ano de publicação	O tópico foi consolidado na literatura depois do ano 2006 e alcançou seu pico em 2016	O tópico está consolidado na literatura
Quantidade de artigos por idioma	97,45% dos artigos foram publicados em inglês	Inglês corresponde ao principal idioma de publicação desses estudos
Quantidade de artigos por país	Índia, Brasil, Estados Unidos e China representam os países mais produtivos	Diferentes países apresentam produtividades similares em perdas não-técnicas
Quantidade de autores por artigo	O número médio de autores por publicação foi de 3 em 2019 e alcançou seu pico em 2013 com 4,39	A vasta maioria dos artigos é desenvolvida através de colaboração entre pesquisadores
Quantidade de artigos por instituição	Universidades brasileiras lideraram o ranking com mais artigos em perdas não-técnicas	O Brasil concentra a maioria das instituições mais produtivas no tema
Quantidade de artigos por fundação patrocinadora	Uma fundação patrocinadora americana apresentou o maior número de artigos na área	Apesar de uma fundação dos Estados Unidos patrocinar o maior número de artigos, o Brasil concentra a maioria das fundações patrocinadoras à pesquisa no tema
Palavras-chave mais utilizadas para representar os artigos	As palavras-chave mostram os vínculos entre <i>smart grids</i> , crime e furto de eletricidade relacionados a perdas não-técnicas	Observa-se a evolução da pesquisa em perdas não-técnicas e termos vinculados a fim de melhorar o controle, monitoramento e qualidade da energia
Quantidade de citações por artigo	O artigo mais citado apresentou 125 citações	Os autores mais produtivos não são necessariamente os mais citados
Caracterização dos artigos mais citados	Os artigos mais citados estão distribuídos em anais de conferências especializadas em diferentes áreas	Abordagens para análise de perdas não-técnicas e problemas subjacentes à detecção de furto de eletricidade correspondem aos principais tópicos discutidos nos artigos

Analisando a quantidade de artigos publicados por países, instituições e fundações patrocinadoras, destaca-se que o Brasil concentrou a maioria das pesquisas realizadas. Além disso, ressalta-se o número significativo de estudos desenvolvidos na Índia, nos Estados Unidos e na China, demonstrando que a temática apresenta relevância global.

Com relação ao número de autores por artigo publicado, nota-se que a maioria dos estudos são realizados por no mínimo dois autores, indicando que as pesquisas são geralmente conduzidas por meio de colaboração entre diferentes pesquisadores. Além

disso, analisando o número de publicações por autor, verifica-se que essa área de pesquisa está evoluindo, pois ainda não existem autores dominantes, e pesquisadores de diferentes origens vêm contribuindo para a temática. A análise das palavras-chave evidenciou que os termos crime e furto de eletricidade, relacionados a perdas não-técnicas, ganharam destaque, corroborando o direcionamento do foco das pesquisas para o tema.

A análise de impacto demonstrou que o artigo mais citado apresentou 125 citações; no entanto, os autores mais produtivos não são necessariamente os mais citados. Além disso, verificou-se que os artigos mais citados tiveram como principais objetivos a compreensão dos problemas à detecção de furto de eletricidade e o desenvolvimento de metodologias para detecção e análise de perdas não-técnicas.

IV. CONCLUSÕES

Ao analisar 392 artigos de conferências referentes a perdas não-técnicas em distribuição de energia elétrica e termos derivados na base de dados Scopus, esse artigo apresentou uma análise bibliométrica sobre o tema, propiciando uma visão geral das pesquisas publicadas em anais de conferências sobre perdas não-técnicas entre 1987 e 2019. Destaca-se que foram analisados artigos de conferências, pois estas podem ser vistas como incubadoras de áreas emergentes de pesquisa e, portanto, como inovadoras no campo das pesquisas internacionais [56]. Foram analisados os seguintes indicadores: idioma de publicação, variação do número de publicações ao longo dos anos, autores e seus índices-h, país, instituição, fundação patrocinadora das publicações, palavras-chave e artigos mais citados.

