



REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR) OF MATHEMATICAL MODELS FOR ELECTRICITY
DEMAND FORECASTING

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) SOBRE MODELOS MATEMÁTICOS PARA
PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Monclar Nogueira Christovão¹, Mario Mollo Neto², Paulo Sérgio Barbosa dos Santos³, Ana Flávia de Luca
Oliveira Christovão⁴

e3102031

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i10.2031>

PUBLICADO: 10/2022

RESUMO

A eletricidade é fundamental e exclui socialmente aqueles que não a possuem. Ela promove o desenvolvimento de uma nação e, portanto, é imprescindível uma previsão de demanda para dar suporte a tomadas de decisões no planejamento e implantação da infraestrutura elétrica de uma região. Esta pesquisa apresenta propostas matemáticas e ferramentas computacionais para estimativas de aumento do consumo de energia. O objetivo é construir uma revisão sistemática de literatura de obras científicas sobre modelos matemáticos que simulam previsões de demanda de energia. Utilizou-se o roteiro de busca para uma revisão sistemática com plano de ação constituído por três etapas: entrada, processamento e saída. Um protocolo com *strings* e critérios de inclusão e exclusão foi empregado como filtro de publicações nas bases de dados. As publicações filtradas foram processadas, segundo critérios estabelecidos pelo tema e objetivo, em dois estágios: seleção e extração, utilizando o *software* StArt. O resultado, usando as expressões de buscas booleanas e sem filtros, foram 982 obras, sendo 785 obras na *Scopus* e 197 na *Web of Science*. Aplicando o protocolo nessas bases, filtrou-se 285 publicações. Seguindo os critérios de qualificação, filtrou-se 71 publicações na fase de seleção. Na fase de extração, respeitando as mesmas qualificações da fase anterior, selecionou-se 20 publicações das 71. Por fim, elaborou-se um quadro com as contribuições de cada uma dessas 20 obras com o tema da pesquisa. Os utilizadores desses resultados são acadêmicos e pesquisadores de políticas públicas do setor elétrico, assim como corporações de geração, transmissão e distribuição de eletricidade.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo matemático. Previsão da demanda de eletricidade. Previsão da demanda de energia. Demanda de eletricidade. Demanda de energia.

¹ Doutorando em Agronegócio e Desenvolvimento pela Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"); Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento pela Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"); Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo UNISALESIANO (Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium). Especialista em Automação e Controle Industrial pela UNILINS (Fundação Paulista de Tecnologia e Educação). Graduado em Matemática (Licenciatura Plena) pelo UNISALESIANO. Graduado em Eletrotécnica (Licenciatura Plena) pelo UNISALESIANO. Graduado em Engenharia Elétrica (Bacharelado) pela UNESP. Professor concursado do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) em Eletrotécnica no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) - Campus Avançado Tupã.

² Pós Doutorado em Engenharia de Biosistemas na área de Construções Rurais e Ambiente, pela Universidade Estadual de Campinas, Doutorado em Engenharia Agrícola (Conceito CAPES 5) na área de Construções Rurais e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas, Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista UNIP e graduação em Engenharia Industrial Modalidade Eletrotécnica pela Universidade São Judas Tadeu (USJT). Professor associado do Curso de Engenharia de Biosistemas da Faculdade de Ciências e Engenharia (FCE) da Universidade Estadual Paulista - UNESP em TUPÃ. Vice-Diretor da Unidade da UNESP de Tupã.

³ Graduado em Engenharia Mecatrônica pelo UniSALESIANO de Araçatuba-SP, Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista-UNESP como bolsista CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Doutorado em Engenharia Mecânica pela UNESP. Professor Assistente Doutor no Curso de Engenharia de Biosistemas da UNESP (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – FCE-UNESP, Campus de Tupã - SP)

⁴ Graduação em Letras com Habilitação de Tradutor (Inglês/Espanhol) pela UNESP – Universidade Estadual Paulista, Licenciatura Plena na Língua Inglesa e especialização em Prática de Ensino da Língua Inglesa pela Universidade Salesiano e Faculdade São Luís, respectivamente. Especialista em Tradução Audiovisual pelo Centro Universitário São Camilo.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

ABSTRACT

Electricity is a basic input and socially excludes those who have no access to it. It promotes the development of a nation and, therefore, it is crucial to forecast the demand to support decision-making on the planning and implementation of the electrical infrastructure in a region. This study presents mathematical proposals and computing tools for estimating energy consumption increase. The objective is to conduct a systematic literature review of scientific studies on mathematical models that simulate energy demand forecasts. The systematic review search action plan consisted of three stages: input, processing and output. We used a protocol with strings and inclusion-exclusion criteria as a filter of publications in the databases. The filtered publications were processed according to criteria set per topic and objective in two stages: selection and extraction using the StArt software. By using Boolean and no filter search expressions, we obtained 982 papers – 785 in Scopus and 197 in Web of Science. By applying the protocol to these databases, 285 publications were filtered. According to the qualification criteria, 71 publications were filtered in the selection stage. In the extraction stage, using the same criteria for the previous stage, 20 publications were selected out of 71. Finally, we prepared a chart containing the contributions from each of these 20 papers with the research topic. The results can be used by academic and public policy researchers in the electricity sector, as well as electricity generation, transmission and distribution companies.

KEYWORDS: *Mathematical model. Electricity demand forecast. Energy demand forecast. Electricity demand. Energy demand.*

RESUMEN

La electricidad es fundamental y excluye socialmente a quienes no la tienen. Promueve el desarrollo de una nación y, por ello, la previsión de demanda es esencial para apoyar decisiones de planificación e implementación de la infraestructura eléctrica de una región. Esta investigación presenta propuestas matemáticas y herramientas computacionales para estimar el aumento en el consumo energético. El objetivo es hacer una revisión sistemática de literatura de obras científicas sobre modelos matemáticos que simulan pronósticos de demanda de energía. La búsqueda se realizó en tres etapas: entrada, procesamiento y salida. Se utilizó un protocolo con strings y criterios de inclusión y exclusión para filtrar las publicaciones en las bases de datos. Se procesaron las publicaciones filtradas, según criterios establecidos por el tema y objetivo, en dos etapas: selección y extracción, utilizando el software StArt. Utilizando expresiones de búsqueda booleanas y sin filtro, se obtuvieron 982 trabajos, con 785 en Scopus y 197 en Web of Science. Aplicando el protocolo a las bases, se filtraron 285 publicaciones. Siguiendo los criterios de calificación, se filtraron 71 publicaciones en la etapa de selección. En la etapa de extracción, se seleccionaron 20 publicaciones de las 71. Finalmente, se elaboró un cuadro con las contribuciones de cada uno de los 20 trabajos con el tema de investigación. Los resultados pueden ser útiles a los académicos e investigadores de políticas públicas del sector eléctrico, así como compañías de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

PALABRAS CLAVE: *Modelo matemático. Pronóstico de demanda de electricidad. Previsión de demanda de energía. Demanda de electricidad. Demanda de energía.*

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo primordial para o progresso de uma nação, e a garantia da continuidade de seu abastecimento gera apreensão nos mandatários de diversos países (MARANGONI; MAGATÃO; DE ARRUDA, 2020).

Para Bisognin e Werner (2020), é fato que a eletricidade é um item de primeira necessidade, e a população que não tem acesso ao seu fornecimento torna-se excluída socialmente.

No Brasil em 2019, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, o programa Luz Para Todos iria atender, com acesso à rede de energia elétrica, 380 mil cidadãos que estão no meio rural



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

ou em áreas isoladas, ou ainda em reservas extrativistas. A maioria desses brasileiros são moradores das regiões Norte e Nordeste (NASCIMENTO, 2018).

Segundo Fan, Xia e Wang (2014), o aumento do consumo de energia a nível global tem causado preocupação ao redor do mundo devido a insegurança no fornecimento de eletricidade e a degradação do meio ambiente, além de questões de ordem geopolíticas.

O problema anteriormente exposto torna-se agravado pela inevitável exigência por investimentos, fator este que é limitador em nações pobres ou com economias em desenvolvimento (TAGHIZADEH-YAZDI; MOHAMMADI-BALANI, 2020).

Um planejamento para o fornecimento de energia elétrica exige um gerenciamento eficiente do setor elétrico atual e decisões corretas acerca do potencial extra (WANG *et al.*, 2011).

A previsão de demanda de energia é uma ferramenta imprescindível na gestão de eletricidade, planejamento de manutenções e definições sobre investimentos nos mercados futuros de energia (VU; MUTTAQI; AGALGAONKAR, 2015).

Para Wang *et al.*, (2011), é possível prever a demanda de energia no formato anual, de pico ou valor máximo, em curvas de carga diária, semanal e anual em conformidade com o modelo de precisão e planejamento determinados.

