

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO

MARCELA LABADESSA RAMALHO

ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA SOBRE ARMAZENADORES DE
ENERGIA: SUPERCAPACITORES

BAURU

2022

MARCELA LABADESSA RAMALHO

ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA SOBRE ARMAZENADORES DE
ENERGIA: SUPERCAPACITORES

Relatório final apresentado ao Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Sagrado Coração (Unisagrado) e ao Centro de Ciências Exatas e Aplicadas, como parte das exigências para o desenvolvimento de um trabalho de iniciação científica, sob orientação do Prof. Dr. Danilo Sinkiti Gastaldello

BAURU

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD

R165a	<p>Ramalho, Marcela Labadessa</p> <p>Análise quantitativa e qualitativa sobre armazenadores de energia: supercapacitores / Marcela Labadessa Ramalho. -- 2022. 41f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Danilo Sinkiti Gastaldello</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Engenharia Química) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Bibliometria. 2. Supercapacitores. 3. Energia renovável. 4. Veículos elétricos. 5. Ciência dos materiais. I. Gastaldello, Danilo Sinkiti. II. Título.</p>
-------	---

RESUMO

Os supercapacitores vêm sendo estudados há mais de 50 anos, por terem grande importância na fabricação de carros elétricos e híbridos e também serem grandes aliados dos sistemas de geração de energia limpa. O presente trabalho objetiva organizar e discutir quantitativamente e qualitativamente esse denso acervo de teses, dissertações e periódicos disponíveis sobre o tema, para que as próximas pesquisas sobre o tema possam contribuir mais assertivamente tanto para a ciência, quanto para a indústria e o desenvolvimento da tecnologia da área. Um primeiro estudo quantitativo foi realizado na base Scopus, utilizando descritores como “supercapacitor” entregou um banco de 33.964 documentos, o que confirma a vastidão da área; depois, com o acréscimo de filtros temporais, o banco foi reduzido a 26.912 artigos ou resumos dos últimos dez anos, em inglês e, estes foram subdivididos e trabalhados com fundamentos bibliométricos. No segundo momento a pesquisa contou com uma análise qualitativa de três grandes áreas de aplicação dos supercapacitores, que se embasou em critérios bibliométricos para a seleção dos documentos analisados qualitativamente e nos mostrou lacunas e tendências de estudo dos supercapacitores. As áreas em questão são: energia renovável, veículos elétricos e ciência dos materiais. Para a área de energia renovável os trabalhos de destaque apresentam assuntos relacionados ao controle de sistemas híbridos, a utilização relacionada a qualidade de fornecimento de energia. Na área de veículos elétricos, os trabalhos selecionados estão relacionados a evolução de material aplicado, alguns trabalhos apresentam o uso de supercapacitores de maneira híbrida no sistema de armazenamento e a importância no controle para aumento de desempenho. Para o estudo de ciência dos materiais, o estudo mostra a preocupação pela busca de materiais sustentáveis e produção limpa, tentando relacionar com aumento de desempenho. Contudo, a bibliometria permite direcionar de maneira qualitativa a proposta de estudo de um projeto científico.

Palavras-Chave: Bibliometria; Supercapacitores; Energia Renovável; Veículos Elétricos; Ciência dos Materiais.

ABSTRACT

Supercapacitors have been studied for over 50 years, because they have great importance in the fabrication of electric and hybrid cars and also being great Allies of clean energy generation systems. This paper aims to organize and discuss in terms of quantity and quality of this dense collection of theses, dissertations and journals available on the subject, so that future research on the subject can contribute more assertively to both science, industry and the development of technology in the area. A first quantitative study was conducted in the scopus database, using ripper as "supercapacitor" delivered a database of 33,964 documents, which confirms the vastness of the area; Then, with the addition of time filters, the database was reduced to 26,912 articles or abstracts of the last ten years, in English and, these were subdivided and worked with bibliometric foundations. On the other hand, the research included a qualitative analysis of three major areas of application of supercapacitors, which was based on bibliometric criteria for the selection of documents analyzed qualitatively and showed gaps and trends in the study of supercapacitors. The concerned areas are: renewable energy, electric vehicles and materials science. For the area of renewable energy, the outstanding work presents issues related to the control of hybrid systems, the use related to the quality of energy supply. In the area of electric vehicles, the selected works are related to the evolution of applied material, some studies present the use of supercapacitors in a hybrid way in the storage system and the importance in control to increase performance. For the study of materials science, the study shows the concern for the search for sustainable materials and clean production, trying to relate to increased performance. However, bibliometry allows qualitatively directing the proposal to study a scientific project.

Keywords: Bibliometry; Supercapacitors; Renewable Energy; Electric Vehicles; Materials Science.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 ENERGIA ELÉTRICA E DISPOSITIVOS DE GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 CAPACITORES CONVENCIONAIS E SUPERCAPACITORES	10
2.1.1 História, diferenças e aplicações	10
2.1.2 Outras aplicações dos supercapacitores	11
2.2.1 Capacitância.....	11
2.2.2 Densidade de energia e densidade de potência dos supercapacitores em relação às baterias	11
2.3 TIPOS DE SUPERCAPACITORES E PROCESSO DE CARGA E DESCARGA	13
2.3.1 Supercapacitor ou Capacitor Eletroquímico de Dupla Camada	13
2.3.2 Pseudocapacitores	14
2.3.3 Capacitores Híbridos	14
2.3.4 Processo de carga e descarga dos supercapacitores em geral.....	15
3. JUSTIFICATIVA.....	16
3.1 IMPORTÂNCIA DE ANALISAR E ORGANIZAR O ESTADO DA ARTE DA ÁREA DE SUPERCAPACITORES	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 OBJETIVOS GERAIS	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5. METODOLOGIA	18
5.1 CONCEITO DE BIBLIOMETRIA E ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	18
5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA.....	19
5.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	19
6. RESULTADOS.....	21

6.1 RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA.....	21
6.2 RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA.....	25
6.2.1 Discussão de resultados da área de energia renovável.....	26
6.2.2 Discussão de resultados da área de veículos elétricos	29
6.2.3 Discussão de resultados da área de ciência dos materiais	32
7. CONCLUSÕES.....	35
7.1 CONCLUSÃO DA ANÁLISE QUANTITATIVA	35
7.2 CONCLUSÃO DA ANÁLISE QUALITATIVA	36
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENERGIA ELÉTRICA E DISPOSITIVOS DE GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

A energia elétrica surgiu no Brasil em 1880 e sua utilização era limitada a alguns serviços públicos e à atividade fabril. Uma análise histórica feita pelos autores Gomes e Vieira (2009) revela que os interesses e influências políticas e econômicas levaram o setor elétrico brasileiro à sua atual configuração e hoje a energia elétrica se tornou um bem essencial à sociedade. Costa e Oliveira (2000, P. 837) ainda relacionam a energia elétrica e a economia e afirmam que,

[...] Não há crescimento econômico sustentável sem a existência de infraestrutura eficiente e eficaz, que atende a objetivos diversos: viabiliza o produto potencial; integra toda a população a economia nacional, por meio modais de transportes, sistemas de comunicações e energia.

O trágico apagão no Amapá, que durou 21 dias, mostrou a dependência de recursos elétricos que a sociedade tem atualmente. Uma notícia publicada pelo jornal O Estado de São Paulo no dia 25 de novembro de 2020, disponível no IFE¹ elaborado pelo GESEL², lista algumas das consequências do apagão que vão das mais óbvias como queda de serviços de internet e de telefonia, até o comprometimento de distribuição de água e combustíveis e o armazenamento de comida. O apagão também causou enormes prejuízos aos comerciantes, principalmente do ramo alimentício, além dos prejuízos à saúde como a drástica redução da capacidade de atendimento dos hospitais em meio à pandemia de covid-19 e até as vacinas, que precisaram ser acondicionadas na geladeira de um açougue que dispunha de gerador. Este trágico evento nos mostra que as consequências da falta de energia vão além de econômicas e, principalmente no cenário da crise sanitária em que estamos vivendo, passam a afetar gravemente a saúde pública.

A energia elétrica pode ser obtida através de armazenadores de energia pela conversão da energia eletroquímica, potencial, cinética e térmica ou através de campos magnéticos e elétricos. Dispositivos como baterias armazenam energia na forma eletroquímica; já os volantes (“flywheel”) armazenam energia cinética; nos capacitores a energia é acumulada de forma direta no campo magnético ou no campo elétrico do dispositivo (FERREIRA; POMILIO, 2005). A Associação Brasileira de

¹ IFE - Informativo Eletrônico do Setor Elétrico é um periódico eletrônico do Setor de Energia Elétrica, elaborado pela equipe do GESEL

² GESEL - Grupo de Estudos do Setor Elétrico, do Instituto de Economia da UFRJ, coordenada pelo Prof. Nivalde de Castro

Armazenamento e Qualidade de Energia (ABAQUE), em um estudo realizado por Bueno e Brandão (2016) propõe que a nossa dependência de energia elétrica, a evolução tecnológica e a flexibilidade da energia gerada em um dado momento poder ser utilizada em outro faz com que dispositivos como baterias e acumuladores de alta confiabilidade sejam extremamente necessários.

O desenvolvimento de armazenadores com maior capacidade também é a chave para ter uma matriz energética menos dependente de fontes não renováveis ou fontes que causam algum tipo de prejuízo ambiental mais severo, como às hidrelétricas. A energia vinda de fontes como a solar e a eólica, devido a sua intermitência, precisa ser acumulada para ser utilizada nos momentos de alta demanda (COURY; MENEZES; CARVALHO, 2020; SILVA, 2019). Estes dispositivos também podem armazenar excessos de energia gerados em um sistema e usar essa energia para suprir picos exigidos em geradores, automóveis ou dispositivos eletrônicos como tablets, smartphones, computadores e também em microgrids e sistemas de back-up. (COURY; MENEZES; CARVALHO, 2020; FERREIRA; POMILIO, 2005; SILVA, 2019). Atualmente os pequenos geradores de energia solar dependem muito de concessionárias que ficam responsáveis por armazenar a energia produzida ao longo do dia e devolvê-la ao seus clientes para o consumo durante a noite. Se tivéssemos armazenadores com mais capacidade os pequenos comércios que investem nesse tipo de tecnologia não necessariamente estariam vinculados a uma concessionária e, assim como no caso do açougue que conseguiu salvar as vacinas, poderiam suprir suas necessidades de consumo da mesma forma que com o gerador, porém com uma geração de energia mais limpa e eficiente.