As pesquisas sobre perdas não-técnicas em distribuição de energia elétrica, relacionados a furtos e fraudes de eletricidade, vêm crescendo ao longo dos últimos 15 anos, principalmente em países em desenvolvimento, como Índia e Brasil. Esse fato pode ser explicado por [75], que comprova que o aumento de ligações irregulares é relacionado à deterioração econômica da região ou do país em que se encontram. Um modelo exponencial foi aplicado para ilustrar as relações entre o número cumulativo de artigos e o ano de publicação. Além disso, com base nesse modelo foi possível prever que o número cumulativo de artigos tende a chegar a 600 ao fim de 2021, período que marcará 35 anos da primeira publicação acerca do tema em conferências, o que representa um aumento de 53% no número total de publicações em dois anos e meio.

Ressaltou-se também a qualidade dos pesquisadores que estudam a área. A média do índice-h calculado entre os 18 autores que mais publicaram é de 16,5, e a média de citações que cada um dos 18 autores recebeu com os artigos publicados e analisados por essa pesquisa é de 81,11. Também foi possível destacar que países em desenvolvimento estão investindo e incentivando a pesquisa na área com o objetivo de reduzir os prejuízos causados por perdas não-técnicas em distribuição de eletricidade. O desenvolvimento de pesquisas em universidades e com apoio de fundações patrocinadoras demonstra ações estratégicas tomadas por governos para mitigar o risco relacionado ao furto de energia elétrica.

A análise das palavras-chave utilizadas ao longo dos anos demonstrou que as primeiras pesquisas sobre o tema, entre o final das décadas de 80 e 90, buscavam uma compreensão do problema, enquanto a partir de meados da década de 2000 houve um aumento significativo em palavras-chave como “*non-technical loss*” e “*electricity theft*”, o que demonstra o aumento dos esforços em pesquisas na área. Nesse ponto ressalta-se o crescimento dos termos “*smart power grids*”, “*smart grids*” e “*smart meters*”, fato que se relaciona, principalmente em países desenvolvidos, ao aumento de políticas para maior eficiência e digitalização da rede.

Foi possível perceber ao analisar os artigos mais citados o foco em apresentar e testar novas abordagens para identificação de perdas não-técnicas, através de metodologias como algoritmo genético e máquina de vetor de suporte. Os objetivos convergem na tentativa de identificar fraudadores de eletricidade e auxiliar as concessionárias a reduzir seus prejuízos. Assim, é possível constatar que muitas das políticas de prevenção e combate às perdas não-técnicas têm impactos positivos na diminuição da inadimplência [75].

Este artigo demonstra como a análise bibliométrica pode ser uma ferramenta útil para as comunidades empresarial, governamental e acadêmica. Para a comunidade empresarial, representada no âmbito dessa pesquisa principalmente pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, a análise bibliométrica contribui de forma a apresentar um panorama da pesquisa relacionada a perdas não-técnicas no mundo. Assim, podem identificar quais países, pesquisadores e instituições estão na vanguarda da pesquisa na área, de forma que possam servir de referência na implantação de melhorias nos seus métodos de detecção de perdas não-técnicas.

Para a comunidade governamental, a análise bibliométrica pode ser utilizada na avaliação de pesquisa e produtividade em comunidades científicas, tanto por políticos quanto por agências de fomento [76]. Além disso, auxilia no direcionamento e distribuição de recursos entre instituições de ensino e na identificação dos centros de referência e dos centros emergentes em pesquisa na área de perdas não-técnicas nos seus respectivos países.