Há a possibilidade de dividir as previsões de demanda de energia considerando o período de análise em curto, médio e longo prazos (ABDULKAREEM *et al.*, 2019).

A previsão de demanda no curto prazo – de horas ou dias de antecedência – é capital para a programação de funcionamento das fontes geradoras. Enquanto no médio prazo – semanal ou mensal – a previsão é relevante para o orçamento e políticas de mercado na compra e venda de eletricidade pelas empresas do setor elétrico. Já para o longo prazo – cinco a 25 anos – a previsão é estratégica no planejamento de todo o setor elétrico (LIU *et al.*, 2020).

Segundo Abdulkareem *et al.*, (2019), modelos matemáticos acurados empregados em previsões de demanda de energia são essenciais para a atuação e o planejamento das empresas do ramo de energia elétrica.

De acordo com Haghnevis e Askin (2012), técnicas complexas têm sido largamente pesquisadas. Entretanto, ainda não há um modelo matemático genérico e com grande aprovação para os processos de engenharia.

A relevância desta pesquisa, também se encontra fundamentada nos objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2021), tais como:

- ODS 7 (Energia limpa e acessível): de forma a expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis;
- ODS 9 (Indústria inovação e infraestrutura): de forma a desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente para o fornecimento de energia.

A pesquisa propõe, mediante previsões confiáveis, a avaliação do montante e da tendência de crescimento da demanda de potência, contribuindo assim com os gestores de políticas públicas, bem como as empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, para melhores



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

estimativas de investimentos, de forma a dar sustentabilidade ao desenvolvimento no curto, médio e longo prazo, beneficiando todos os consumidores.

Para Azevedo (2016), a revisão de literatura tem como propósito a investigação generalizada de um tema científico em fontes de pesquisa e, posteriormente, o agrupamento e organização sistematizados das publicações científicas selecionadas.

Como prever futuras demandas de potência elétrica? Essa foi a questão central ou o problema dessa pesquisa. Sendo assim, o objetivo do artigo foi elaborar uma RSL com obras científicas a respeito de modelos matemáticos capazes de simular estimativas de demandas de eletricidade.

Algumas questões periféricas ou secundárias também foram levantadas na elaboração da RSL, como:

- Quais são os fatores (variáveis/parâmetros) que influenciam no aumento da demanda de potência?

- Como serão as respostas dos modelos matemáticos para o curto, médio e longo prazos?

Para responder aos dois questionamentos anteriores, a presente pesquisa teve os objetivos específicos descritos a seguir:

- Identificar os fatores (variáveis/parâmetros) que contribuem para o incremento da demanda de potência elétrica; e

- Avaliar respostas de crescimento da demanda no curto, médio e longo prazos por meio da utilização de modelos matemáticos.

A continuidade deste artigo está organizada com a seguinte estrutura: a metodologia, os resultados e discussões, as considerações finais e as referências.

Na metodologia (Seção 2) estão descritos o conceito e o método de elaboração de uma RSL, assim como a fase dos filtros das publicações científicas dentro das bases de dados e a fase de seleção das publicações remanescentes com o suporte de um *software*. Ao final apresentou-se, por meio de um quadro, as informações de todas as 20 obras selecionadas.

Em resultados e discussões (Seção 3) foram analisados e examinados todos os documentos processados na seção anterior, bem como descrito a contribuição de cada uma dessas obras para a construção da pesquisa com o tema e o objetivo propostos.

As tecnologias, os conhecimentos adquiridos e as contribuições da pesquisa estão detalhadas nas considerações finais (Seção 4). E por fim, na última seção (referências) foram relacionadas todas as obras citadas neste artigo.

2 METODOLOGIA

2.1 Desenvolvimento da Revisão Sistemática

Para desenvolver este artigo, empregou-se como roteiro de busca para a RSL, a metodologia proposta por Conforto, Amaral e Silva (2011), intitulada Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS)



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Roadmap, que consiste em um plano de ação composto por três etapas sequenciais, denominadas de: Entrada, Processamento e Saída.

De acordo com Azevedo (2016), a elaboração de uma revisão de literatura deve detalhar os métodos de recuperação, seleção e avaliação de obras expressivas publicadas a respeito de um tema.

A primeira etapa (Entrada) é responsável pelas definições das informações fundamentais a serem realizadas para procurar as publicações científicas, bem como outras bibliografias indicadas pelo professor orientador. É nesta etapa que a elaboração do protocolo é feita, além de todo um planejamento de construção da RSL, assim como as ferramentas e as técnicas necessárias para a execução da próxima fase. A segunda etapa é o “Processamento”, que tem por finalidade empregar as ferramentas e as técnicas da fase anterior e realizar todo o processo das buscas das informações imprescindíveis para a consumação da última etapa (Saída). Na terceira e derradeira etapa (Saída), os resultados são gerados na forma de gráficos, sínteses, relatórios, e outros (LEVY; ELLIS, 2006; CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011), devendo os mesmos serem analisados e avaliados posteriormente.

Na Figura 1 estão relacionadas as três etapas de uma revisão sistemática, que foram explicadas posteriormente, propostas por Levy e Ellis (2006) e Conforto, Amaral e Silva (2011).

Figura 1 - As três etapas de uma revisão sistemática



Fonte: Adaptado de Levy e Ellis (2006) e Conforto, Amaral e Silva (2011).

Levy e Ellis (2006), assim como Conforto, Amaral e Silva (2011), deram ênfase na etapa de “Processamento” que é composta por:

- Conhecer a bibliografia;
- Compreender a bibliografia;
- Aplicar a revisão sistemática;
- Analisar os resultados;
- Reunir os resultados;
- Avaliar os resultados.

No Quadro 1, foram relacionadas as três etapas de uma revisão sistemática, bem como a descrição dos procedimentos em cada uma delas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Quadro 1 - Modelo de construção para uma RSL

A - Entrada	B - Processamento	C - Saída
A.1 Problema da pesquisa.	B.1 Efetuar as buscas.	C.1 Resultados.
A.2 Objetivo.	B.2 Processo de	C.2 Cadastro e arquivo.
A.3 Fonte(s) primária(s).	qualificação e seleção	C.3 Relatórios.
A.4 <i>Strings</i> de procura.	das publicações	
A.5 Critérios de inclusão e de	científicas.	
exclusão nas fontes	B.3 Seleção final das	
primárias.	publicações científicas.	

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011).

Durante a elaboração da primeira etapa (Entrada) dessa RSL, foram definidos o “Problema da pesquisa”, assim como o “Objetivo” da realização deste trabalho.

Para a busca das publicações científicas foram definidas as “Fontes de pesquisa” ou “Bases de dados”, assim como as “*Strings* de busca” que são palavras simples ou expressões a serem inseridas nas bases de dados, bem como os “Critérios de seleção das fontes”, cuja finalidade é a inclusão e exclusão de obras científicas nas fontes de pesquisa.

A escolha das fontes de pesquisa/bases de dados, das *strings* de busca e dos critérios de seleção das fontes foram definidas após reunião com o professor orientador.

2.2 Fase da RSL na Base de Dados

As bases de dados *Web of Science* e *Scopus* foram adotadas por sua relevância com a pesquisa científica e afinidade com o problema e objetivo desta RLS.

Os artigos e os artigos de revisão foram os tipos de documentos escolhidos por possuírem elevado destaque no meio acadêmico, e por apresentar e discutir de forma sucinta princípios, procedimentos, técnicas, processos e resultados de uma pesquisa realizada conforme um método científico.

O período definido foi dos últimos dez anos. Portanto, de 2011 a 2021 (inclusive), pelo interesse em publicações recentes no emprego de modelagem matemática na previsão da demanda de potência elétrica.

A escolha das áreas de conhecimento não foi rigorosa, para que nenhuma publicação científica relevante para o objetivo desse artigo, deixasse de ser selecionada, pois o intuito era de uma abrangência multidisciplinar.

Quanto ao idioma, definiu-se o inglês, por ser a língua internacional, além do português, pelo interesse em conhecer pesquisas nacionais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

O detalhamento das informações anteriores serviu de parâmetro para a elaboração de um protocolo – primeira etapa (entrada) de construção da RSL – que pode ser observado, resumidamente, no Quadro 2.