Pesquisadores e empresas estão se envolvendo cada vez mais com projetos de otimização de automóveis. Isso porque os veículos convencionais prejudicam os ambientes urbanos, pois estão associados a fatores como decadência da qualidade do ar, por emissão de gases poluentes, além do consumo inadequado de energia, já que seu princípio de funcionamento se resume na conversão da energia proveniente da queima de um combustível fóssil (BUDNAK et al., 2014; COSTA, 2008). Os avanços relacionados ao desenvolvimento de baterias supercapacitores possibilitou uma revolução na indústria automobilística com a criação de automóveis elétricos, cujo consumo de energia provém de uma fonte limpa; e híbridos, que utilizam tanto a energia vinda de armazenadores, quanto a do motor de combustão interna, mesmo assim, do ponto de vista energético e ambiental, apresentam uma eficiência que supera em cerca de 30% a 40% os automóveis convencionais. (BARAN, 2012).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CAPACITORES CONVENCIONAIS E SUPERCAPACITORES

2.1.1 História, diferenças e aplicações

Os capacitores são dispositivos que armazenam energia elétrica em um campo magnético devido a diferença de potencial entre eletrodos que são separados por um material dielétrico. A ausência de elétrons em um dos eletrodos e o excesso no outro gera um campo magnético que induz corrente elétrica. Em relação a ciclabilidade, os capacitores convencionais apresentam um desempenho excelente em comparação às baterias, pois o seu mecanismo de armazenamento de energia é um processo não Farádico, ou seja, não apresenta transformação química. Infelizmente a sua capacidade de armazenamento é muito inferior às baterias, o que limita o seu uso a sistemas que não demandam tanta energia. Para atender as necessidades que o rápido desenvolvimento de tecnologia exige, muitos pesquisadores se focaram em melhorar esses dispositivos de armazenamento e então surgiram os capacitores eletroquímicos ou supercapacitores. (LAVALL, 2008; SILVA, 2019; TRIGUEIRO, 2014)

Os primeiros supercapacitores disponíveis eram usados em produtos eletrônicos, já que as suas células suportavam tensões inferiores a 2,5 V. Com o avanço dos estudos na área começaram a surgir supercapacitores mais resistentes o que possibilitou o uso deles em aplicações com tensões mais altas e com maior demanda de energia, como em veículos elétricos e em veículos elétricos híbridos, sendo uma fonte de rápida de transferência de energia utilizada para suprir os picos de energia do sistema. Porém, há uma desvantagem: o custo por Watt em aplicações com tensão média ou elevada. Uma forma de driblar este empecilho é a utilização em conjunto tanto com as baterias quanto com as células a combustível. (FERREIRA; POMILIO, 2005).

De modo geral, os supercapacitores são utilizados em conjunto com as baterias em uma associação cuja finalidade é suprir picos de potência que são solicitados por um circuito, dessa forma a bateria apresenta um melhor desempenho e durabilidade pois todos os excessos demandados são compensados pelo capacitor (KLEM, 2017). Além disso, os supercapacitores são considerados uma tecnologia relativamente sustentável, já que geram uma quantidade menor de resíduos perigosos durante o processo de armazenamento ou fim de ciclo de vida e, são usados no aproveitando energético em diversos cenários como na redução do dimensionamento da fonte primária de energia (FERREIRA; POMILIO, 2005) ou em situações onde é aproveitada a energia de uma etapa de um processo para a utilização na etapa seguinte, como no cenário automotivo e metroviário, onde a aceleração de um veículo

elétrico ou trem pode ser feita se valendo da energia da frenagem e a energia produzida durante a circulação do mesmo, Paiva (2019) nomeia este processo de frenagem regenerativa.

2.1.2 Outras aplicações dos supercapacitores

Hoje é possível encontrar estudos relacionados à utilização de supercapacitores em baterias de chumbo-ácido, que são ainda a opção mais utilizada por fabricantes de automóveis (REGO, 2011). Essa utilização implica no aproveitamento da energia da frenagem, na aceleração ou na ou no abastecimento dos picos de energia solicitados na partida de automóveis (HINÇA, 2018; PAIVA, 2019). Além de melhorar o desempenho e aumentar a durabilidade de baterias, exercem essa mesma função em sistemas de geração de energia eólica e, ainda controlam as flutuações de potência desses geradores (COURY; MENEZES; CARVALHO, 2020). Ferreira e Pomilio (2005) citam algumas outras aplicações de supercapacitores como em equipamentos de Tecnologia de Informação e Comunicação e sistemas ininterruptos de energia, evitando perda de informações e configurações em caso de falha da fonte primária ou suprindo picos e potência; Sistemas Acionamento de Velocidade Variável e Sistema de Condicionamento de Energia, controlando flutuações de tensão.

2.2 CAPACITÂNCIA, DENSIDADE DE ENERGIA E DENSIDADE DE POTÊNCIA

2.2.1 Capacitância

Os dispositivos de conversão e de armazenamento de energia são classificados em caráter da quantidade de energia que acumulam e pela velocidade de transferência de energia por unidade de massa ou volume. Segundo Ferreira e Pomilio (2005) a capacitância, grandeza que reflete a capacidade do dispositivo de armazenar energia, é diretamente proporcional à área das placas e inversamente proporcional à distância que as separa. Os supercapacitores, obedecendo a este princípio, possuem um valor extremamente elevado de capacitância, pois seus eletrodos têm uma grande área superficial e se configuram a uma pequena distância. Dessa forma os supercapacitores armazenam uma quantidade de energia muito maior do que um capacitor convencional de mesma massa ou volume. (FERREIRA; POMILIO, 2005).

2.2.2 Densidade de energia e densidade de potência dos supercapacitores em relação às baterias

A densidade de energia pode ser descrita como a quantidade de energia armazenada por unidade de massa (J/kg) ou volume (J/m³). Já a densidade de potência é descrita a velocidade em que uma certa quantidade de energia pode ser

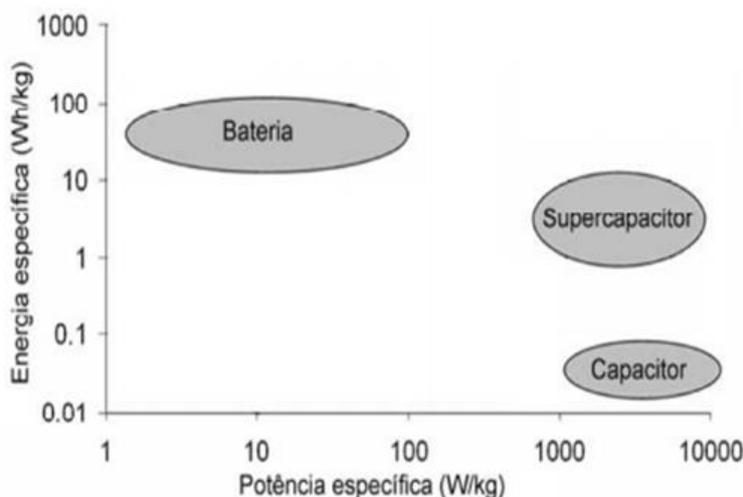
transferida pelo dispositivo por unidade de massa (W/kg) ou de volume (W/m³). (FERREIRA; POMILIO, 2005)

As baterias são dispositivos mais baratos que apresentam densidade de energia satisfatória, mas sua densidade de potência é menor em relação a um supercapacitor. Um SC com eletrólito do tipo sal + solvente, cuja célula suporta uma tensão de até 1V, apresenta uma densidade de energia típica de 3,5 Wh/kg e, possui uma resistência série relativamente baixa. Já o SC com eletrólito do tipo solvente orgânico, em decorrência da maior tensão suportada (a tensão limiar da célula é 2,3V), apresenta uma densidade de energia mais alta, podendo chegar a 18 Wh/kg, porém sua resistência série equivalente é alta se comparada ao SC com eletrólito aquoso. (FERREIRA; POMILIO, 2005)

Compilando as ideias de Ferreira e Pomilio (2005); Gontijo (2018); Klem (2017); Rego (2011); e Silva (2019) conclui-se que, quando comparados aos capacitores convencionais e às baterias, os supercapacitores são dispositivos que apresentam um grande equilíbrio entre as relações de carga, descarga e a capacidade de armazenar energia. São também dispositivos muito mais eficientes, pois, apesar das baterias e capacitores convencionais serem dispositivos mais baratos, a performance de desempenho da densidade de energia do supercapacitor é elevada em relação a um capacitor comum e a da densidade de potência dele é elevada em relação às baterias e, ainda suportam um grande número de ciclos de carga e descarga, já que este processo não envolve transformações químicas. Por esse motivo sua utilização é tão cobijada em sistemas que exigem picos muito elevados de energia, pois, além de disporem de capacitâncias da ordem de dezenas e centenas de farad, possuem uma ótima relação de carga e descarga sendo considerados equipamentos muito mais cicláveis do que as baterias e, além de serem capazes de transferir uma grande quantidade de energia em curto espaço de tempo.

Todos os trabalhos citados acima trazem uma exemplificação visual da comparação da densidade de potência e da densidade de energia entre os capacitores comuns, supercapacitores e baterias, mas Rego (2011) fez uma adaptação e tradução do Diagrama de Ragone encontrado na obra de Johansson e Anderson (2008) que consegue expor com clareza e simplicidade as ideias debatidas acima. Esse diagrama será apresentado na figura 1 e mostra a relação entre densidade de energia e densidade de potência dos três dispositivos citados acima. Nesta figura é possível identificar que as baterias se deslocam a parte superior esquerda, onde está representado a maior densidade de energia e menor densidade de potência; os capacitores comuns se deslocam a parte inferior direita, onde é apresentado uma menor densidade de energia e maior densidade de potência; e os supercapacitores estão pouco abaixo das baterias no parâmetro densidade de energia e praticamente na mesma posição dos capacitores no parâmetro densidade de potência.

Figura 1 - Diagrama de Ragone



Fonte: Rego (2011, p.23), adaptado de Johansson e Andersson (2008, p.3)

2.3 TIPOS DE SUPERCAPACITORES E PROCESSO DE CARGA E DESCARGA

2.3.1 Supercapacitor ou Capacitor Eletroquímico de Dupla Camada

De maneira geral, os eletrodos do supercapacitor, também chamado de Capacitor Eletroquímico de Dupla Camada, são compostos por uma película metálica revestida por uma camada de um material condutor e poroso, a fim de aumentar a superfície de contato. Os eletrodos são separados por um material dielétrico, ou seja, que tenha a propriedade de impedir a condução de corrente entre os eletrodos, mas permitir a movimentação de cátions e ânions. Além disso, o material separador é encharcado por um eletrólito, geralmente formado por sal + solvente ou solvente orgânico, que promove a atividade móvel dos íons do eletrólito. A separação dos eletrodos é feita para garantir que no estado carregado eles terão polaridades opostas a uma proximidade nanométrica, obtendo então capacitâncias na ordem de milhares de Farads. (FERREIRA; POMILIO, 2005).