Por fim, para a comunidade acadêmica, a análise bibliométrica é vista como um método valioso para avaliar a produção científica e tem um impacto crescente [76]. Além disso, contribui para o avanço do conhecimento sobre perdas não-técnicas e encoraja novos estudos e conexões entre pesquisadores e instituições de ensino e pesquisa de diversas partes do mundo. Também permite a identificação das principais conferências realizadas mundialmente, a fim de que pesquisadores possam direcionar suas pesquisas e intercambiar experiências acerca do tema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FAPERGS e Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia - Geração Distribuída (INCT-GD) pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] G. M. Messinis and N. D. Hatzigiorgiou, “Review of non-technical loss detection methods,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 158, pp. 250–266, 2018.
- [2] I. Monedero, F. Biscarri, C. León, J. I. Guerrero, J. Biscarri, and R. Millán, “Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 90–98, 2012.
- [3] M. Zanetti, E. Jamhour, M. Pellenz, M. Penna, V. Zambenedetti, and I. Chueiri, “A Tunable Fraud Detection System for Advanced Metering Infrastructure Using Short-Lived Patterns,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 10, no. 1, pp. 830–840, 2019.
- [4] S. Kumar V., J. Prasad, and R. Samikannu, “Overview, issues and prevention of energy theft in smart grids and virtual power plants in Indian context,” *Energy Policy*, vol. 110, pp. 365–374, 2017.
- [5] F. Jamil and E. Ahmad, “Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries,” *Energy Policy*, pp. 452–458, 2019.
- [6] T. Ahmad, “Non-technical loss analysis and prevention using smart meters,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 573–589, 2017.
- [7] X. Xia, Y. Xiao, and W. Liang, “ABS: An Adaptive Binary Splitting Algorithm for Malicious Meter Inspection in Smart Grid,” *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 14, no. 2, pp. 445–458, 2019.
- [8] S. Yurukoglu, F. Nasibov, M. Mungan, and M. Bagriyanik, “The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 5, pp. 3631–3643, 2016.
- [9] J. Nagi, K. S. Yap, S. K. Tiong, S. K. Ahmed, and M. Mohamad, “Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 2, pp. 1162–1171, 2010.
- [10] V. B. Krishna, C. A. Gunter, and W. H. Sanders, “Evaluating Detectors on Optimal Attack Vectors That Enable Electricity Theft and der Fraud,” *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 12, no. 4, pp. 790–805, 2018.
- [11] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), “Perdas de Energia Elétrica na Distribuição – 1/2019,” Relatório técnico. Brasília - DF, 2019.
- [12] C. C. O. Ramos, D. Rodrigues, A. N. De Souza, and J. P. Papa, “On the study of commercial losses in Brazil: A binary black hole algorithm for theft characterization,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 2, pp. 676–683, 2018.
- [13] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), “Luz na Tarifa,” Relatórios técnicos. Brasília - DF, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/luz-na-tarifa>
- [14] X. Xia, Y. Xiao, W. Liang, and M. Zheng, “Coded grouping-based inspection algorithms to detect malicious meters in neighborhood area smart grid,” *Comput. Secur.*, vol. 77, pp. 547–564, 2018.
- [15] T. Winther, “Electricity theft as a relational issue: A comparative look at Zanzibar, Tanzania, and the Sunderban Islands, India,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 16, no. 1, pp. 111–119, 2012.
- [16] E. Villar-Rodríguez, J. Del Ser, I. Oregi, M. N. Bilbao, and S. Gil-Lopez, “Detection of non-technical losses in smart meter data based on load curve profiling and time series analysis,” *Energy*, vol. 137, pp. 118–128, 2017.
- [17] J. L. Viegas, P. R. Esteves, R. Melício, V. M. F. Mendes, and S. M. Vieira, “Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, pp. 1256–1268, 2017.
- [18] H. Tasdoven, B. A. Fiedler, and V. Garayev, “Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal electricity consumption: A governance approach,” *Energy Policy*, vol. 43, pp. 226–234, 2012.
- [19] F. B. Lewis, “Costly ‘Throw-Ups’: Electricity Theft and Power Disruptions,” *Electr. J.*, vol. 28, no. 7, pp. 118–135, 2015.
- [20] F. Jamil, “On the electricity shortage, price and electricity theft nexus,” *Energy Policy*, vol. 54, pp. 267–272, 2013.
- [21] E. S. Ibrahim, “Management of loss reduction projects for power distribution systems,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 55, no. 1, pp. 49–56, 2000.
- [22] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, “Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft,” *Energy Policy*, vol. 39, pp. 1007–1015, 2011.
- [23] Y. Zhou, X. Chen, A. Y. Zomaya, L. Wang, and S. Hu, “A Dynamic Programming Algorithm for Leveraging Probabilistic Detection of Energy Theft in Smart Home,” *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput.*, vol. 3, no. 4, pp. 502–513, 2015.
- [24] C. C. O. Ramos, A. N. De Sousa, J. P. Papa, and A. X. Falcão, “A new approach for nontechnical losses detection based on optimum-path

