



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**MAPEAMENTO DE GERADORES TERMOELÉTRICOS APLICADOS COMO  
FONTE DE ENERGIA EM CUBESATS  
ESTADO DA ARTE E PROPRIEDADE INTELECTUAL**

**GABRIEL BRUGUES SOARES**

Foz do Iguaçu  
2024



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**MAPEAMENTO DE GERADORES TERMOELÉTRICOS APLICADOS COMO  
FONTE DE ENERGIA EM CUBESATS  
ESTADO DA ARTE E PROPRIEDADE INTELECTUAL**

**GABRIEL BRUGUES SOARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Jorge Javier Gimenez Ledesma  
Coorientador: Oswaldo Hideo Ando Júnior

Foz do Iguaçu  
2024

GABRIEL BRUGUES SOARES

**MAPEAMENTO DE GERADORES TERMOELÉTRICOS APLICADOS COMO  
FONTE DE ENERGIA EM CUBESATS  
ESTADO DA ARTE E PROPRIEDADE INTELECTUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Jorge Javier Gimenez Ledesma  
UNILA

---

Coorientador: Oswaldo Hideo Ando Júnior  
UACSA – UFRPE

---

Prof. Dr. Joylan Nunes Maciel  
UNILA

---

Eng. Norah Nadia Sanchez Torres  
UACSA – UFRPE

---

Prof. Dr. João Manuel Lenz Vianna da Silva  
UNILA

Foz do Iguaçu, 31 de maio de 2024.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha família cujo amor, apoio e encorajamento foram essenciais ao longo de toda a minha jornada quanto ao meu desenvolvimento social e acadêmico.

À minha namorada, Maria Eduarda Camargo Rebolo, que me incentivou a cada momento de dúvida e acompanhou todas as vitórias e derrotas, e meu grupo de amigos, carinhosamente chamados de “*Energy Crew*”, por estarem ao meu lado durante toda a caminhada desde 2019, compartilhando risos, desafios e conquistas. Em especial, aos amigos João Gabriel de Souza Mesquita e Nicolas Kruger Echterhoff por me auxiliarem em diversos momentos de dúvida e apoiarem na trajetória acadêmica.

Ao corpo docente da UNILA, que além de transmitirem sua vasta sabedoria, sempre me guiarem na busca por conhecimento. Em especial, aos professores Jorge Javier Gimenez Ledesma e ao Oswaldo Hideo Ando Júnior, por me incentivarem a sempre ultrapassar meus limites e me orientar na trilha da sabedoria.

Por fim, gostaria de expressar minha profunda gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro e acadêmico que viabilizou a realização deste projeto.

Sem a contribuição e o incentivo de todos, este trabalho não teria sido possível.

*Se sentir que chegou ao seu limite,  
lembre-se do motivo pelo qual você cerra os punhos,  
lembre-se por que resolveu trilhar  
este caminho e permita que essa memória o  
carregue além de seus limites*  
***My Hero Academia***

## RESUMO

Esta revisão tem como objetivo realizar o mapeamento da aplicação de Geradores Termoelétricos (“*Thermoelectric Generators*”, TEGs) como fontes de energia em nanossatélites, com foco nos modelos *Cubesat*. Embora os satélites sejam amplamente utilizados para observações terrestres, os altos custos de lançamento e produção representam desafios significativos para novas missões. Em resposta a esses desafios, o desenvolvimento da eletrônica permitiu a criação de nanossatélites, como os *CubeSats*. Com foco no fornecimento de energia, há uma ampla utilização das células solares para alimentar seus sistemas, com eficiência variando entre 16,8% e 32,2%, dependendo da sua construção. No entanto, a principal desvantagem das células solares é a diminuição da potência específica gerada (W/kg) à medida que a distância do Sol aumenta. Uma alternativa ainda não explorada em profundidade é o uso de TEGs como fonte de energia para *Cubesats*. Já existem aplicações de TEGs em satélites, como nos Geradores Termoelétricos de Radioisótopo (Radioisotope Thermoelectric Generators - RTGs). Uma busca sistemática da literatura resultou em 33 artigos cientificamente relevantes, dos quais 21,2% utilizaram *softwares* de simulação, como o *ANSYS*, para avaliar o comportamento térmico dos *Cubesats*, considerando especificações de construção e disposição dos subsistemas. Das 34 patentes analisadas, apenas uma mencionava a aplicação de micro-TEGs, enquanto as demais focavam em modificações estruturais potencialmente aplicáveis a nanossatélites. Observou-se um pico na criação de patentes entre 2016 e 2020, com foco posterior na otimização estrutural e térmica dos *Cubesats*. Grande parte das patentes está classificada em Execução de Operações de Transporte, com ênfase em sistemas de energia e comunicação para aplicações espaciais, além de desenvolvimento estrutural de componentes eletrônicos e testes de sistemas fotovoltaicos. Não foram identificadas patentes específicas para TEGs como fonte de energia em *Cubesats*, destacando uma lacuna tanto industrial quanto acadêmica. Conclui-se, então, que a aplicação de TEGs pode proporcionar uma solução inovadora e eficiente para o aproveitamento do calor residual, merecendo maior atenção e investimentos. Recomenda-se que futuras pesquisas se concentrem em simulações numérico-computacionais para explorar as propriedades elétricas e térmicas dos TEGs aplicados a *CubeSats*, possibilitando avanços significativos na entrega de energia para a “*Electrical Power System*” (EPS).