Quadro 2 - Protocolo / Entrada das informações para a construção da RLS

A.1 Problema da pesquisa
Quais são as produções científicas relacionadas aos modelos matemáticos de previsão de demanda de energia elétrica?
A.2 Objetivo
Construir uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) das publicações científicas acerca de modelos matemáticos de previsão de demanda de energia elétrica.
A.3 Fontes primárias de pesquisa
- <i>Web of Science</i> ¹ - <i>Scopus</i> ²
A.4 <i>Strings</i> de procura
- <i>mathematical model</i> - <i>electricity demand forecast</i> - <i>power demand forecast</i> - <i>electricity demand</i> - <i>power demand</i>
A.5 Critérios de inclusão e de exclusão nas fontes primárias
- Tipos de Documentos: artigos e artigos de revisão; - Período: entre os anos de 2011 e 2021; - Idioma: inglês e português; - Áreas de Conhecimento: Engenharias, Combustíveis Energéticos, Sistemas de Controle de Automação, Multidisciplinar, Ciências Exatas e da Terra, Energia, Matemática, Ciência da Computação, Ciência de Gestão de Pesquisa Operacional, Instrumentação e Tecnologia da Ciência Nuclear.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por meio das *strings* de procura foram formadas as expressões de busca booleanas, para cada fonte de pesquisa, de acordo com o Quadro 3.

Na base de dados da *Web of Science* utilizou-se o termo “TS” que nessa base significa “Tópico”, dando-se a pesquisa da busca booleana nos títulos, nos resumos, nas palavras-chave e nas *Keywords Plus* de suas publicações científicas.

¹ <https://www-webofscience.ez87.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/basic-search>

² <https://www-scopus.ez87.periodicos.capes.gov.br/search/form.uri?display=basic#basic>



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

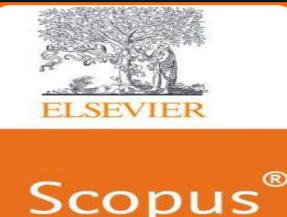
Enquanto na base de dados da *Scopus*, o termo empregado foi “*TITLE-ABS-KEY*”, focando-se a busca booleana nos títulos, nos resumos e nas palavras-chave de seus documentos científicos.

Nas duas fontes de pesquisas adotadas, empregou-se os operadores booleanos “*AND*” e “*OR*” na montagem de cada uma das expressões de combinações lógicas.

No dia oito de outubro (08/10/2021) efetuaram-se as buscas das publicações científicas nas fontes primárias anteriormente citadas, resultando em um total de 982 publicações.

Observa-se no Quadro 3, as expressões de buscas booleanas e o quantitativo total de obras por fontes de pesquisa, assim como a participação em porcentagem de cada fonte sobre o total.

Quadro 3 - Quantidade de obras por fonte e pesquisa

Fontes de Pesquisa	Expressões de Buscas Booleanas	Quantidade de Obras
	<i>TS=("mathematical model") AND TS=(("electricity demand forecast") OR ("power demand forecast") OR ("electricity demand") OR ("power demand"))</i>	197 (20,06%)
	<i>(TITLE-ABS-KEY ("mathematical model") AND TITLE-ABS-KEY ("electricity demand forecast" OR "power demand forecast" OR "electricity demand" OR "power demand"))</i>	785 (79,94%)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na sequência, aplicaram-se os “Critérios de inclusão e de exclusão nas fontes primárias” descritos no item A.5 do Quadro 2, nas 197 publicações científicas da *Web of Science* e nas 785 da *Scopus*.

O primeiro critério de inclusão/exclusão dentro das fontes de pesquisa/base de dados denominado de “1º Filtro” foi o “tipo de documento”. Na *Web of Science* selecionou-se os artigos e os artigos de revisão, enquanto na *Scopus* foram os artigos e as revisões, resultando em um total de 656 publicações. No Quadro 4 está relacionado o quantitativo por base de dados, bem como a participação de cada base em porcentagem.

Considerou-se o intervalo entre os anos de 2011 e 2021 como o “2º Filtro”, reduzindo as publicações para um total de 358. O quantitativo por base de dados e a participação de cada em porcentagem está descrito no Quadro 4.

Para o “3º Filtro”, determinou-se os idiomas inglês e português como critério de inclusão/exclusão das publicações, elas foram reduzidas para 323 obras, conforme pode ser visto no Quadro 4 o volume documentos por base de dados.

As áreas de conhecimento fazem a composição daquele que foi o último filtro aplicado dentro das duas bases de dados. Na *Web of Science*, o “4º Filtro” deu-se nas seguintes áreas: engenharias, **RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia**



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

combustíveis energéticos, ciência da computação, sistemas de controle de automação, ciência da gestão de pesquisa operacional, instrumentação, tecnologia da ciência nuclear e matemática. Enquanto na *Scopus*, esse filtro ocorreu nas áreas das engenharias, energia, ciência da computação, matemática e multidisciplinar.

Selecionou-se no “4º Filtro” um total de 285 publicações, sendo que a quantidade de obras por base de dados, assim como a participação percentual de cada uma delas no total, estão descritas no Quadro 4.

Observa-se no Quadro 4, que após a aplicação dos quatro filtros nas duas fontes de pesquisas, notou-se uma redução de 41,12% na *Web of Science* (de 197 obras para 116) e de 78,47% na *Scopus* (de 785 para 169 obras).

Quadro 4 - Critérios de inclusão/exclusão (Filtros) aplicados nas fontes de pesquisa

Filtros \ Fontes de Pesquisa	Clarivate Web of Science™	ELSEVIER Scopus®
Sem filtros	197 (20,06%)	785 (79,94%)
1º Filtro	142 (21,65%)	514 (78,35%)
2º Filtro	130 (36,31%)	228 (63,69%)
3º Filtro	128 (39,63%)	195 (60,37%)
4º Filtro	116 (40,70%)	169 (59,30%)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como a RSL possui diversas etapas e ações, sua construção torna-se trabalhosa e repetitiva. Sendo assim, a utilização de uma ferramenta computacional é primordial para garantir qualidade e confiabilidade em sua elaboração.

2.3 Fase da RSL no StArt

Em função do anteriormente exposto, foi desenvolvido um *software* pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) denominado *State of the Art through Systematic Review* (StArt). Esse *software* fornece apoio e sustentação metodológica ao pesquisador no desenvolvimento de uma revisão sistemática.

Realizou-se o *download* do *software* StArt³ Versão 2.3.4.2, e na sequência foi feita a exportação automática dos 285 arquivos no formato BibTex de todas as publicações científicas filtradas nas bases de dados da *Web of Science* e da *Scopus*. Também se adicionou manualmente

³ http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

no *software*, a pedido do professor orientador, um artigo científico de extrema relevância para o tema pesquisado.

As 286 obras foram processadas em duas fases no StArt, essas fases são denominadas de fase de seleção e fase de extração.

2.3.1 Fase de Seleção no StArt

Na Fase de Seleção, procede-se com a filtragem das 286 obras por meio da leitura de seus títulos, palavras-chave e resumos, conforme os “Critérios de qualificação” listados no Quadro 5, os quais foram estabelecidos em conformidade com o objetivo desta pesquisa.

Quadro 5 - Critérios de qualificação

Critérios de Qualificação
<p>– <u>Critérios de inclusão:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Relacionado a previsão da demanda de potência elétrica; • Relacionado a previsão do consumo de energia elétrica; • Relacionado a <i>softwares</i> simuladores de previsão da demanda de energia elétrica; • Relacionado a <i>softwares</i> simuladores de previsão do consumo de energia elétrica; • Relacionado a modelos matemáticos de previsão de demanda de potência elétrica; • Relacionado a modelos matemáticos de previsão de consumo de energia elétrica. <p>– <u>Critérios de exclusão:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Não estar disponível para leitura; • Abordar tangencialmente as temáticas de inclusão; • Não estar relacionado ao tema (incompatibilidade com o objeto da pesquisa); • <i>Full Paper</i> não encontrado; • Relacionado a veículo elétrico; • Relacionado a geração e/ou transmissão e/ou distribuição de energias renováveis.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Efetuada a leitura, e aplicando os critérios de qualificação descritos no quadro anterior, obteve-se o seguinte resultado: 24,83% obras aceitas, 48,25% rejeitados e 26,92% em duplicidade entre as bases de dados.

Gráfico 1 estabelece o valor numérico dos artigos e revisões aceitos, rejeitados e duplicados dessa fase.