- forest," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 181–189, 2011.
- [25] M. Aryanezhad, "A novel approach to detection and prevention of electricity pilferage over power distribution network," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 111, pp. 191–200, 2019.
- [26] W. Han and Y. Xiao, "A novel detector to detect colluded non-technical loss frauds in smart grid," *Comput. Networks*, vol. 117, pp. 19–31, 2017.
- [27] L. G. De O Silva, A. A. P. Da Silva, and A. T. De Almeida-Filho, "Allocation of power-quality monitors using the p-median to identify nontechnical losses," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 31, no. 5, pp. 2242–2249, 2016.
- [28] P. Jokar, N. Arianpoo, and V. C. M. Leung, "Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 216–226, 2016.
- [29] R. Punmiya and S. Choe, "Energy theft detection using gradient boosting theft detector with feature engineering-based preprocessing," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 10, no. 2, pp. 2326–2329, 2019.
- [30] S. Amin, G. A. Cardenas, A. A. Cardenas, and S. S. Sastry, "Game-theoretic models of electricity theft detection in smart utility networks: Providing new capabilities with advanced metering infrastructure," *IEEE Control Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 66–81, 2015.
- [31] J. Nagi, A. M. Mohammad, K. S. Yap, S. K. Tiong, and S. K. Ahmed, "Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines," in *PECon 2008 - 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference*, 2008.
- [32] A. A. Cardenas, S. Amin, G. Schwartz, R. Dong, and S. Sastry, "A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems," in *2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton 2012*, 2012.
- [33] C. J. Bandim *et al.*, "Identification of Energy Theft and Tampered Meters Using a Central Observer Meter: A Mathematical Approach," in *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, 2003.
- [34] S. McLaughlin, B. Holbert, S. Zonouz, and R. Berthier, "AMIDS: A multi-sensor energy theft detection framework for advanced metering infrastructures," in *2012 IEEE 3rd International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2012*, 2012, pp. 354–359.
- [35] A. H. Nizar, Z. Y. Dong, J. H. Zhao, and P. Zhang, "A data mining based NTL analysis method," in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 2007.
- [36] W. Han and Y. Xiao, "NFD: A practical scheme to detect non-technical loss fraud in smart grid," in *2014 IEEE International Conference on Communications, ICC 2014*, 2014, pp. 605–609.
- [37] J. W. Fourie and J. E. Calmeyer, "A statistical method to minimize electrical energy losses in a local electricity distribution network," in *IEEE AFRICON Conference*, 2004.
- [38] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "A conceptual design using harmonics to reduce pilfering of electricity," in *IEEE PES General Meeting, PES 2010*, 2010.
- [39] M. L. Corton, A. Zimmermann, and M. A. Phillips, "The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil," *Energy Policy*, vol. 97, pp. 485–493, 2016.
- [40] F. M. Mwaura, "Adopting electricity prepayment billing system to reduce non-technical energy losses in Uganda: Lesson from Rwanda," *Util. Policy*, vol. 23, pp. 72–79, 2012.
- [41] T. Sharma, K. K. Pandey, D. K. Punia, and J. Rao, "Of pilferers and poachers: Combating electricity theft in India," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 11, pp. 40–52, 2016.
- [42] T. Somuncu and C. Hannum, "The rebound effect of energy efficiency policy in the presence of energy theft," *Energies*, vol. 11, no. 12, 2018.
- [43] M. Teresa Costa-Campi, D. Davi-Arderius, and E. Trujillo-Baute, "The economic impact of electricity losses," *ENERGY Econ.*, vol. 75, pp. 309–322, 2018.
- [44] J. I. Guerrero, C. León, I. Monedero, F. Biscarri, and J. Biscarri, "Improving Knowledge-Based Systems with statistical techniques, text mining, and neural networks for non-technical loss detection," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 71, pp. 376–388, 2014.
- [45] K. L. Joseph, "The politics of power: Electricity reform in India," *Energy Policy*, vol. 38, no. 1, pp. 503–511, 2010.
- [46] R. Ghajar, J. Khalife, and B. Richani, "Design and cost analysis of an automatic meter reading system for Electricité du Liban," *Util. Policy*, vol. 9, no. 4, pp. 193–205, 2000.