Segundo Klem (2017), a dupla camada se refere às camadas elétricas onde a energia é armazenada, a camada eletrônica, no lado do eletrodo, e a camada iônica de polaridade oposta, no lado do eletrólito. Outro ponto importante é a distância dessas camadas elétricas que seguem a ordem de 5 a 10 Å, isso eleva o valor da capacitância, que Rego (2011) define como a unidade que representa a capacidade que um dispositivo tem para armazenar energia. A capacitância é diretamente

proporcional à área das placas e inversamente proporcional à distância que as separa, ou seja, quanto maior a distância entre as camadas elétricas, menor é a capacidade de armazenamento do dispositivo. A proximidade das camadas do SC, atrelados a eletrodos com extensas áreas superficiais, devido ao revestimento com materiais porosos, promovem um aumento muito grande na capacidade de armazenamento do dispositivo. (KLEM, 2017).

Geralmente os eletrodos do SC de dupla camada são compostos películas metálicas com revestimento a base de carvão ativado ou negro de fumo, mas também podem ser revestidos por nanotubos de carbono ou grafeno. (KLEM, 2017)

2.3.2 Pseudocapacitores

Os pseudocapacitores são dispositivos cujas capacitâncias geradas originam-se de reações de oxidação e redução rápidas e reversíveis, ou seja, envolve uma transformação química devido a troca de cargas entre os eletrodos e o eletrólito. Podemos dizer então que a pseudocapacitância é de origem farádica e, o processo de carga e descarga dos pseudocapacitores é análogo ao das baterias, diante disso, os PCs são capazes de armazenar mais energia do que os capacitores eletroquímicos de dupla camada, porém possui vida útil menor, pois apesar de algumas reações durante o processo de armazenamento serem reversíveis, acabam ocorrendo algumas reações irreversíveis nos eletrodos.

2.3.3 Capacitores Híbridos

Uma forma de balancear capacitância e vida útil é combinar materiais compósitos poliméricos com materiais nanoestruturados de carbono na preparação dos eletrodos. Estes são chamados de supercapacitores do tipo híbrido, pois armazenam energia de maneira análoga aos supercapacitores e pseudocapacitores simultaneamente. (KLEM, 2017)

Nos capacitores híbridos os eletrodos utilizados são de materiais eletroativos baseados na dopagem de carbonos ativados, nanotubos de carbono ou grafeno com óxidos metálicos como por exemplo RuO_2 , V_2O_5 , MnO_2 , NiO e óxidos de outros metais como Fe , Ag , Cu , Zn . Klem (2017) também cita mais dois óxidos que podem ser usados nesse processo de dopagem, o IrO_2 e o Co_3O_4 . Os PCs com eletrodos à

base de polímeros são constantemente inchados e encolhidos durante o processo de armazenamento de energia, podendo apresentar danos estruturais irreversíveis. Estudos se valendo da hibridização de materiais poliméricos como PANI, PPy e PTh com metais, carbono ou óxidos de metais, foram feitos e obtiveram ótimos resultados em relação ao melhoramento da resistência mecânica destes eletrodos, o que garante o aumento da quantidade de ciclos de carga e descarga, com uma eficiência de armazenamento superior aos capacitores eletroquímicos de dupla camada. (SILVA, 2019)

2.3.4 Processo de carga e descarga dos supercapacitores em geral

Para carregar um supercapacitor os eletrodos precisam ser submetidos a uma fonte de tensão. Isso faz com que as cargas negativas se acumulem no ânodo, e o cátodo fique com uma lacuna de elétrons, configurando assim uma polaridade positiva e gerando um campo elétrico que, quando ultrapassa o limite de rigidez dielétrica do material separador, ocasiona a movimentação dos íons positivos do eletrólito em direção ao ânodo e dos íons negativos do eletrólito em direção ao cátodo. Este processo de carregamento faz com que o dispositivo tenha uma resistência série equivalente (ESR) baixa, por tanto não interfere drasticamente no limite de corrente de carga e de descarga tornando o processo de armazenamento de energia muito mais eficiente em relação a um capacitor comum. (FERREIRA; POMILIO, 2005)

3. JUSTIFICATIVA

3.1 IMPORTÂNCIA DE ANALISAR E ORGANIZAR O ESTADO DA ARTE DA ÁREA DE SUPERCAPACITORES

Segundo Ferreira e Pomilio (2005) os supercapacitores começaram a ser vendidos comercialmente na década de 70. O tema já vem sendo estudado há mais de 50 anos e é possível encontrar uma grande quantidade de artigos, dissertações e teses relacionados a esse tema em bibliotecas e acervos. É muito bom que o tema seja cada vez mais desenvolvido, mas Fernández-Llimós et. al. (2012) e Araújo (2006) nos trazem uma visão diferente sobre isso. Segundo os autores o grande número de produções científicas precisa ser constantemente avaliado e organizado para que os trabalhos derivados destas produções sejam cada vez mais confiáveis. Araújo (2006) nos traz de forma mais detalhada as teorias bibliométricas e como elas são importantes para a medição e avaliação tanto dos autores, quanto das obras produzidas em uma determinada área.

Além de avaliar os autores e produções com um olhar quantitativo, também é importante fazer uma observação mais profunda sobre o tema. Romanowski e Ens (2006, p. 38) enfatizam que a literatura científica carece de trabalhos que "desvendam e examinem o conhecimento já elaborado e apontem os enfoques, os temas mais pesquisados e as lacunas existentes". Os mesmos seguem dizendo que pesquisas que façam essa análise, denominadas "estado da arte", são interessantes, pois também são capazes de "apontar caminhos que vêm sendo tomados e aspectos que são abordados em detrimento de outros" (ROMANOWSKI; ENS, 2006, p. 39). Eles também ressaltam que esse tipo de pesquisa é fundamental dado o crescente avanço da ciência e tecnologia.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GERAIS

Organizar por meio de técnicas quantitativas da bibliometria, as publicações da área de supercapacitores, para encontrar as melhores e mais relevantes pesquisas e trazer ao final do trabalho uma análise qualitativa do estado da arte dessa área, a fim de guiar futuras pesquisas e buscar lacunas que possam ser trabalhadas e, dessa forma contribuir para a pesquisa de forma mais assertiva.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Balizar conceitos iniciais sobre o tema através de revisão teórica;
- b) Analisar quantitativamente as publicações e autores na área de supercapacitores;
- c) Analisar qualitativamente as tendências encontradas na área;
- d) Discutir e apresentar as áreas de maior impacto do tema; e
- e) Criar uma base de dados de alto impacto, direcionando estudo futuros de impacto e de inovação.

5. METODOLOGIA

5.1 CONCEITO DE BIBLIOMETRIA E ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

A Bibliometria é uma técnica com fundamentos estatísticos e quantitativos muito útil para a comunidade científica. É literalmente um meio de quantificar a ciência, com a finalidade de identificar quais são os artigos mais relevantes e fazer uma análise prévia da qualidade de periódicos se valendo de dados como a quantidade de publicações de um determinado autor ou a quantidade de citações que um periódico carrega (ARAÚJO, 2006). O estudo bibliométrico realizado em um campo específico da ciência pode ser chamado de cienciometria, definida por Alvarenga e Araújo (2011) como uma técnica quantitativa de estudos dentro de uma área do conhecimento. Fernández-Llimós et. al. (2012) traz em seu artigo alguns exemplos de bases de dados que podem ser utilizadas na Bibliometria, dentre elas usaremos o Google Scholar Metrics (GSM) e Scopus. Há também algumas opções de revistas, disponíveis até mesmo dentro destas bases de dados, que serão utilizadas para a realização da pesquisa, são a IEEE e a Elsevier.

Do ponto de vista de Ferreira (2002) quando se deseja analisar de forma mais integrada uma determinada área do conhecimento é necessário além da bibliometria, que responde às perguntas “quando”, “onde” e “quem” produz, é necessário responder também “o quê” e “como” e, para isso se utiliza a análise de estado da arte, levando em consideração a obra como um todo, com um olhar voltado a todos os tipos de produção, desde dissertações e teses até publicações em revistas e periódicos que tratam do tema.. Esse “mapeamento do conhecimento”, como Romanowski e Ens (2006, p. 38) descrevem, pode ajudar a buscar tanto tendências quanto lacunas dentro de um campo de estudos. Essa metodologia de pesquisa tem um olhar mais qualitativo, focado em estudar a produção em todos os aspectos, enquanto a bibliometria usa técnicas mais quantitativas, focadas em análises mais matemáticas para classificar uma produção como boa ou obsoleta.

5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA

Para a realização de uma pesquisa bibliométrica, inicialmente é necessário a escolha de descritores, que podem ser individuais ou em combinação. Estes descritores podem ser procurados nos títulos, resumos, ou nas palavras-chave dos trabalhos, filtrando a base de dados de análise. Neste sentido, a escolha de melhores descritores e de suas combinações são de extrema importância, pois eles direcionam a separação e seleção dos trabalhos científicos.

Outros filtros podem ser traçados após esta primeira fase, como por exemplo, a filtragem de período de publicação, as grandes áreas, língua do trabalho, países de referência, entre outros.

Com isso, está finalizada a primeira fase que é a montagem do banco de dados para a análise. Este banco pode ser analisado de forma quantitativa e qualitativa.

Na análise quantitativa é possível analisar a evolução de publicação nos últimos anos, a evolução de publicação por países, a quantidade de publicação em cada área de conhecimento, entre outras.

Já na análise qualitativa é possível avaliar a qualidade das publicações, e para isso, utiliza-se de métricas, e indicadores de qualidade, que levam em consideração a qualificação das revistas, a quantidade de citações dos trabalhos, o número de visualizações, entre outros.

A partir do tópico 6 será demonstrado os resultados do estudo bibliométrico e da análise quantitativa e qualitativa.

5.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para a realização da pesquisa bibliométrica foi utilizada a base de dados Scopus. A organização quantitativa foi feita utilizando descritores de filtragem relevantes para a identificação dos artigos que atendem aos anseios da pesquisa de uma maneira mais rápida, já que existe uma grande quantidade de publicações sobre o tema.

Os descritores utilizados foram “supercapacitors”; em seguida foi restringido para apenas as publicações dos últimos dez anos, que estejam escrito em inglês e

que sejam artigos ou resumos; esse banco foi organizado pelos 10 países que mais publicam; foi organizado também pelos autores que mais publicam; outra filtragem realizada foi referente às áreas de aplicação; e, por último, foi adicionado os descritores “renewable energy” e “battery” combinados com todos os outros filtros anteriores para direcionar ainda mais as aplicações.

Depois de reunir as melhores produções foi realizada uma avaliação qualitativa explorando as métricas de qualidade disponíveis na Scopus para encontrar os melhores artigos de três grandes áreas de aplicação dos supercapacitores. São as áreas: Veículos elétricos; Energia renovável; Ciência dos materiais. A ideia inicial foi encontrar as 5 publicações mais impactantes de cada uma destas áreas de aplicação e discuti-las.