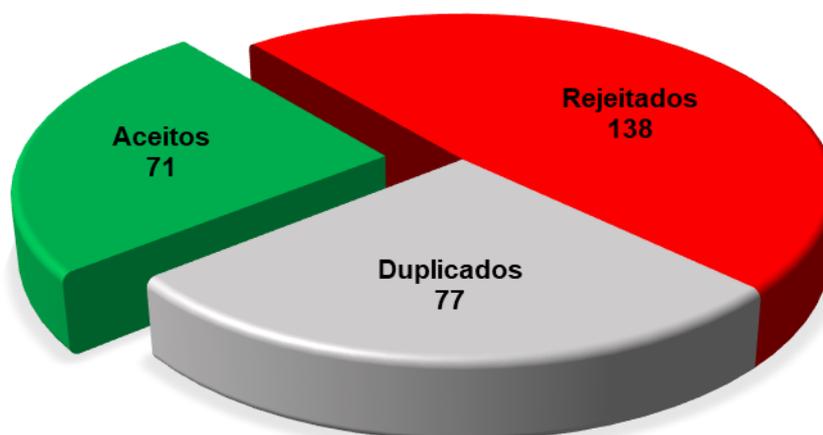


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Gráfico 1 - Quantidade de artigos e revisões qualificados na Fase de Seleção

Resultado da Fase de Seleção



Fonte: Adaptado do StArt pelos autores.

As obras rejeitadas (48,25%), foram excluídas por não abordarem a temática na perspectiva de construir uma RSL acerca de modelos matemáticos de previsão de demanda de energia elétrica, que era o objetivo da corrente pesquisa.

As 71 obras aceitas passaram por uma nova seleção, denominada de Fase de Extração, também com o uso da ferramenta StArt.

2.3.2 Fase de Extração no StArt

A Fase da Extração é a última seleção antes da leitura integral das publicações científicas. Nessa fase, a leitura concentrou-se nas introduções e nas conclusões das 71 publicações aceitas da fase anterior.

Os critérios de inclusão e exclusão utilizados na presente etapa foram os mesmos “Critérios de qualificação” relacionados no Quadro 5, sendo esses parâmetros determinados em compatibilidade com o objetivo desta pesquisa.

Após efetuar a leitura adotando os critérios de qualificação descritos no Quadro 5, alcançou-se o resultado de 20 obras aceitas e 51 rejeitadas.

O Gráfico 2 apresenta as 51 obras rejeitadas na Fase de Extração, relacionando cada parâmetro com a respectiva quantidade de obras excluídas. A maior rejeição, com 22 obras, ocorreu por estarem relacionadas com a “geração e/ou transmissão e/ou distribuição de energias renováveis”.

Vale destacar que as três publicações excluídas pelo critério “Full Paper não encontrado” ocorreram pelos seguintes motivos: a primeira obra estava com o *link* indisponível, a segunda era o



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

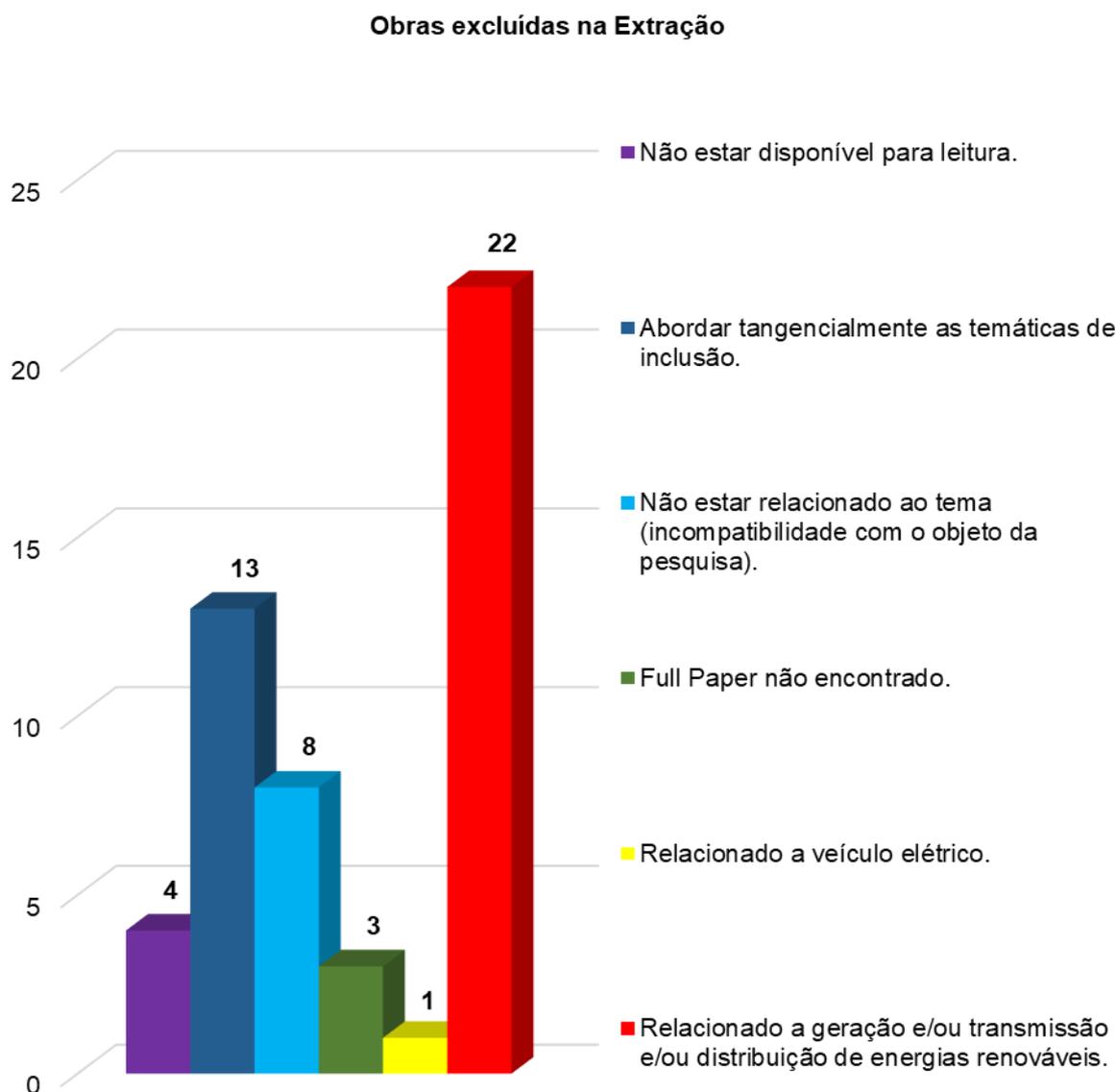
REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

link da revista que estava indisponível e a terceira apresentou a mensagem de “*Digital Object Identifier* (DOI – identificador de objeto digital) não encontrado”.

Quanto a explicação da exclusão das quatro publicações pelo critério “Não estar disponível para leitura” as razões foram: a primeira obra tinha o acesso pago, a segunda obra estava com o seu acesso completo indisponível e as outras duas tinham somente os seus *abstracts* disponíveis.

Gráfico 2 - Quantitativo e critérios de exclusão na Fase de Extração



Fonte: Adaptado do StArt pelos autores.

De acordo com o Gráfico 3, observa-se que a maior incidência dos parâmetros de aceite para as 20 publicações selecionadas na última etapa do StArt (Fase de Extração) está relacionada com os “modelos matemáticos de previsão de demanda de potência elétrica” com 10 obras eleitas. Não



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

houve obras indicadas para o parâmetro relacionado a “softwares simuladores de previsão da demanda de energia elétrica”.

Cabe relatar que muitos das 20 publicações científicas selecionadas abrangeram mais de um parâmetro de aceite, porém para a construção do Gráfico 3 observou-se o critério mais relevante para cada uma das publicações após efetuada a leitura de suas introduções e conclusões.

Gráfico 3 - Quantitativo e critérios de aceite na Fase de Extração



Fonte: Adaptado do StArt pelos autores.

Finalizando-se a Fase de Extração no StArt com 20 documentos selecionados e, de acordo com o

Gráfico 4, observa-se a divisão dessas obras com destaque para a base de dados da *Scopus* com 17 obras, acompanhada da *Web of Science* com duas e um artigo inserido manualmente.