- [47] E. W. S. Dos Angelos, O. R. Saavedra, O. A. C. Cortés, and A. N. De Souza, "Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, pp. 2436–2442, 2011.
- [48] A. Berktaş, A. Demirbas, S. Kocak, and B. Nas, "Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 22, no. 3, pp. 195–206, 2004.
- [49] T. Ahmad and Q. Ul Hasan, "Detection of Frauds and Other Non-technical Losses in Power Utilities using Smart Meters: A Review," *Int. J. Emerg. Electr. Power Syst.*, vol. 17, no. 3, pp. 217–234, 2016.
- [50] A. F. J. van Raan, "For Your Citations Only? Hot Topics in Bibliometric Analysis," *Meas. Interdiscip. Res. Perspect.*, 2005.
- [51] H. Z. Fu, Y. S. Ho, Y. M. Sui, and Z. S. Li, "A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993–2008," *Waste Manag.*, vol. 30, pp. 2410–2417, 2010.
- [52] T. B. Garlet, F. de S. Savian, M. S. Minuzzi, and J. C. M. Siluk, "Research, development and innovation management in the energy sector," *Adv. Energy Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 17–33, 2019.
- [53] V. V. M. Silva, J. L. D. Ribeiro, G. R. Alvarez, and S. E. Caregnato, "Competence-Based Management Research in the Web of Science and Scopus Databases: Scientific Production, Collaboration, and Impact," *Publications*, vol. 7, no. 4, p. 60, 2019.
- [54] J. Li, J. F. Burnham, T. Lemley, and R. M. Britton, "Citation analysis: Comparison of web of science®, scopus™, scifinder®, and google scholar," *J. Electron. Resour. Med. Libr.*, vol. 7, no. 3, pp. 196–217, 2010.
- [55] Scopus, "Scopus Content Coverage Guide," 2017.
- [56] K. M. Hofer, A. E. Smejkal, F. Z. Bilgin, and G. A. Wuehrer, "Conference proceedings as a matter of bibliometric studies: The Academy of International Business 2006–2008," *Scientometrics*, 2010.
- [57] L. A. Passos Júnior *et al.*, "Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 140, pp. 413–423, 2016.
- [58] M. Madrigal, J. J. Rico, and L. Uzcategui, "Estimation of Non-Technical Energy Losses in Electrical Distribution Systems," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 15, no. 8, pp. 1447–1452, 2017.
- [59] J. E. Hirsch, "An index to quantify an individual's scientific research output," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 102, no. 46, pp. 16569–16572, 2005.
- [60] A. A. Stoica, "Homophily in co-authorship networks," *Int. Rev. Soc. Res.*, 2018.
- [61] A. M. Abbas, "Bounds and inequalities relating h-Index, g-Index, e-Index and generalized impact factor: An improvement over existing models," *PLoS One*, 2012.
- [62] R. Razavi and M. Fleury, "Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 49, pp. 1–10, 2019.
- [63] M. Fritsch and V. Slavtchev, "Universities and innovation in space," *Ind. Innov.*, vol. 14, no. 2, pp. 201–218, 2007.
- [64] F. L. Freitas, M. P. Ferreira, T. K. Matsuo, F. A. Forcellini, and M. A. R. Orofino, "Processo de Desenvolvimento de Produto: Aplicação em um Projeto de P&D dentro do Programa ANEEL," in *XXIV Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas*, 2014.
- [65] E. J. Duque Oliva, A. Cervera Taulet, and C. Rodríguez Romero, "Estudo bibliométrico dos modelos de medição do conceito de qualidade recebida do serviço em internet," *Rev. Innovar J. Rev. Ciencias Adm. y Soc.*, vol. 16, no. 28, pp. 223–243, 2011.
- [66] S. McLaughlin, D. Podkuiko, and P. McDaniel, "Energy theft in the advanced metering infrastructure," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2010, pp. 176–187.
- [67] J. Nagi, K. S. Yap, S. K. Tiong, S. K. Ahmed, and A. M. Mohammad, "Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines," in *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2008.
- [68] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Support vector machine based data classification for detection of electricity theft," in *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2011*, 2011.
- [69] S. McLaughlin, D. Podkuiko, S. Miadzvezhanka, A. Delozier, and P. McDaniel, "Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure," in *Proceedings - Annual Computer Security Applications Conference, ACSAC*, 2010, pp. 107–116.
- [70] D. Grochoccki *et al.*, "AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations," in *2012 IEEE 3rd International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2012*, 2012, pp. 395–400.
- [71] D. Mashima and A. A. Cárdenas, "Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture*