Para cada um dos temas propostos nesta pesquisa foi adicionado um descritor o descritor “supercapacitors”, sendo os descritores “renewable energy”, “electric vehicles” e “materials science” os escolhidos. Ao utilizar estes descritores, a busca foi feita nos últimos 10 anos, apenas papers em inglês. Para estabelecer uma seleção qualitativa um último filtro adicionado foi para filtrar apenas os documentos de livre acesso, em seguida foram utilizados 3 indicadores em sequência:

1. Separou-se de cada grupo, os 20 documentos mais citados;
2. A partir dos 20 documentos selecionados, separou-se os 15 de maiores impactos de revista;
3. A partir dos 15 analisou-se o índice H do autor principal, selecionando os 5 primeiros colocados.

Estes documentos foram os primeiros a serem avaliados, o que possibilitou a entender que a escolha dos indicadores para o tema de veículos não traz os artigos esperados de aplicação, sendo artigos mais relacionados à introdução, contextualização e revisão. Assim, optou-se por analisar os demais artigos levantados (total de 20 documentos mais citados) para encontrar artigos diretamente ligados às aplicações em questão em todas as áreas.

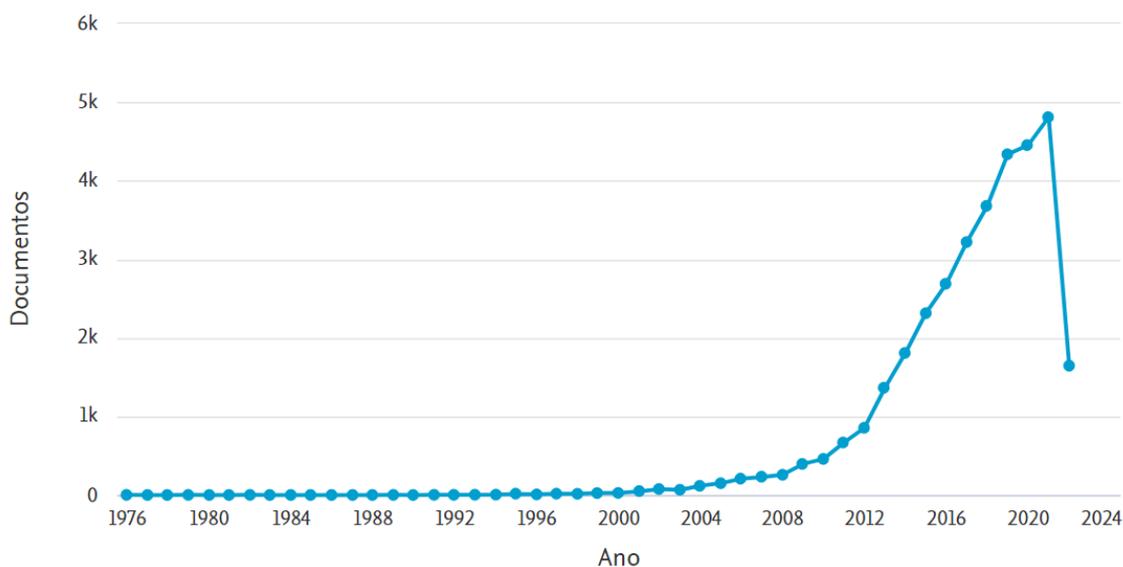
6. RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA

Os dados aqui apresentados referem-se ao levantamento quantitativo de referências no tema proposto no projeto. Para este estudo foi utilizado a base de dados Scopus, nela é possível encontrar documentos de diferentes áreas da ciência e realizar análises e filtros de maneira intuitiva no próprio site. No entanto, a leitura de alguns documentos, bem como todo acesso, depende de algumas licenças institucionais. A pesquisa é feita através da escolha de descritores e/ou combinação entre eles.

Utilizando apenas o descritor “supercapacitors”, foram encontrados 33.964 documentos, sendo a primeira publicação realizada em 1976 e no ano de 2022 já foram publicados 1646 documentos. A figura a seguir apresenta a curva de publicações por ano.

Figura 2 – Número de publicações por ano para o descritor “supercapacitors”.

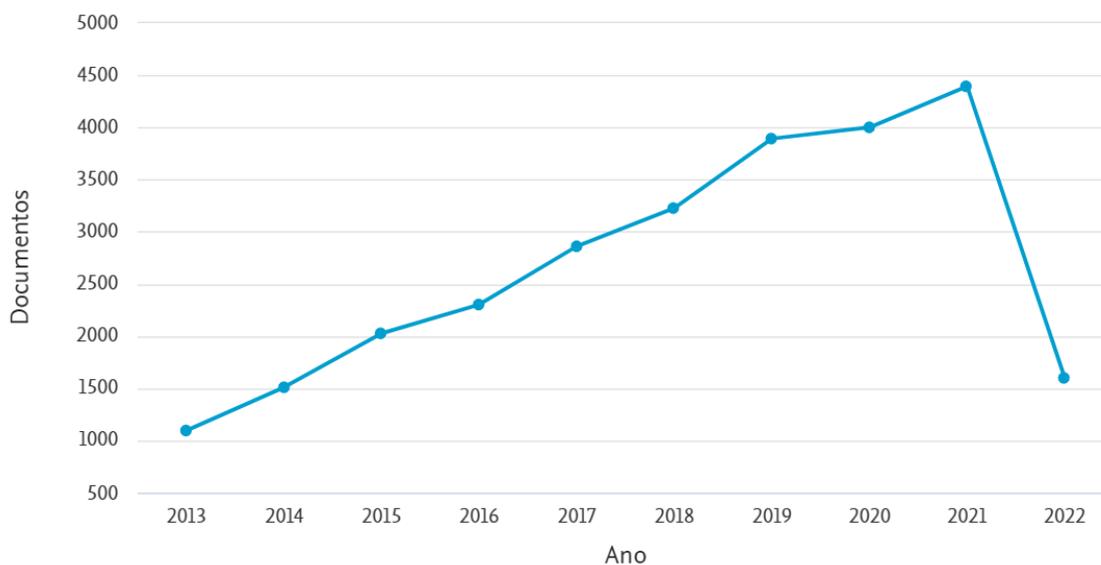


Fonte: Próprio Autor

Para analisar a área de publicação, os autores que mais publicam e os tipos de publicação, adicionou-se um primeiro filtro temporário, ou seja, será considerado apenas as publicações dos últimos dez anos, que estejam escrito em inglês e que sejam artigos ou resumos.

Com este filtro feito, limitou-se o banco para um total de 26.912 documentos. A figura a seguir mostra a curva de publicações por ano.

Figura 3 - Número de publicações por ano para o descritor “supercapacitors” com filtro de 10 anos, artigos e resumos e língua inglesa.

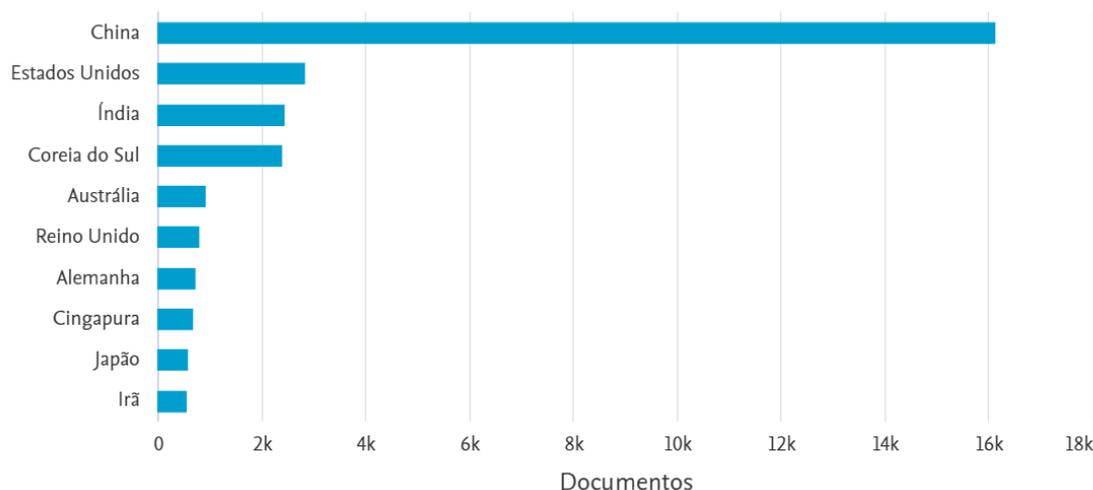


Fonte: Próprio Autor

Observa-se que o tema passa por um período de acréscimo de interesse. No ano de 2022, por estarmos ainda no mês de março, estima-se que o número de publicações ainda irá subir bastante.

A figura a seguir apresenta a ordem de grandeza das publicações por países, os 10 países que mais publicam.

Figura 4 – Número de publicações por países para descritor “supercapacitors” e filtros anteriores.

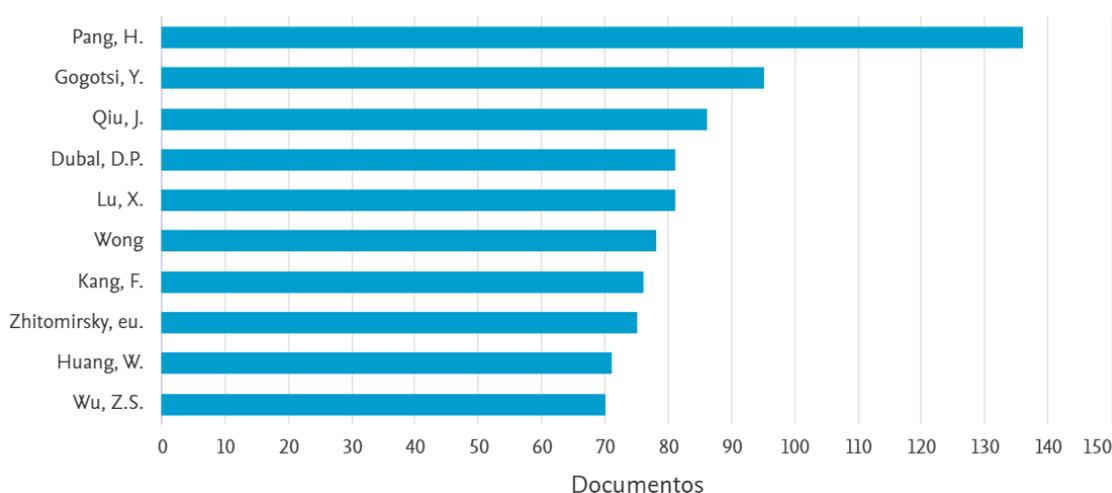


Fonte: Próprio Autor

A China possui amplo destaque com mais de 16 mil documentos, ficando os Estados Unidos, a Índia e a Coreia do Sul com pouco mais de 2 mil publicações cada um. Nestes 10 anos de análise o Brasil se encontra em vigésimo segundo lugar, com apenas 248 documentos, ficando à frente de países como, Suécia, Portugal, Suíça, mas atrás de países como, Egito, Malásia e Arábia Saudita.