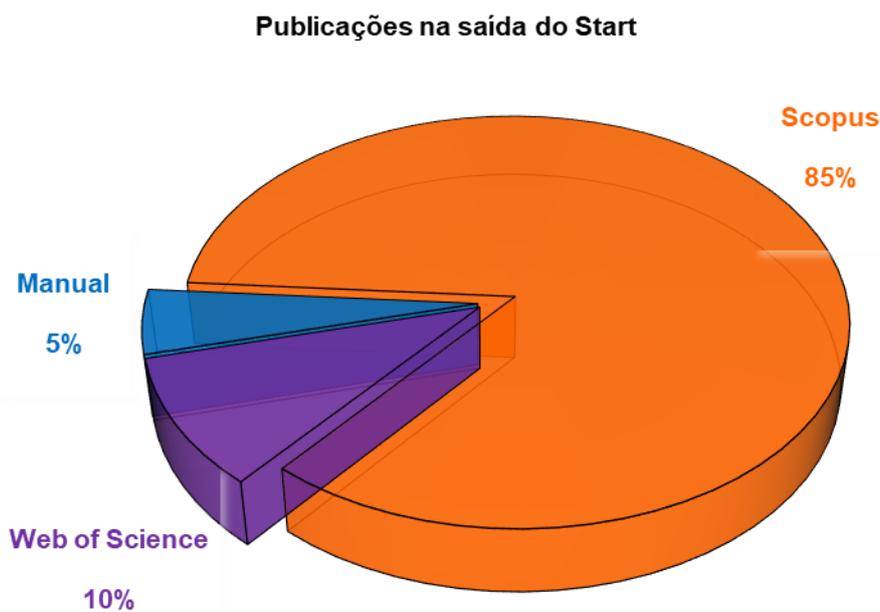


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Conforme pode-se observar no Quadro 6, cada um desses documentos está relacionado com a sua respectiva base de dados, exceto aquele que foi adicionado de modo manual.

Gráfico 4 - Percentuais por bases de dados ao término da Fase de Extração



Fonte: Adaptado do StArt pelos autores.

Concluída esta fase, procedeu-se a leitura e a análise completa das 20 publicações científicas selecionadas com o apoio do *software* StArt. Todas essas obras foram aceitas por estarem alinhadas com o objetivo e o tema do presente trabalho de “construir uma RSL acerca de modelos matemáticos de previsão de demanda de energia elétrica”.

As 20 obras citadas anteriormente estão relacionadas no Quadro 6, onde as colunas foram designadas por título, autor(es), periódico onde foram publicadas, base de dados onde foram disponibilizadas e *Uniform Resource Locator* (URL – localizador uniforme de recursos).

Reforçando que elas foram selecionadas na Etapa de Processamento, e que passaram nesta etapa por três fase. Na 1ª fase realizou-se a filtragem no interior das duas bases de dados (*Web of Science* e *Scopus*), já a 2ª e a 3ª fases ocorreram com a utilização do StArt, sendo a 2ª fase chamada de seleção e a 3ª de extração.

Desse modo, encerra-se a etapa do processamento das publicações científicas, por meio da escolha criteriosa e objetiva delas, com o auxílio da ferramenta computacional StArt.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Quadro 6 - Relação das 20 publicações científicas selecionadas

Título	Autor	Periódico	Base de Dados	URL
<i>A mathematical model for multi-region, multi-source, multi-period generation expansion planning in renewable energy for country-wide generation-transmission planning</i>	TAGHIZADEH-YAZDI, M.; MOHAMMADI-BALANI, A.	<i>Journal of Information Technology Management</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85099813647&doi=10.22059%2fjitm.2020.298258.2476&partnerID=40&md5=6491aae48693ec897d81f15b2ab1c4e0
<i>A modeling framework for engineered complex adaptive systems</i>	HAGHNEVIS, M.; ASKIN, R.G.	<i>IEEE Systems Journal</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84865500722&doi=10.1109%2fJSYST.2012.2190696&partnerID=40&md5=b72b906dc1642b7007a72eb78314ae1b
<i>A multi-period optimization model for planning of China's power sector with consideration of carbon dioxide mitigation-The importance of continuous and stable carbon mitigation policy</i>	ZHANG, D.; LIU, P.; MA, L.; LI, Z.	<i>Energy Policy</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84877128395&doi=10.1016%2fj.enpol.2013.03.017&partnerID=40&md5=18bfb56c016e0b7d3c6d19d2ae0454c2
<i>Analysis of modern approaches for the prediction of electric energy consumption</i>	KALIMOLDAYEV, M.; DROZDENKO, A.; KOPLYK, I.; MARINICH, T.; ABDILDAYEVA, A.; ZHUKABAYEVA, T.	<i>Open Engineering</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085875603&doi=10.1515%2ffeng-2020-0028&partnerID=40&md5=e583182e313a054ffad61d4be451d571
<i>An evolutionary-based predictive soft computing model for the prediction of electricity consumption using multi expression programming</i>	FALLAHOUPUR, A.; WONG, K.Y.; RAJOO, S.; TIAN, G.	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85097770403&doi=10.1016%2fj.jclepro.2020.125287&partnerID=40&md5=c4ad693fea43c6408ea0319632bf5bdc
<i>A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building</i>	MENA, R.; RODRÍGUEZ, F.; CASTILLA, M.; ARAHAL, M.R.	<i>Energy and Buildings</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84905395972&doi=10.1016%2fj.enbuild.2014.06.052&partnerID=40&md5=485ce1cfd25258ad0e7dcb4405825ff0
<i>A variance inflation factor and backward elimination based robust regression model for forecasting monthly electricity demand using climatic variables</i>	VU, D.H.; MUTTAQI, K.M.; AGALGAONKAR, A.P.	<i>Applied Energy</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84919935314&doi=10.1016%2fj.apenergy.2014.12.011&partnerID=40&md5=b2876aee6c3188837a79074bc7356a1



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Chaotic time series method combined with particle swarm optimization and trend adjustment for electricity demand forecasting	WANG, J.; CHI, D.; WU, J.; LU, H.-Y.	<i>Expert Systems with Applications</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79952448415&doi=10.1016%2fj.eswa.2011.01.037&partnerID=40&md5=daf8148c58db202894913a030ed155f8
Complex power economic dispatch with improved loss coefficients	ALMOUSH, M.I.	<i>Energy Systems</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076218227&doi=10.1007%2fs12667-019-00370-y&partnerID=40&md5=7d7bb88920bc4a0a1ef8d3e471e01dc3
Demand response optimization model to energy and power expenses analysis and contract revision	MARANGONI, F.; MAGATÃO, L.; DE ARRUDA, L.V.R.	<i>Energies</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086370091&doi=10.3390%2fen13112803&partnerID=40&md5=45f9bc9a41402f2b673c99d8123bf344
Development of prediction models for next-day building energy consumption and peak power demand using data mining techniques	FAN, C.; XIAO, F.; WANG, S.	<i>Applied Energy</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84899701114&doi=10.1016%2fj.apenergy.2014.04.016&partnerID=40&md5=9384074adcfe1d1d6622e290ed54d625
Electricity demand forecasting over Italy: Potential benefits using numerical weather prediction models	DE FELICE, M.; ALESSANDRI, A.; RUTI, P.M.	<i>Electric Power Systems Research</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84880749738&doi=10.1016%2fj.epr.2013.06.004&partnerID=40&md5=bdd04791b75f3b5e1d1a9d08688a9aa4
Mean-risk stochastic electricity generation expansion planning problems with demand uncertainties considering conditional-value-at-risk and maximum regret as risk measures	TEKINER-MOGULKOC, H.; COIT, D.W.; FELDER, F.A.	<i>International Journal of Electrical Power and Energy Systems</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84930006602&doi=10.1016%2fj.ijepes.2015.05.003&partnerID=40&md5=377b6caff90c7ba6e393b3df3fa60eab
Peak demand contract for big consumers computed based on the combination of a statistical model and a mixed integer linear programming stochastic optimization model	LIMA, D.A.; CÉSPEDES, A.M.; TELLES, E.; BITTENCOURT, E.M.M.	<i>Electric Power Systems Research</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028429244&doi=10.1016%2fj.epr.2017.08.017&partnerID=40&md5=126f06b7aa020b71e0736e419fd2d810
Pseudo-inverse matrix model for estimating long-term annual peak electricity demand: The covenant university's	ABDULKAREEM, A.; OKOROAFOR, E.J.; AWELEWA, A.; ADEKITAN, A.	<i>International Journal of Energy Economics and Policy</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067405770&doi=10.32479%2fijeep.7566&partnerID=40&md5=cf35b54993edabfab6f3fa



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

experience				d136fc64d1
Regional midterm electricity demand forecasting based on economic, weather, holiday, and events factors	LIU, Y.; ZHAO, J.; LIU, J.; CHEN, Y.; OUYANG, H.	<i>IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85074857345&doi=10.1002%2ft ee.23049&partnerID=40&md5=ec69f55fc7eb1f0daf4bba4d901da295
Techno-economic optimization and social costs assessment of microgrid-conventional grid integration using genetic algorithm and Artificial Neural Networks: A case study for two US cities	NAGAPURKAR, P.; SMITH, J.D.	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Scopus	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85065819344&doi=10.1016%2fj.jclepro.2019.05.005&partnerID=40&md5=450032147c100807566efdd85ff90fc1
Coordinating demand response aggregation with LV network operational constraints	RIGONI, V.; FLYNN, D.; KEANE, A.	<i>IEEE Transactions on Power Systems</i>	Web of Science	https://www-webofscience.ez87.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/full-record/WOS:000621424100014
Developing a mathematical model based on weather parameters to predict the daily demand for electricity	WIJAYAPALA, W.D.A.S.; SIYAMBALAPITIYA, T.; JAYASEKARA, I.N.	<i>Engineer-Journal of the Institution of Engineers Sri Lanka</i>	Web of Science	https://www-webofscience.ez87.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/full-record/WOS:000407730400007
Análise do consumo mensal de energia elétrica no Estado de São Paulo	BISOGNIN, C.; WERNER, L.	REP - Revista de Engenharia de Produção	Manual	https://periodicos.ufms.br/index.php/REP/article/view/9397

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, têm-se a investigação e a exploração das obras processadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Selecionadas as 20 publicações científicas mais relevantes para esta pesquisa, procedeu-se a terceira e última etapa desta RSL, denominada “Saída”, onde ocorreu a análise dos resultados dessas obras.