Notes in Bioinformatics), 2012.

- [72] R. Jiang, H. Tagaris, A. Lachs, and M. Jeffrey, "Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection," in *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, 2002.
- [73] A. Sinha, S. Neogi, R. N. Lahiri, S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and N. Chakraborty, "Smart grid initiative for power distribution utility in India," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011.
- [74] L. B. De Carvalho, "Esclarecimento sobre tipos de artigos científicos para publicação na Revista de Ciências Agroveterinárias," *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 2017.
- [75] C. A. de S. Penin, "Combate, prevenção e otimização das perdas comerciais de energia elétrica," Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2008.
- [76] O. Ellegaard and J. A. Wallin, "The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?," *Scientometrics*, 2015.



Fernando de Souza Savian received the title of Electrical Engineer from the Federal University of Santa Maria in 2015 and the title of Master in Production Engineering, also from the Federal University of Santa Maria, in 2018. He is currently a PhD student in Production Engineering from the Federal University of Santa Maria and Assistant Professor at the School of Management of the Federal University of Rio Grande do Sul. His main research is in the areas of non-technical losses in electricity distribution, photovoltaic energy and organizational risk management in incubated companies.



Julio Cezar Mairesse Siluk received a bachelor's degree in Business Administration from the Federal University of Santa Maria in 1987 and a master's degree in Production Engineering from the Federal University of Santa Maria in 2001. He holds a PhD in Production Engineering and is currently a professor and researcher at the

Federal University of Santa Maria. He is a Productivity Scholar on Technological Development and Innovative Extension 2. He is the founder and leader of the Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC) at the Federal University of Santa Maria. His main research interests include energy business management, strategic management, innovation and competitiveness, performance appraisal, strategic planning, performance indicators, investment analysis and balanced scorecard.



Taís Bisognin Garlet received the title of Chemical Engineer from the Federal University of Santa Maria in 2015 and the master's degree in Production Engineering, also from the Federal University of Santa Maria, in 2017. She is currently a PhD student in Production Engineering from the Federal University of Rio Grande do Sul.

Her main research is in the areas of photovoltaic energy management, performance indicators and organizational management.



Felipe Moraes do Nascimento received the title of Mechanical Engineer from the University of Passo Fundo in 2017. Currently he is a master's student in Production Engineering in the Federal University of Santa Maria. His main research is in the areas of energy management, strategic management, innovation and competitiveness, strategic planning and performance indicators.



José Renes Pinheiro received the title of Electrical Engineer from the Federal University of Santa Maria in 1984 and the title of Master in Electrical Engineering from the Federal University of Santa Catarina in 1994. He holds a PhD in Electrical Engineering from the Federal University of Santa Catarina and a postdoctoral degree in Virginia Tech, VA, USA (2002). He is currently a volunteer professor at the Department of Electrical Energy Processing and a permanent professor at the Federal University of Santa Maria. He is also a visiting professor at the Federal University of Bahia. He is a founder and leader of the Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC) and deputy coordinator of the Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Geração Distribuída (INCT-GD). His main research interests include multilevel hybrid converters, UPS, telecommunication sources and servers, modeling and control of static converters, systems integration and soft switching techniques, power supplies and distributed power generation systems.