Agora, quando o assunto é autores que mais publicam, a figura a seguir apresenta a maior distribuição de documentos.

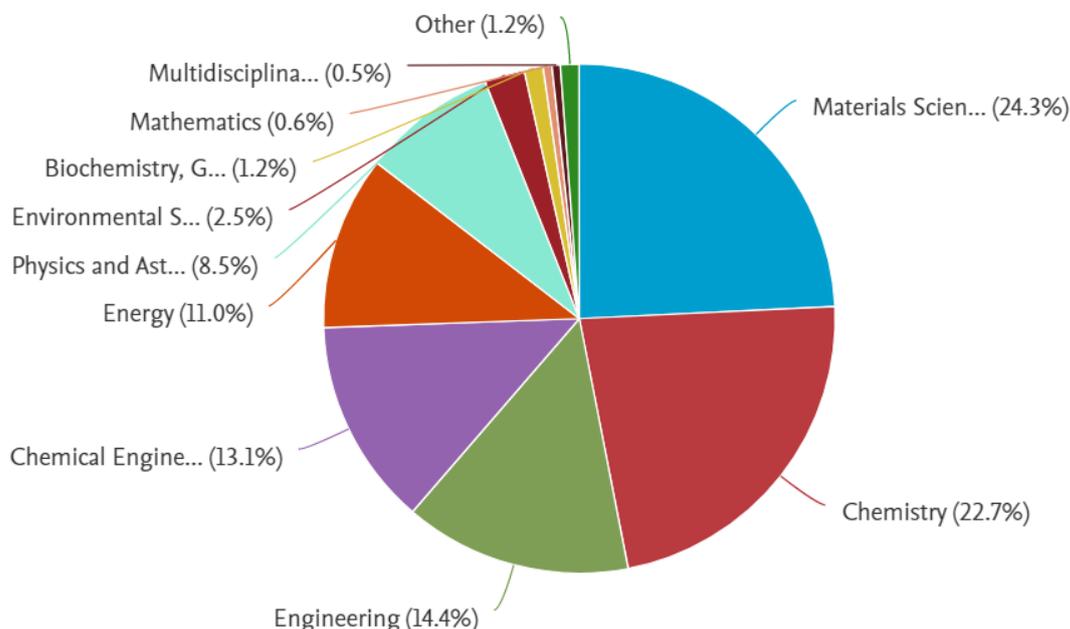
Figura 5 – Publicações por autores com o descritor “supercapacitors” e filtros anteriores.



Fonte: Próprio Autor

Em relação a área de publicação, estes documentos são divididos conforme a figura a seguir, lembrando que alguns documentos são considerados em mais de uma área.

Figura 6 – Publicações por área do conhecimento, para descritor “supercapacitors” e filtros anteriores.

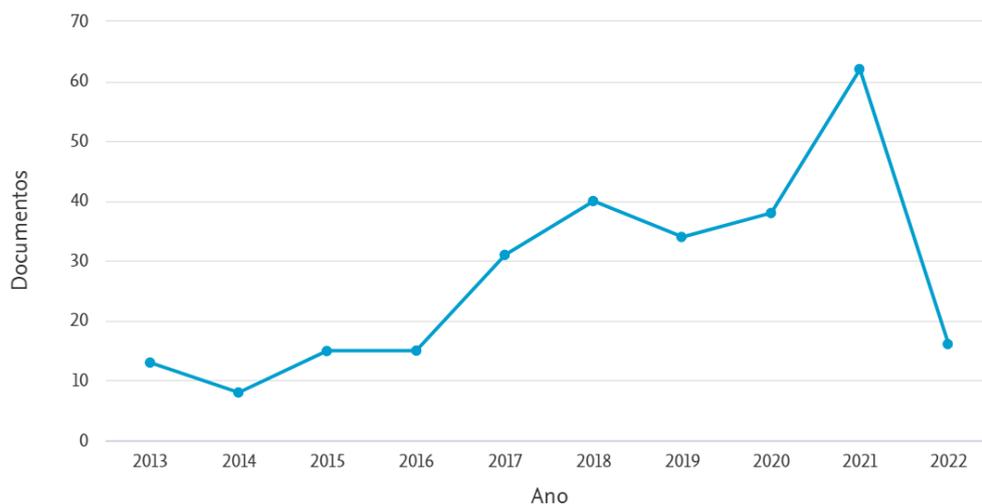


Fonte: Próprio Autor

Com este gráfico é possível verificar que as áreas de destaque de publicação são, Ciência dos Materiais, Química, Engenharia, Engenharia Química e Energia.

Com intuito de direcionar ainda mais o estudo bibliométrico, ainda de maneira quantitativa, serão incluídos novos descritores combinados com o “supercapacitors”, para delimitar a definição do estudo desta pesquisa. Os novos descritores utilizados em combinação são: “renewable energy” e “battery”. Com a combinação destes descritores e todos os filtros anteriores, ou seja, últimos 10 anos, documentos em inglês e artigos e resumos, foi obtido um total de 272 documentos. Onde as publicações anuais possuem a curva a seguir.

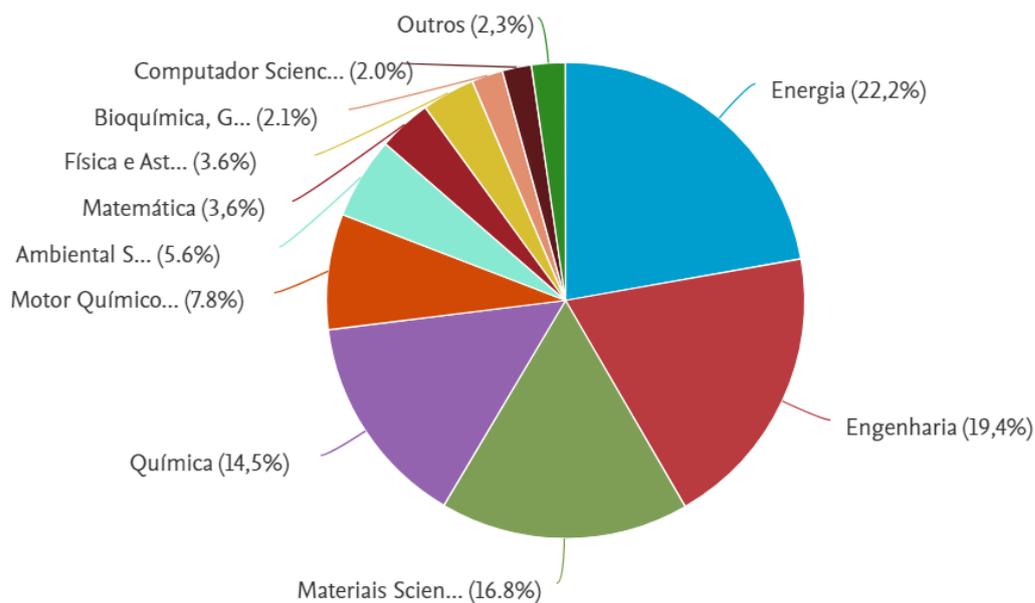
Figura 7 – Publicações nos últimos 10 anos para a combinação de descritores “supercapacitors”, “renewable energy” e “battery” e os filtros anteriores.



Fonte: Próprio Autor

Nesta configuração os documentos são subdivididos em áreas semelhantes aos documentos anteriores, mas os destaques percentuais sofreram mudança de área, conforme pode ser visto na figura a seguir.

Figura 8 – Publicações por áreas, novos descritores combinados.



Fonte: Próprio Autor

6.2 RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVA

Os dados aqui apresentados referem-se ao refinamento e análise qualitativa de referências no tema proposto no projeto. Para este estudo foi utilizado a base de

dados Scopus, nela é possível encontrar documentos de diferentes áreas da ciência e realizar um refinamento qualitativo com métricas e filtros de maneira intuitiva no próprio site. No entanto, a leitura de alguns documentos, bem como todo acesso, depende de algumas licenças institucionais. A pesquisa é feita através da escolha de descritores e/ou combinação entre eles.

Para a área de aplicação de energia renovável o foi encontrado um total de 356 documentos sendo 91 acessíveis. Para a área de aplicação de veículos elétricos o número foi de 2238, sendo 512 acessíveis. Para a área da aplicação de ciência dos materiais encontrou-se 374, sendo 92 acessíveis. A partir destes bancos de documentos foi selecionado os 20 documentos mais citados de cada área para serem analisados e discutidos, os quais estão dispostos abaixo em uma tabela na ordem alfabética. Destes 20, foram classificados os 5 artigos de maior qualidade segundo o impacto de revista e índice H do autor e, estes estão dispostos em uma tabela em ordem qualitativa (dos documentos de maior qualidade para os de menor qualidade). Todos esses trabalhos selecionados serão discutidos abaixo.

6.2.1 Discussão de resultados da área de energia renovável

Na tabela a seguir foram consideradas as 5 melhores publicações da área de energia renovável e sistematiza os documentos na ordem do de maior qualidade para o de menor qualidade.

Tabela 1: Ranking de documentos mais qualificados para a aplicação em energia renovável, com critério de organização em ordem qualitativa

Posição	Título do trabalho
1°	DC Microgrid Planning, Operation, and Control: A Comprehensive Review
2°	An Innovative Hybrid Wind-Solar and Battery-Supercapacitor Microgrid System-Development and Optimization
3°	A Capacity Configuration Control Strategy to Alleviate Power Fluctuation of Hybrid Energy Storage System Based on Improved Particle Swarm Optimization
4°	A Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell for Grid Integration With Jaya-Based Maximum Power Point Tracking: Experimental Performance Evaluation
5°	Coordinated control strategy of DC microgrid with hybrid energy storage system to smooth power output fluctuation

Fonte: Próprio autor

Essa próxima tabela considerou os 20 trabalhos mais citados da área de energia renovável e sistematiza os documentos na ordem alfabética, pois a cada

filtragem feita a ordem qualitativa ia mudando, então foi estabelecido esse outro critério para a organização dos documentos.

Tabela 2: Trabalhos mais citados na área de aplicação de energia renovável, em ordem alfabética.