Dentre os documentos separados para esta etapa, 19 são artigos científicos e apenas um trata-se de uma revisão. Essa revisão é de 2020, e possui o título “*Analysis of modern approaches for the prediction of electric energy consumption*”, e no quadro anterior (Quadro 6) têm-se outros detalhes dessa obra de revisão.

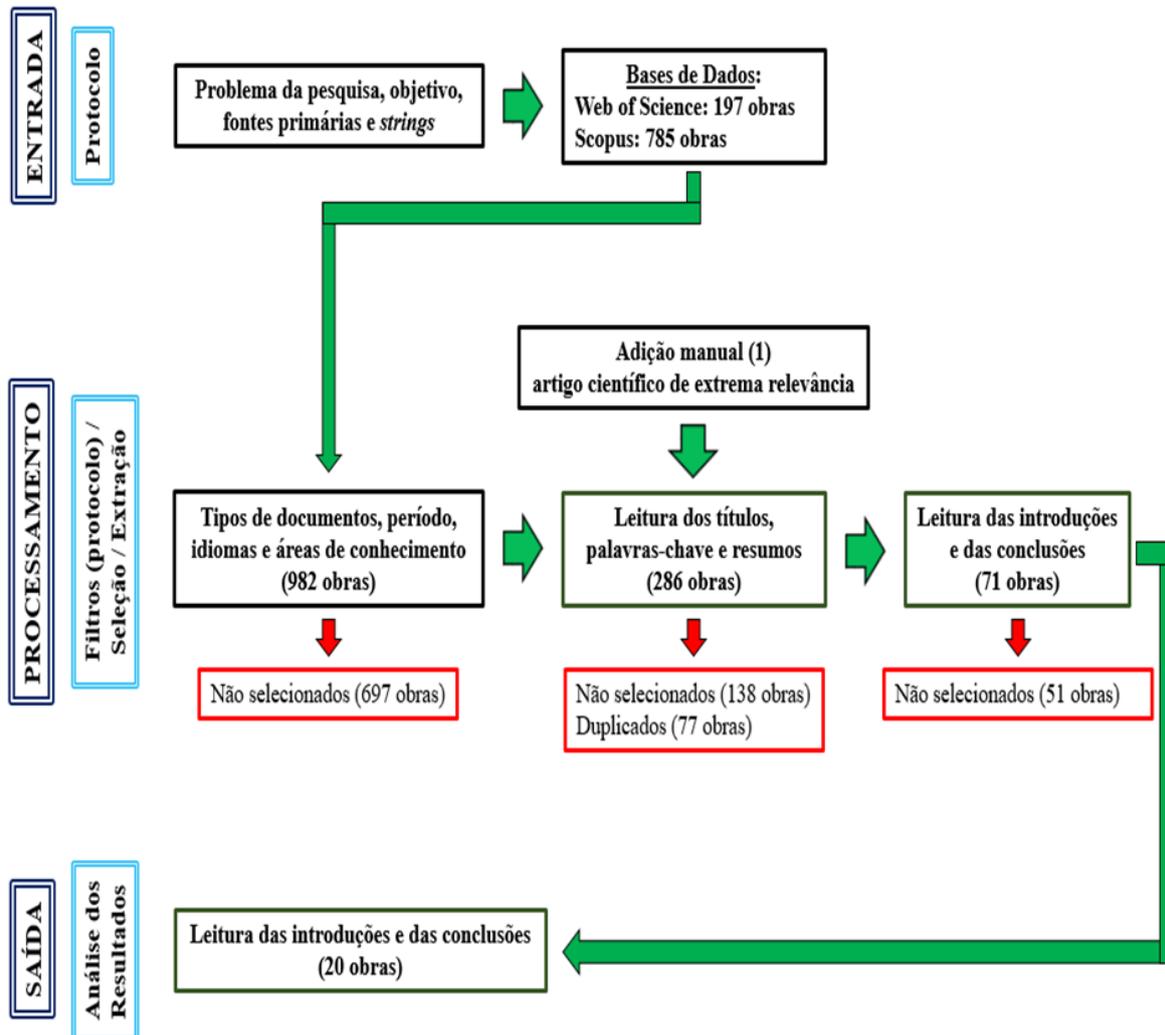
Todas as etapas do processo de revisão sistemática desta pesquisa estão resumidas e representadas pelo fluxograma da **Figura 2**.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Figura 2 - Fluxograma das etapas da revisão



Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma nuvem de palavras foi construída com termos presentes nos títulos das obras selecionadas na etapa de saída da RSL, conforme pode-se observar na Figura 3. O destaque fica para as palavras eletricidade, energia, potência e demanda.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

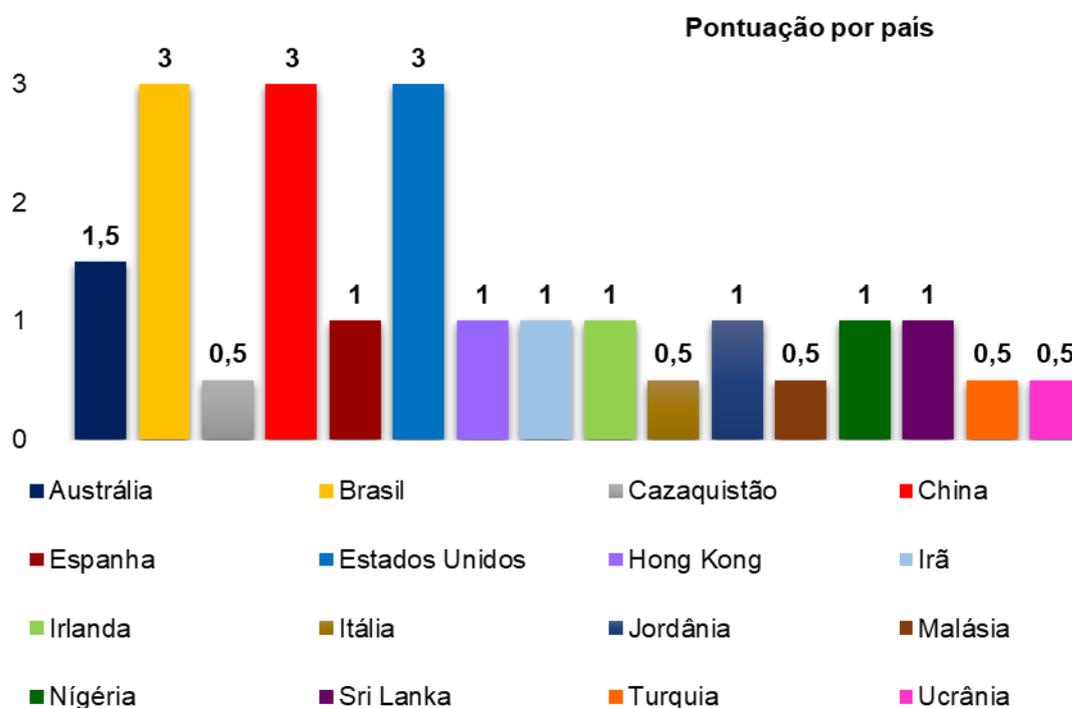
Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

No Gráfico 6, as publicações científicas foram separadas de acordo com o país de origem. Na construção deste gráfico, atribuiu-se um ponto para cada país por obra de uma nacionalidade, e meio ponto por país para cada obra binacional.

No contexto da nacionalidade, observa-se a diversidade de nações com publicações científicas alinhadas com o objetivo e o tema desta pesquisa, assim como a abrangência dessas publicações em todos os cinco continentes do globo.

O destaque ficou por conta do Brasil, da China e dos Estados Unidos que juntos somaram 45% da pontuação estipulada (9 pontos).

Gráfico 6 - Pontuação por países referentes às publicações selecionadas



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 7, encontra-se a descrição das contribuições, de cada um dos 20 documentos selecionados, e que serão relevantes para o desenvolvimento do tema da referida pesquisa.

Este quadro contém, afóra a coluna das contribuições, outras colunas contendo os títulos das obras, bem como os seus anos de publicação e país (es) onde o estudo foi desenvolvido.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

Quadro 7 - Descrição das contribuições de cada publicação científica selecionada

Título	Ano	País	Contribuição para a pesquisa
<i>A mathematical model for multi-region, multi-source, multi-period generation expansion planning in renewable energy for country-wide generation-transmission planning</i>	2020	Irã	Trata de um modelo matemático para o planejamento da expansão da geração multirregional, multifuncional e multiperíodo no Irã. As equações de fluxo de custo mínimo são incorporadas ao modelo para determinar como as regiões podem fornecer energia a outras regiões ou contar com elas para atender à demanda anual. O matemático proposto foi implementado usando os potenciais regionais de geração de energia para os próximos dez anos.
<i>A modeling framework for engineered complex adaptive systems</i>	2012	Estados Unidos	Traz uma estrutura de modelagem para sistemas adaptativos complexos projetados. A demanda de energia elétrica foi usada para ilustrar a aplicabilidade da abordagem de modelagem.
<i>A multi-period optimization model for planning of China's power sector with consideration of carbon dioxide mitigation-The importance of continuous and stable carbon mitigation policy</i>	2013	China	Os impactos sobre os resultados do planejamento do setor de energia da China entre 2010 e 2050 por diferentes políticas de imposto de carbono com diferentes modos de tomada de decisão foram estudados e analisadas.
<i>Analysis of modern approaches for the prediction of electric energy consumption</i>	2020	Ucrânia e Cazaquistão	Faz uma análise de abordagens modernas para a previsão do consumo de energia elétrica. O artigo utilizou modelos individuais SARIMA e Holt-Winters. Também usou as medidas de acurácia: RMSE e MAPE, assim como modelos de regressão.
<i>An evolutionary-based predictive soft computing model for the prediction of electricity consumption using multi expression programming</i>	2021	China e Malásia	Trata de um modelo de computação preditiva baseado na evolução para a previsão do consumo de eletricidade usando programação de múltiplas expressões. Aplica Programação Genética para prever o consumo de eletricidade da China com base nos dados coletados de 1991 a 2019.
<i>A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building</i>	2014	Espanha	Trata de um modelo de previsão baseado em redes neurais para o consumo de energia de um edifício bioclimático. Utilizou as medidas de acurácia: RMSE e MAPE.
<i>A variance inflation factor and backward elimination based robust regression model for forecasting monthly electricity demand using climatic variables</i>	2015	Austrália	Versa sobre um fator de inflação de variância e um modelo de regressão baseado em eliminação para trás para prever a demanda mensal de eletricidade usando variáveis climáticas. O desempenho foi avaliado no contexto australiano. Usou a medida de acurácia MAPE, assim como modelo e análise de regressão.
<i>Chaotic time series method combined with particle swarm optimization and trend adjustment for electricity demand forecasting</i>	2011	Austrália e China	A técnica de modelagem de séries temporais não linear foi aplicada para analisar a demanda de eletricidade. Foi proposto um novo modelo que combina um método de previsão ponderada e o método de ajuste de tendência para prever a demanda de carga de eletricidade.
<i>Complex power economic dispatch with improved loss</i>	2019	Jordânia	Apresenta novas expressões originais de forma fechada para fórmulas de perda de potência ativa e reativa, que são derivadas principalmente para melhorar as deficiências das formulações



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

<i>coefficients</i>			tradicionais que usam expressões de perda de potência real menos precisas, e ignoram demandas e perdas de potência reativa.
<i>Demand response optimization model to energy and power expenses analysis and contract revision</i>	2020	Brasil	Apresenta um modelo de otimização de resposta à demanda para análise de despesas de energia e revisão de contrato. Propõe um modelo matemático baseado em programação linear inteira mista. Considerou-se a estrutura tarifária e os consumidores no Brasil do Grupo A.
<i>Development of prediction models for next-day building energy consumption and peak power demand using data mining techniques</i>	2014	Hong Kong	Trata sobre o desenvolvimento de modelos de previsão para o consumo de energia de um edifício para o dia seguinte e da demanda de energia de pico usando técnicas de mineração de dados.
<i>Electricity demand forecasting over Italy: Potential benefits using numerical weather prediction models</i>	2013	Estados Unidos e Itália	Traz uma previsão da demanda de eletricidade na Itália usando modelos numéricos de previsão do tempo. Os modelos ARIMA/ARIMAX foram usados em nove domínios. A motivação foi a análise da influência da temperatura na demanda de eletricidade e a potencialidade de seu uso para fins de previsão. Utilizou o <i>software</i> R Core Team e o modelo Sarima.
<i>Mean-risk stochastic electricity generation expansion planning problems with demand uncertainties considering conditional-value-at-risk and maximum regret as risk measures</i>	2015	Estados Unidos e Turquia	Modelos matemáticos foram desenvolvidos para incorporar a aversão ao risco nos problemas de planejamento da expansão da geração de eletricidade, o aumento da demanda ao longo dos anos foi representado no problema usando a taxa de crescimento da demanda.
<i>Peak demand contract for big consumers computed based on the combination of a statistical model and a mixed integer linear programming stochastic optimization model</i>	2018	Brasil	Versa sobre contrato de pico de demanda para grandes consumidores calculado com base na combinação de um modelo estatístico e um modelo de otimização estocástica de programação linear inteira mista.
<i>Pseudo-inverse matrix model for estimating long-term annual peak electricity demand: The covenant university's experience</i>	2019	Nigéria	Previsão de longo prazo da demanda de eletricidade usando uma abordagem de modelo matemático conhecida como <i>Pseudo-Inverse Model</i> . A previsão de consumo de energia elétrica obtida a partir do modelo foi acurada para o estudo 2017-2026.
<i>Regional midterm electricity demand forecasting based on economic, weather, holiday, and events factors</i>	2020	China	Um modelo matemático foi desenvolvido sob uma gama de variáveis econômicas, condições climáticas, períodos de férias, eventos sociais importantes e outros fatores, com o objetivo de corrigir os resultados da previsão e melhorar a precisão. A estrutura de previsão de eletricidade proposta é composta de dois estágios: estágio de previsão e estágio de ajuste. Foi usado as medidas de acurácia: MAPE.
<i>Techno-economic optimization and social costs assessment of microgrid-conventional grid integration using genetic algorithm and</i>	2019	Estados Unidos	A rede neural artificial foi capaz de prever com sucesso a demanda de eletricidade de duas cidades americanas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

<i>Artificial Neural Networks: A case study for two US cities</i>			
<i>Coordinating demand response aggregation with LV network operational constraints</i>	2021	Irlanda	Apresentou-se uma nova metodologia que integra agregadores de resposta à demanda com operadores de rede de distribuição para uma programação segura e eficiente e operação em tempo real de alimentadores residenciais. Usou o método SARIMA.
<i>Developing a mathematical model based on weather parameters to predict the daily demand for electricity</i>	2017	Sri Lanka	Desenvolveu um modelo matemático baseado em parâmetros climáticos para prever a curva de carga diária do Sri Lanka, com base em parâmetros meteorológicos.
Análise do consumo mensal de energia elétrica no Estado de São Paulo	2020	Brasil	Utilizou técnicas de previsões para averiguar qual a mais adequada para prever o consumo mensal de eletricidade no Estado de São Paulo. Empregou a série temporal em 183 observações mensais de janeiro de 2004 a março de 2019. Ajustou quatro modelos aos dados do consumo de energia. O 1º e o 2º modelo foi o SARIMA, e o 3º e 4º foi o Holt-Winters. A avaliação foi obtida por medidas de acurácia: RMSE; MAPE e U de Theil. As previsões foram realizadas com o método de Regressão via MQO dos quatro modelos. Utilizou o <i>software</i> R Core Team.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o quadro anterior, finaliza-se a etapa de “Saída”, última desta RSL, com o exame e o levantamento de informações, com posterior geração do relatório (contribuições) de cada uma das 20 publicações científicas mais significativas que foram selecionadas. Essas contribuições serão de suma importância para a construção de uma pesquisa sólida sobre o tema e o objetivo proposto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A construção desta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) forneceu substanciais subsídios para o desenvolvimento da pesquisa com o tema e o objetivo propostos, ao explanar sobre os estudos e as pesquisas de previsões de demanda de potência e de consumo de eletricidade por diferentes pesquisadores e em diversas cidades ao redor do mundo, abrangendo inclusive, todos os continentes.