Posição	Título do trabalho
1°	A Capacity Configuration Control Strategy to Alleviate Power Fluctuation of Hybrid Energy Storage System Based on Improved Particle Swarm Optimization
2°	A comparison of metaheuristics for the optimal capacity planning of an isolated, battery-less, hydrogen-based micro-grid
3°	A General Parameter Identification Procedure Used for the Comparative Study of Supercapacitors Models
4°	A Grid Connected Photovoltaic Inverter with Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage
5°	A Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell for Grid Integration With Jaya-Based Maximum Power Point Tracking: Experimental Performance Evaluation
6°	A Hybrid PV-Battery/Supercapacitor System and a Basic Active Power Control Proposal in MATLAB/Simulink
7°	A Review on the Selected Applications of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems for Microgrids
8°	An Innovative Hybrid Wind-Solar and Battery-Supercapacitor Microgrid System—Development and Optimization
9°	An Optimisation and Sizing of Photovoltaic System With Supercapacitor for Improving Self-Consumption
10°	Coordinated control strategy of DC microgrid with hybrid energy storage system to smooth power output fluctuation
11°	DC Microgrid Planning, Operation, and Control: A Comprehensive Review
12°	DC Microgrid Voltage Stability by Dynamic Feedback Linearization
13°	Fuzzy logic- based intelligent frequency and voltage stability control system for standalone microgrid
14°	Model predictive control and improved low-pass filtering strategies based on wind power fluctuation mitigation
15°	Nonlinear Control of a DC MicroGrid for the Integration of Photovoltaic Panels
16°	Nonlinear Control of an AC-connected DC MicroGrid

17°	Optimal Energy Management of Railroad Electrical Systems with Renewable Energy and Energy Storage Systems
18°	Optimization and Analysis of a Hybrid Energy Storage System in a Small-Scale Standalone Microgrid for Remote Area Power Supply (RAPS)
19°	Robust Frequency and Voltage Stability Control Strategy for Standalone AC/DC Hybrid Microgrid
20°	Ultra-low-power energy harvester for microbial fuel cells and its application to environmental sensing and long-range wireless data transmission

Fonte: Próprio autor

Os trabalhos dispostos acima em geral sugerem algoritmos e estratégias de controle baseadas em programação, para comandar supercapacitores em redes de energia.

Entre os 20 trabalhos analisados foram apresentadas estratégias de otimização de capacidade de microrredes; melhoria do autoconsumo, estabilização e diminuição de flutuações de potência na rede; aplicabilidade e flexibilidade de sistemas autossuficientes para uso em lugares remotos; estabilização de frequência e tensão para microrredes de corrente contínua.

Alguns trabalhos apresentam o uso de supercapacitores se baseando apenas em teorias e em outros já é possível ver o dimensionamento e testes desses armazenadores em uso. Outro problema tratado pelo 17° documento da tabela 2 está relacionado ao fluxo de potência ótimo de operação de um sistema elétrico ferroviário, com sistema de armazenamento híbrido.

Outro trabalho em destaque é o 3° da tabela 2, que traz uma comparação dos modelos de supercapacitores mais utilizados em diversas áreas para ajudar na identificação paramétrica e seleção do supercapacitor que atenda às necessidades desejadas.

Lembrando que como as filtragens feitas carregava o descritor "energia renovável" todos os trabalhos citam e estão direcionados a fontes de geração de energia renovável, mesmo que não exclusivamente.

6.2.2 Discussão de resultados da área de veículos elétricos

Na tabela a seguir foram consideradas as 5 melhores publicações da área de veículos elétricos e sistematiza os documentos na ordem do de maior qualidade para o de menor qualidade.

Tabela 3: Ranking de documentos mais qualificados para a aplicação em veículos elétricos, com critério de organização em ordem qualitativa

Posição	Título do trabalho
1°	Where Do Batteries End and Supercapacitors Begin?
2°	Engineering three-dimensional hybrid supercapacitors and microsupercapacitors for high-performance integrated energy storage
3°	Graphene-based materials for supercapacitor electrodes e A review
4°	New Perspectives on the Charging Mechanisms of Supercapacitors
5°	Battery-Supercapacitor Hybrid Devices: Recent Progress and Future Prospects

Fonte: Próprio autor

Essa próxima tabela considerou os 20 trabalhos mais citados da área de veículos elétricos e sistematiza os documentos na ordem alfabética, pois a cada filtragem feita a ordem qualitativa ia mudando, então foi estabelecido esse outro critério para a organização dos documentos.

Tabela 4: Trabalhos mais citados na área de aplicação de veículos elétricos, em ordem alfabética.

Posição	Título do trabalho
1°	2D Materials Beyond Graphene for High-Performance Energy Storage Applications
2°	A critical review on unmanned aerial vehicles power supply and energy management: Solutions, strategies, and prospects
3°	A perspective: carbon nanotube macro-films for energy storage
4°	Battery-Supercapacitor Hybrid Devices: Recent Progress and Future Prospects
5°	Battery-Supercapacitor Hybrid Devices: Recent Progress and Future Prospects
6°	Carbon nanomaterials for high-performance supercapacitors
7°	Engineering three-dimensional hybrid supercapacitors and microsupercapacitors for high-performance integrated energy storage
8°	Exploring metal organic frameworks for energy storage in batteries and supercapacitors
9°	Graphene-based materials for supercapacitor electrodes e A review

10°	Modeling and Nonlinear Control of a Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric Vehicles
11°	Nanoarchitected Graphene-Based Supercapacitors for Next Generation Energy-Storage Applications
12°	New Perspectives on the Charging Mechanisms of Supercapacitors
13°	On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion
14°	On the Inertia of Future More-Electronics Power Systems
15°	Online adaptive equivalent consumption minimization strategy for fuel cell hybrid electric vehicle considering power sources degradation
16°	Performance of Commercially Available Supercapacitors
17°	Power split strategies for hybrid energy storage systems for vehicular applications
18°	Recent Progress in Biomass-Derived Electrode Materials for High Volumetric Performance Supercapacitors
19°	Wearable energy-smart ribbons for synchronous energy harvest and storage
20°	Where Do Batteries End and Supercapacitors Begin?

Fonte: Próprio autor

A grande maioria dos documentos classificados qualitativamente para a área de veículos elétricos, inclusive os 5 mais qualificados em relação ao impacto de revista e índice H do autor, em geral apresentam trabalhos que correlacionam a ciência dos materiais ao desenvolvimento de diversas tecnologias avançadas para armazenamento e conversão de energia eletroquímica. Alguns revisam os avanços recentes e perspectivas futuras, outros avaliam o desempenho dos supercapacitores disponíveis no mercado. Durante a análise da seleção dos 20 trabalhos mais citados foram encontrados 5 que estão diretamente relacionados à aplicação dos supercapacitores em veículos elétricos e eles estão sintetizados a seguir.

O 2° trabalho da tabela 4 visa demonstrar como a escolha de uma arquitetura de hibridação de fonte de energia adequada com um sistema de gestão de energia ideal são cruciais para permitir uma operação eficiente de veículos aéreos não tripulados (vants) e propõe uma revisão crítica abrangente do estado da arte sobre

configurações de fornecimento de energia e sistemas de gestão de energia para descobrir lacunas e para fornecer insights e recomendações para futuras pesquisas.

O 10º trabalho da tabela 4 trata do problema do controle de um sistema de armazenamento de energia híbrida propondo um novo modelo de controlador não linear, que faz uso das técnicas de projeto de estabilidade de Lyapunov. As simulações realizadas confirmam que o controlador desenvolvido atende todos os objetivos desejados.

O 15º da tabela 4 objetiva apresentar uma estratégia adaptativa de consumo mínimo equivalente para veículos elétricos híbridos reduzindo o consumo de hidrogênio e a degradação das fontes de energia. Os autores realizam uma série de testes e os resultados dos experimentos mostram que a estratégia de consumo mínimo equivalente proposta possui o menor consumo de hidrogênio e oferece a maior durabilidade da célula a combustível.

Já o 17º trabalho da tabela 4 apresenta um novo controlador preditivo modelo e um algoritmo de programação dinâmica incluindo um modelo simplificado de envelhecimento da bateria em suas formulações para ser usado em veículos elétricos. Aqui também é realizado uma série de experimentos que demonstram que quando comparados ao controlador baseado em regras esse novo modelo de controlador preditivo e o algoritmo de programação dinâmica reduzem ainda mais o valor quadrático médio em 6% e 10%, respectivamente, enquanto os valores de pico são adicionalmente reduzidos em 17% e 45%.

Por fim, o 19º trabalho da tabela 4 disserta sobre um dispositivo tipo fita que poderia simultaneamente colher e armazenar energia. A fita de estado sólido em questão integra uma célula solar e um supercapacitor e sua performance de densidade de energia e densidade de potência entrega um sistema de energia auto-suficiente altamente flexível e portátil com forte potencial para aplicações em veículos elétricos.

6.2.3 Discussão de resultados da área de ciência dos materiais

Na tabela a seguir foram consideradas as 5 melhores publicações da área de ciência dos materiais e sistematiza os documentos na ordem do de maior qualidade para o de menor qualidade.

Tabela 5: Ranking de documentos mais qualificados para a aplicação em ciência dos materiais, com critério de organização em ordem qualitativa

Posição	Título do trabalho
1°	Metal-Organic-Framework-Based Materials as Platforms for Renewable Energy and Environmental Applications
2°	Chemical adsorption of NiO nanostructures on nickel foam-graphene for supercapacitor applications
3°	Scalable Production of Graphene Inks via Wet-Jet Milling Exfoliation for Screen-Printed Micro-Supercapacitors
4°	Patterning two-dimensional free-standing surfaces with mesoporous conducting polymers
5°	Periodic stacking of 2D charged sheets: Self-assembled superlattice of Ni–Al layered double hydroxide (LDH) and reduced graphene oxide

Fonte: Próprio autor

Essa próxima tabela considerou os 20 trabalhos mais citados da área de ciência dos materiais e sistematiza os documentos na ordem alfabética, pois a cada filtragem feita a ordem qualitativa ia mudando, então foi estabelecido esse outro critério para a organização dos documentos.

Tabela 6: Trabalhos mais citados na área de aplicação de ciência dos materiais, em ordem alfabética.

Posição	Título do trabalho
1°	A Polyoxovanadate as an Advanced Electrode Material for Supercapacitors
2°	A Review of Electrospun Carbon Fibers as Electrode Materials for Energy Storage
3°	Biomass-derived carbon materials with structural diversities and their applications in energy storage
4°	Chemical adsorption of NiO nanostructures on nickel foam-graphene for supercapacitor applications
5°	Co(OH) ₂ nanosheet-decorated graphene–CNT composite for supercapacitors of high energy density
6°	Current status and challenges of biohydrogels for applications as supercapacitors and secondary batteries

7°	High-performance supercapacitors based on the carbon nanotubes, graphene and graphite nanoparticles electrodes
8°	Kirigami-inspired, highly stretchable microsupercapacitor patches fabricated by laser conversion and cutting
9°	Metal-Organic-Framework-Based Materials as Platforms for Renewable Energy and Environmental Applications
10°	Natural biomass derived hard carbon and activated carbons as electrochemical supercapacitor electrodes
11°	Patterning two-dimensional free-standing surfaces with mesoporous conducting polymers
12°	Periodic stacking of 2D charged sheets: Self-assembled superlattice of Ni–Al layered double hydroxide (LDH) and reduced graphene oxide
13°	Preparation and characterization of polypyrrole/graphene nanocomposite films and their electrochemical performance
14°	Promising applications of graphene and graphene-based nanostructures
15°	Rapid and Efficient Redox Processes within 2D Covalent Organic Framework Thin Films
16°	Review of borophene and its potential applications
17°	Scalable Production of Graphene Inks via Wet-Jet Milling Exfoliation for Screen-Printed Micro-Supercapacitors
18°	Single Stage Simultaneous Electrochemical Exfoliation and Functionalization of Graphene
19°	Study on Direct Synthesis of Energy Efficient Multifunctional Polyaniline–Graphene Oxide Nanocomposite and Its Application in Aqueous Symmetric Supercapacitor Devices
20°	Synthesis of nickel and cobalt sulfide nanoparticles using a low cost sonochemical method

Fonte: Próprio autor

Nos 5 primeiros trabalhos que foram analisados, os quais estão classificados pelo impacto de revista e índice H do autor, nota-se que os autores trabalharam com a produção de materiais compósitos e estudaram sua aplicabilidade voltada para a área de supercapacitores e outros armazenadores de energia, ou apenas com a

revisão da bibliografia disponível sobre o tema, porém trazendo muitos dados de testes que comprovam a eficiência desses materiais para a aplicação sugerida.

Os demais trabalhos analisados estão relacionando o uso de materiais como fibra de carbono ultrafinas, nanotubos de carbono, grafeno, óxido de grafeno, borofeno, nanopartículas de grafite, nanopartículas de sulfeto de níquel, nanopartículas de sulfeto de cobalto, óxidos metálicos, catalisadores, materiais de carbono derivados de biomassa, polioxovanadatos, biohidrogeis, polipirrol e polianilina em dispositivos de armazenamento de energia para a otimização de propriedades eletroquímicas, simplicidade de fabricação, aumento da durabilidade e resiliência dos eletrodos, redução de custos e sustentabilidade.

Alguns trabalhos envolvem a fabricação e análise desses materiais e, partindo de referências bibliográficas, fizeram a correlação com a aplicação voltada para supercapacitores e outros armazenadores de energia. Outros trabalhos apresentaram somente com a revisão da bibliografia existente sobre o tema e sugeriram a utilização de um dos materiais citados no parágrafo anterior na estruturação destes dispositivos. Há também nesta seleção de documentos trabalhos que apresentaram um estudo de materiais inéditos voltados especificamente a aplicação em supercapacitores, por terem altas capacitâncias específicas.

O 3° e 10° trabalhos da tabela 6 relacionam questões sustentáveis de produção limpa e utilização de biomassa na fabricação de materiais que podem ser usados nos armazenadores de energia.

Já o 8° trabalho disposto na tabela 6 tem uma abordagem diferente. Ele propõe a construção inspirada em Kirigami para placas de microsupercapacitores altamente deformáveis. Estas placas podem ser fabricadas pela conversão gráfica assistida por laser e corte, sem afetar significativamente na capacitância e permitindo vários tipos de conexões elétricas entre uma matriz de supercapacitores.

7. CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÃO DA ANÁLISE QUANTITATIVA

O grande número de documentos publicados e a evolução demonstrada no número de publicações evidenciam a importância do tópico em estudo, atrelado a isso a correlação do estudo de supercapacitores com energia renovável e baterias mostram que o tema está relacionado com conceitos macros como sustentabilidade, geração distribuída, veículos elétricos, entre outros.

Nesta pesquisa foram apresentados alguns dados da análise quantitativa, onde na primeira busca, com o descritor “supercapacitors” resultou em um banco de dados com 33.964 documentos e a distribuição destes documentos por ano mostra que a primeira publicação foi realizada em 1976, e em 2022 já foram publicados 1646 documentos.

Destes foram selecionados apenas artigos e resumos em inglês, publicados nos últimos 10 anos, o que reduziu o banco para 26.912 documentos. Os mesmos quando são distribuídos por ano revelam um pico no interesse pelo assunto em 2021.

Organizando as publicações por países, foi verificado que a china tem grande destaque, reservando mais de 16 mil documentos, enquanto os Estados Unidos, Índia e Coreia do Sul ficam logo abaixo, com pouco mais de 2 mil publicações cada. Quando filtrado por autores, o banco apresenta uma distribuição mais homogênea, destacando somente o autor Huan Pang.

A busca em relação às áreas de publicação teve dois olhares diferentes; o primeiro foi utilizando o banco de dados de 26.912 documentos, que teve uma distribuição com ênfase nas áreas de Ciência dos Materiais, Química, Engenharia, Engenharia Química e Energia; o segundo foi com o banco reduzido a 272 documentos, pelos descritores “renewable energy” e “battery”, que apresentou uma distribuição muito semelhante a anterior, mas com alteração nos percentuais.

Para este mesmo banco reduzido a 272 artigos ou resumos em inglês, publicados nos últimos 10 anos, sobre o tema “supercapacitores”, que citem baterias e energia renovável, foi verificada uma distribuição por ano com o pico também no ano de 2021.

7.2 CONCLUSÃO DA ANÁLISE QUALITATIVA

A seleção de trabalhos da área de energia renovável se mostrou muito diversa em relação às estratégias de controle dos supercapacitores em redes de energia. Percebeu-se que a filtragem realizada já foi suficiente para encontrar um banco excelente de trabalhos que podem ser usados em pesquisas futuras para o desenvolvimento da tecnologia da área.

Para a área de veículos elétricos a filtragem realizada não entrega os artigos esperados de aplicação, isso porque a condição estabelecia que o termo “veículos elétricos” aparecesse no título, ou no resumo e, como esta aplicação é bem cobijada por questões econômicas, a maioria dos trabalhos eram de contextualização da problemática que leva ao desenvolvimento da área de supercapacitores, e conseqüentemente direciona a aplicação em veículos elétricos. Sendo assim, para encontrar as lacunas existentes nesta área é necessária uma filtragem mais rigorosa, com descritores mais específicos e com critério de exclusão dos documentos selecionados, pois não é suficiente filtrar apenas os documentos que possuam o descritor, “veículos elétricos, somente no título, já que o 19º trabalho da tabela 4 só possui o mesmo no resumo, mas propõe e estuda diretamente esta aplicação em sua dissertação.

Por fim, a seleção de trabalhos da área de ciência dos materiais também se mostrou bem diversa e assertiva em relação aos tipos de materiais abordados nas pesquisas. O fato de o 3º e 10º trabalhos da tabela 6 relacionarem questões sustentáveis de produção limpa e utilização de biomassa na fabricação de materiais que podem ser usados nos armazenadores de energia ter aparecido nessa seleção qualitativa nos mostra que já existe uma tendência de produção sustentável na área. A filtragem realizada para esta área por si só já fornece um banco de trabalhos suficientemente categórico para os leitores que desejam encontrar alguma lacuna para trabalhar em uma tese ou pesquisa futura.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKRAM, U., KHALID, M. και SHAFIQ, S. (10 2017) '**An innovative hybrid wind-solar and battery-supercapacitor microgrid system—development and optimization**', IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 5, σσ. 25897–25912. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2767618.

ARAÚJO, Carlos A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. Em *Questão*, Porto Alegre, vol. 12, n°.1, p. 11-32, jan./jun. 2006.]

ARMELIN, E. κ.ά. (6 2016) '**Current status and challenges of biohydrogels for applications as supercapacitors and secondary batteries**', *Journal of Materials Chemistry A*. Royal Society of Chemistry, 4, σσ. 8952–8968. doi: 10.1039/c6ta01846g.

ASGHAR, F., TALHA, M. και KIM, S. H. (4 2018) '**Fuzzy logic-based intelligent frequency and voltage stability control system for standalone microgrid**', *International Transactions on Electrical Energy Systems*. John Wiley and Sons Ltd, 28. doi: 10.1002/etep.2510.

AVAL, L. F., GHORANNEVISS, M. και Pour, G. B. (2018) '**High-performance supercapacitors based on the carbon nanotubes, graphene and graphite nanoparticles electrodes**', *Heliyon*, σ. 862. doi: 10.1016/j.heliyon.2018.

BARAN, Renato. **A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade**. Tese (Doutor em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

BICH, H. N. και VAN, H. N. (6 2016) '**Promising applications of graphene and graphene-based nanostructures**', *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. IOP Publishing Ltd, 7, σσ. 4802–4826. doi: 10.1088/2043-6262/7/2/023002.

BOUKOBERINE, M. N., ZHOU, Z. και BENBOUZID, M. (12 2019) '**A critical review on unmanned aerial vehicles power supply and energy management: Solutions, strategies, and prospects**', *Applied Energy*. ELSEVIER Ltd. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113823.

BUDNAK, Angélica S. ESSER, Moema S. FIORENTIN, Emanoela G. MARCILIO, Bruna. SANTOS, Tamara P. DIAS, Solange I. S. **Barcelona/ES: Êxito no Planejamento Urbano**. 12° Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2014.

BUENO, A.F.M. BRANDÃO, C.A.L. **Visão Geral de tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil**. Estudo realizado pela Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia (ABAQUE), Belo Horizonte, 2016.

CAO, Z. και WEI, B. (11 2013) '**A perspective: Carbon nanotube macro-films for energy storage**', *Energy and Environmental Science*. MDPI AG, 6, σσ. 3183–3201. doi: 10.1039/c3ee42261e.

CHEN, H. Y. κ.ά. (7 2014) '**A polyoxovanadate as an advanced electrode material for supercapacitors**', *ChemPhysChem*. Wiley-VCH Verlag, 15, σσ. 2162–2169. doi: 10.1002/cphc.201400091.

CHEN, T. και DAI, L. (7 2013) '**Carbon nanomaterials for high-performance supercapacitors**', *Materials Today*. MDPI AG, 16, σσ. 272–280. doi: 10.1016/j.mattod.2013.07.002.

CHENG, Q. κ.ά. (2 2014) '**Co(OH)₂ nanosheet-decorated graphene-CNT composite for supercapacitors of high energy density**', *Science and Technology of Advanced Materials*, 15. doi: 10.1088/1468-6996/15/1/014206.

COSTA, Leonardo M. OLIVERIA, Edson A. Q. **Análise da Importância da Energias Elétrica no Crescimento Econômico Brasileiro**. Artigo apresentado no VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, p. 837 – 839, São José dos Campos, 2000.

COSTA, Marcela S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

COURY, Denis V. MENEZES, Thiago S. CARVALHO, Wilhiam C. **Aplicação do Supercapacitor e Lógica Fuzzy para a Proteção do Elo CC e a Suavização de potência da Geração Eólica**. *Revista da Sociedade Brasileira de Automática*, Campinas, vol. 1, n°. 1, Novembro de 2020.

EJIGU, A., KINLOCH, I. A. και DRYFE, R. A. W. (1 2017) '**Single stage simultaneous electrochemical exfoliation and functionalization of graphene**', *ACS Applied Materials and Interfaces*. American Chemical Society, 9, σσ. 710–721. doi: 10.1021/acsami.6b12868.