Por meio desta RSL, observou-se diferentes técnicas e níveis de evolução e desenvolvimento de modelagens matemáticas, inclusive com o emprego de redes neurais artificiais.

A revisão sistemática foi importante ao constatar a utilização, por vários artigos, dos modelos de previsão SARIMA e Holt-Winters, além de medidas de acurácia, principalmente a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o erro percentual absoluto médio (MAPE) com o objetivo de avaliar as técnicas de previsão individualmente ou em combinações. Para avaliar a qualidade das previsões utilizou-se o coeficiente U de Theil.

Essa pesquisa ofereceu novos horizontes por aplicar um *software* na análise das séries temporais. Algumas das publicações científicas recorreram a diversas rotinas de pacotes do *software*



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

“R Core Team”, agilizando os resultados da pesquisa, e proporcionando mais confiabilidade a mesma.

A análise de resíduos deu-se com a aplicação das técnicas de combinação de previsão: média, mediana, regressão via mínimos quadrados ordinários, regressão via MM e variância mínima.

Outro fator que chamou muito a atenção e tornou-se um aprendizado foi a inserção de parâmetros climáticos e meteorológicos em alguns modelos matemáticos com o intuito de prever a curva de consumo de eletricidade por um determinado período. É notório que as condições climáticas influenciam no consumo e na demanda por energia elétrica, já que a principal causa do efeito estufa é a elevação da temperatura terrestre, que por sua vez provoca o aumento do uso de uma vasta gama de tipos e tamanhos de refrigeradores elétricos.

Explicando a questão central desta pesquisa, levantada na “Introdução” da RSL, muitos dos artigos selecionados apresentaram a aplicabilidade de seus conceitos teóricos, assim como seus métodos em suas próprias universidades, ou prédios, cidades ou regiões previamente escolhidas com previsões de 20, 40 anos. Simulações também foram realizadas com períodos de demanda de potência já transcorridos, e os resultados foram consistentes com os valores reais.

Quanto as respostas aos questionamentos secundários, além dos fatores climáticos e meteorológicos, o crescimento da população global, bem como a elevação do poder aquisitivo entre os habitantes dos países emergentes pressionam para cima a demanda por energia elétrica. Quanto a segunda questão secundária, as simulações realizadas por *softwares* ou por meio de modelos matemáticos mostraram-se consistentes e robustas nos resultados a curto, médio e longo prazos.

As pesquisas de previsão de demanda de potência e consumo de energia elétrica, não somente para o Brasil, mas para todas as nações mundiais é um assunto de extrema importância, pois há uma tendência crescimento do consumo de eletricidade, cujos desdobramentos necessitam de melhorias e de ampliação de toda infraestrutura – geração, transmissão e distribuição de energia – e refletem, conseqüentemente, no bem-estar social de seus habitantes e no desenvolvimento de suas economias.

A construção desta RSL, baseada no tema e objetivo propostos, somada a continuidade desta pesquisa poderão contribuir nas áreas social e econômica, já que a pesquisa visa entender os mecanismos de crescimento da demanda e do consumo de energia, trazendo aos pesquisadores de políticas públicas, órgãos governamentais e empresas do setor elétrico, informações que permitirão viabilizar a melhor destinação de recursos para o desenvolvimento sustentável deste setor, de forma a ampliar sua rentabilidade e conseqüente melhoria no atendimento e abastecimento da população.

REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, A.; OKOROAFOR, E. J.; AWELEWA, A.; ADEKITAN, A. Pseudo-inverse matrix model for estimating long-term annual peak electricity demand: The covenant university's experience. **International Journal of Energy Economics and Policy**, Nigéria, v. 9, p. 103-109, maio 2019. DOI: 10.32479/ijeep.7566. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

[85067405770&doi=10.32479%2fijeeep.7566&partnerID=40&md5=cf35b54993edabfab6f3fad136fc64d1](https://doi.org/10.32479%2fijeeep.7566&partnerID=40&md5=cf35b54993edabfab6f3fad136fc64d1)

Acesso em: 08 out. 2021.

AZEVEDO, D. Revisão de Literatura, Referencial Teórico, Fundamentação Teórica e Framework Conceitual em Pesquisa – diferenças e propósitos. **Working paper**, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://unisinovs.academia.edu/DeborazAzevedo/Papers>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BISOGNIN, C.; WERNER, L. Análise do consumo mensal de energia elétrica no Estado de São Paulo. **REP – Revista de Engenharia de Produção**, v. 2, p. 59-72, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/REP/article/view/9397>. Acesso em: 08 out. 2021.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, v. 8, p. 1–12, set. 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/267380020_Roteiro_para_Revisao_Bibliografica_Sistematica_a_Aplicacao_no_Developmto_de_Produtos_e_Gerenciamento_de_Projetos. Acesso em: 29 out. 2021.

FAN, C.; XIAO, F.; WANG, S. Development of prediction models for next-day building energy consumption and peak power demand using data mining techniques. **Applied Energy**, Hong Kong, v. 127, p. 1-10, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.04.016. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84899701114&doi=10.1016%2fj.apenergy.2014.04.016&partnerID=40&md5=9384074adcfef1d6622e290ed54d625>. Acesso em: 08 out. 2021.

HAGHNEVIS, M.; ASKIN, R.G. A modeling framework for engineered complex adaptive systems. **IEEE Systems Journal**, Estados Unidos, v. 6, p. 520-530, set. 2012. DOI:

10.1109/JSYST.2012.2190696. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84865500722&doi=10.1109%2fJSYST.2012.2190696&partnerID=40&md5=b72b906dc1642b7007a72eb78314ae1b>. Acesso em: 08 out. 2021.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science Journal**, Nova Southeastern University, Flórida, Estados Unidos, v. 9, p. 181–212, 2006. Disponível em:

<https://www.cs.rverson.ca/aferworn/courses/CP8101/CLASSES/ConductingLiteratureReview.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.

LIU, Y.; ZHAO, J.; LIU, J.; CHEN, Y.; OUYANG, H. Regional midterm electricity demand forecasting based on economic, weather, holiday, and events factors. **IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering**, China, v. 15, p. 225-234, 2020. DOI: 10.1002/tee.23049. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85074857345&doi=10.1002%2ftee.23049&partnerID=40&md5=ec69f55fc7eb1f0daf4bba4d901da29544>. Acesso em: 08 out. 2021.

MARANGONI, F.; MAGATÃO, L.; DE ARRUDA, L. V. R. Demand response optimization model to energy and power expenses analysis and contract revision. **Energies**, v. 13, p. 1-23, jun. 2020. DOI: 10.3390/en13112803. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086370091&doi=10.3390%2fen13112803&partnerID=40&md5=45f9bc9a41402f2b673c99d8123bf344>.

Acesso em: 08 out. 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)**. [S. l.]: ONU, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 nov. 2021.

NASCIMENTO, L. Orçamento do Luz para Todos em 2019 será de R\$ 1,07 bilhão. **Agência Brasil**, Brasília, set. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-09/orcamento-do-luz-para-todos-em-2019-sera-de-r-107-bilhao>. Acesso em: 18 nov. 2021.

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL) ACERCA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE
PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Monclar Nogueira Christovão, Mario Mollo Neto, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos, Ana Flávia de Luca Oliveira Christovão

TAGHIZADEH-YAZDI, M.; MOHAMMADI-BALANI, A. A mathematical model for multi-region, multi-source, multi-period generation expansion planning in renewable energy for country-wide generation-transmission planning. **Journal of Information Technology Management**, Irã, v. 12, p. 215-231, 2020. DOI: 10.22059/jitm.2020.298258.2476. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85099813647&doi=10.22059%2fjitm.2020.298258.2476&partnerID=40&md5=6491aae48693ec897d81f15b2ab1c4e0>. Acesso em: 08 out. 2021.

VU, D. H.; MUTTAQI, K. M.; AGALGAONKAR, A. P. A variance inflation factor and backward elimination based robust regression model for forecasting monthly electricity demand using climatic variables. **Applied Energy**, Austrália, v. 140, p. 385-394, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.12.011. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84919935314&doi=10.1016%2fj.apenergy.2014.12.011&partnerID=40&md5=b2876aee6c31888837a79074bc7356a1>. Acesso em: 08 out. 2021.

WANG, J.; CHI, D.; WU, J.; LU, H.-Y. Chaotic time series method combined with particle swarm optimization and trend adjustment for electricity demand forecasting. **Expert Systems with Applications**, Austrália e China, v. 38, p. 8419-8429, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.01.037. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79952448415&doi=10.1016%2fj.eswa.2011.01.037&partnerID=40&md5=daf8148c58db202894913a030ed155f8>. Acesso em: 08 out. 2021.