FADIL, H. E. κ.ά. (9 2014) '**Modeling and nonlinear control of a fuel cell/supercapacitor hybrid energy storage system for electric vehicles**', *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., σσ. 3011–3018. doi: 10.1109/TVT.2014.2323181.

FANG, J. κ.ά. (2019) '**On the Inertia of Future More-Electronics Power Systems**', *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 7, σσ. 2130–2146. doi: 10.1109/JESTPE.2018.2877766.

FERNÁNDEZ-LLIMÓS, Fernando. AMANTE, Maria J. COSTA, Maria T. LOPES, Pedro F. LOPES, Sílvia. **A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas**. Associação Portuguesa de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas. Lisboa, 2012.

FERREIRA, André A. POMILIO, José A. **Estado da Arte sobre a Aplicação de Supercapacitores em Eletrônica de Potência**. *Revista da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP)*, Campinas, vol. 10, n°. 2, p. 25-32, novembro de 2005.

GESEL, [Lições do 'apagão' no Amapá](https://opinio.estado.com.br/noticias/notas-e-informacoes,licos-do-apagao-no-amapa,70003526922). Artigo disponível no [Informativo Eletrônico do Setor de Energia \(IFE\)](https://opinio.estado.com.br/noticias/notas-e-informacoes,licos-do-apagao-no-amapa,70003526922), elaborado pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro, dezembro, 2020, retirado do jornal *O Estado de São Paulo*. Disponível em: <https://opinio.estado.com.br/noticias/notas-e-informacoes,licos-do-apagao-no-amapa,70003526922>.

GOMES, João P. P. VIEIRA, Marcelo M.F. **O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002**. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, vol.43, n ° .2 Mar./Abr. 2009.

GONTIJO, José M. **Fabricação e caracterização de supercapacitores flexíveis com eletrodos compostos por multicamadas de grafeno e filmes finos de óxido metálico.** Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2018.

GUL, H. κ.ά. (1 2020) '**Study on direct synthesis of energy efficient multifunctional polyaniline–graphene oxide nanocomposite and its application in aqueous symmetric supercapacitor devices**', *Nanomaterials*. MDPI AG, 10. doi: 10.3390/nano10010118.

HINÇA, Aleksander H. **Aplicação de supercapacitores no sistema de partida de veículos pesados.** Monografia (Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva - Departamento Acadêmico de Eletrônica) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

IOVINE, A. κ.ά. (12 2016) '**Nonlinear control of an AC-connected DC MicroGrid**', *σ. IEEE Computer Society*, σσ. 4193–4198. doi: 10.1109/IECON.2016.7793917.

IOVINE, A. κ.ά. (4 2017) '**Nonlinear Control of a DC MicroGrid for the Integration of Photovoltaic Panels**', *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 14, σσ. 524–535. doi: 10.1109/TASE.2017.2662742.

JASZCZUR, M. και HASSAN, Q. (12 2020a) '**An optimisation and sizing of photovoltaic system with supercapacitor for improving self-consumption**', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 279. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115776.

JASZCZUR, M. και HASSAN, Q. (12 2020b) '**An optimisation and sizing of photovoltaic system with supercapacitor for improving self-consumption**', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 279. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115776.

JIN, H. κ.ά. (8 2018) '**Recent Progress in Biomass-Derived Electrode Materials for High Volumetric Performance Supercapacitors**', *Advanced Energy Materials*. Wiley-VCH Verlag, 8. doi: 10.1002/aenm.201801007.

JOHANSSON, Patrik; ANDERSSON, Björn. **Comparison of Simulation Programs for Supercapacitor Modelling.** Dissertação (Mestre em Ciência – Engenharia Elétrica) Chalmers University Of Technology, Suécia, 2008.

KHALID, M. (11 2019) '**A review on the selected applications of battery-supercapacitor hybrid energy storage systems for microgrids**', *Energies*. MDPI AG, 12. doi: 10.3390/en12234559.

KHALID, M. (2019) '**A review on the selected applications of battery-supercapacitor hybrid energy storage systems for microgrids**', *Energies*. MDPI AG, 12. doi: 10.3390/en12234559.

KLEM, Maykel. S. **Estudo de supercapacitores orgânicos impressos em papel à base de PEDOT: PSS.** Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) - UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017.

KRISTL, M. κ.ά. (3 2017) '**Synthesis of nickel and cobalt sulfide nanoparticles using a low cost sonochemical method**', *Heliyon*. Elsevier Ltd, 3. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00273.

LAVALL, Rodrigo L. **Estrutura e Propriedades de Materiais Eletrólitos e Compósitos Poliméricos e sua Aplicação em Capacitores Eletroquímicos de Dupla Camada**. Tese (Doutor em Ciências - Química) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

LIM, Y. S. κ.ά. (6 2013) '**Preparation and characterization of polypyrrole/graphene nanocomposite films and their electrochemical performance**', Journal of Polymer Research. Kluwer Academic Publishers, 20. doi: 10.1007/s10965-013-0156-y.

MAO, X., HATTON, T. A. και RUTLEDGE, G. C. (2013) Send Orders of Reprints at reprints@benthamscience.net **A Review of Electrospun Carbon Fibers as Electrode Materials for Energy Storage**, σσ. 1390–1401.

MIÑAMBRES-Marcos, V. M. κ.ά. (8 2017) '**A grid connected photovoltaic inverter with battery-supercapacitor hybrid energy storage**', Sensors (Switzerland). MDPI AG. doi: 10.3390/s17081856.

MINIGUANO, H. κ.ά. (5 2019) '**A general parameter identification procedure used for the comparative study of supercapacitors models**', Energies. MDPI AG, 12. doi: 10.3390/en12091776.

MOHSENI, S., BRENT, A. C. και BURMESTER, D. (2 2020) '**A comparison of metaheuristics for the optimal capacity planning of an isolated, battery-less, hydrogen-based micro-grid**', Applied Energy. Elsevier Ltd, 259. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114224.

PADMANABAN, S. κ.ά. (2019) '**A Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell for Grid Integration with Jaya-Based Maximum Power Point Tracking: Experimental Performance Evaluation**', IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 7, σσ. 82978–82990. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2924264.

PAIVA, Marcus V. **Supercapacitores Como Opção no Controle de Tensão e Reaproveitamento de Energia Proveniente da Frenagem Regenerativa de Trens Metropolitanos**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Elétrica) Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.

PARK, S. και SALKUTI, S. R. (2019) '**Optimal energy management of railroad electrical systems with renewable energy and energy storage systems**', Sustainability (Switzerland). MDPI, 11. doi: 10.3390/su11226293.

PEREZ, F. κ.ά. (4 2018) '**DC microgrid voltage stability by dynamic feedback linearization**', στο. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., σσ. 129–134. doi: 10.1109/ICIT.2018.8352164.

REGO, Eduardo H. C. **Fornecimento de energia para bateria através de supercapacitores a partir de diferentes níveis de carga**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

ROMANOWSKI, Joana P. ENS, Romilda T. **As pesquisa Denominadas do Tipo “Estado da Arte” em Educação**. Diálogo Educacional, Curitiba, vol. 6, n ° .19, p.37-50, set./dez. 2006.

ŞAHİN, M. E. και BLAABJERG, F. (1 2020a) '**A hybrid PV-battery/supercapacitor system and a basic active power control proposal in MATLAB/simulink**', Electronics (Switzerland). MDPI AG. doi: 10.3390/electronics9010129.

ŞAHİN, M. E. και BLAABJERG, F. (1 2020b) '**A hybrid PV-battery/supercapacitor system and a basic active power control proposal in MATLAB/simulink**', Electronics (Switzerland). MDPI AG. doi: 10.3390/electronics9010129.

SALUNKHE, R. R. κ.ά. (10 2014) '**Nanoarchitected graphene-based supercapacitors for next-generation energy-storage applications**', Chemistry - A European Journal. Wiley-VCH Verlag, 20, σσ. 13838–13852. doi: 10.1002/chem.201403649.

SANTUCCI, A., SORNIOTTI, A. και LEKAKOU, C. (7 2014) '**Power split strategies for hybrid energy storage systems for vehicular applications**', Journal of Power Sources. Elsevier, 258, σσ. 395–407. doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.118.

SILVA, Thayse R. **Eletrodos à base NiO Para Armazenamento de Energia: Síntese, Microestrutura e Caracterização Eletroquímica**. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia. João Pessoa, 2019.

SUN, Y. κ.ά. (5 2019) '**Model predictive control and improved low-pass filtering strategies based on wind power fluctuation mitigation**', Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. Springer Heidelberg, 7, σσ. 512–524. doi: 10.1007/s40565-018-0474-5.

TRIGUEIRO, João P. C. **Desenvolvimento de supercapacitores de alto desempenho baseados em eletrodos nanoestruturados e eletrólitos de líquidos iônicos**. Tese (Doutor em Ciências - Química) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

WU, T. κ.ά. (11 2019) '**Coordinated control strategy of DC microgrid with hybrid energy storage system to smooth power output fluctuation**', International Journal of Low-Carbon Technologies. Oxford University Press, 15, σσ. 46–54. doi: 10.1093/ijlct/ctz056.

WU, T. κ.ά. (2 2019) '**A capacity configuration control strategy to alleviate power fluctuation of hybrid energy storage system based on improved particle swarm optimization**', Energies. MDPI AG, 12. doi: 10.3390/en12040642.

XU, G. κ.ά. (5 2017) '**Exploring metal organic frameworks for energy storage in batteries and supercapacitors**', Materials Today. Elsevier B.V., 20, σσ. 191–209. doi: 10.1016/j.mattod.2016.10.003.

YAMASHITA, T. κ.ά. (8 2019) '**Ultra-low-power energy harvester for microbial fuel cells and its application to environmental sensing and long-range wireless data transmission**', Journal of Power Sources. Elsevier B.V., 430, σσ. 1–11. doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.04.120.

YOO, H. D. κ.ά. (12 2014) '**On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion**', Materials Today. Elsevier B.V., 17, σσ. 110–121. doi: 10.1016/j.mattod.2014.02.014.

ZHANG, X. κ.ά. (12 2016) '**2D Materials Beyond Graphene for High-Performance Energy Storage Applications**', *Advanced Energy Materials*. Wiley-VCH Verlag, 6, σσ. 133–158. doi: 10.1002/aenm.201600671.



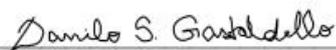
CARTA DE DISPENSA DE APRESENTAÇÃO AO CEP OU CEUA

À

COORDENADORIA DO PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNISAGRADO

Informo que não é necessária a submissão do projeto de pesquisa intitulado Análise Quantitativa e Qualitativa sobre Armazenadores de Energia: Supercapacitores, ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP) ou à Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) devido à não necessidade de trabalho com animais ou pessoas, pois se trata de uma pesquisa teórica e científica, com aspectos de levantamento de dados e discussão, diante do cenário atual de energias renováveis.

Atenciosamente,



Prof. Dr. Danilo Sinkiti Gastaldello

Bauru, 01/04/2021