**Palavras-Chave:** Proknow-C; Geradores Termoelétricos; TEGs; Fonte de energia; Mapeamento; Cubesats.

## ABSTRACT

This review aimed to present the roadmap of the application of Thermoelectric Generators (TEGs) as energy sources in nanosatellites, focusing on CubeSat models. Although satellites are widely used for Earth observations, the high costs of launching and production pose significant challenges for new missions. In response to these challenges, the development of electronics has enabled the creation of nanosatellites, such as CubeSats. With a focus on energy supply, there is extensive use of solar cells to power their systems, with efficiencies ranging from 16.8% to 32.2%, depending on their construction. However, the main disadvantage of solar cells is the decrease in specific power generated (W/kg) as the distance from the Sun increases. An alternative not yet explored in depth is the use of TEGs as an energy source for CubeSats. There are already applications of TEGs in satellites, such as in Radioisotope Thermoelectric Generators (RTGs). A systematic literature search resulted in 33 scientifically relevant articles, of which 21.2% used simulation *software*, such as ANSYS, to evaluate the thermal behavior of CubeSats, considering construction specifications and subsystem layout. Of the 34 patents analyzed, only one mentioned the application of micro-TEGs, while the others focused on structural modifications potentially applicable to nanosatellites. There was a peak in patent creation between 2016 and 2020, with a subsequent focus on structural and thermal optimization of CubeSats. Most of the patents are classified under the Execution of Transportation Operations, emphasizing energy and communication systems for space applications, as well as structural development of electronic components and photovoltaic system testing. No specific patents for TEGs as an energy source in CubeSats were identified, highlighting a gap both industrially and academically. It is concluded that the application of TEGs can provide an innovative and efficient solution for harnessing residual heat, deserving greater attention and investment. It is recommended that future research focuses on numerical-computational simulations to explore the electrical and thermal properties of TEGs applied to CubeSats, enabling significant advances in energy delivery to the Electrical Power System (EPS).

**Keywords:** Proknow-C; Thermoelectric Generators; TEGs; Energy Source; Roadmap; Cubesats.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura padronizada de um <i>Cubesat</i> . .....	15
Figura 2: Processo base para realização de uma revisão sistemática. ....	21
Figura 3: Processo da metodologia <i>ProKnow-C</i> . ....	22
Figura 4: Processo de filtragem inicial para alinhamento dos títulos com o tema proposto. ...	24
Figura 5: Processo de análise dos Repositórios K e P, resultando no Repositório C. ....	25
Figura 6: Distribuição do histórico anual referente à quantidade de publicação do PB.....	29
Figura 7: Distribuição da (a) quantidade de publicações por autor e (b) da quantidade de citações por autor.....	30
Figura 8: Relevância Científica dos artigos que compõe o PB e revistas publicadas. ....	31
Figura 9: Representação das 30 PCs mais utilizadas no PB.....	31
Figura 10: Fluxograma que representa a filtragem dos produtos e patentes. ....	41
Figura 11: Quantidade de patentes registradas por país. ....	47
Figura 12: Quantidade de patentes publicadas por ano. ....	48
Figura 13: Quantidade de citações por patente em função do ano de publicação. ....	49
Figura 14: Quantidade de patentes produzidas por inventor. ....	50
Figura 15: Quantidade de documentos por (a) instituições e (b) de acordo à classificação CPC. ....	52
Figura 16: Desenho (a) esquemático tridimensional e (b) estrutura das camadas da invenção. ....	53
Figura 17: Vista explodida do dispositivo MTG. ....	54
Figura 18: Desenho esquemático do dispositivo MJPV-NETT.....	55
Figura 19: Desenho esquemático do dispositivo termoelétrico composto por núcleos de nanotubos de carbono. ....	56
Figura 20: Quantidade de Artigos Científicos e Patentes ao longo dos anos. ....	59
Figura 21: Mapeamento das conexões existentes entre os inventores.....	60
Figura 22: Representação do (a) mapeamento por densidade e (b) relação entre o número de citações por autor com a densidade. ....	62
Figura 23: Relação das principais PCs dos artigos do PB.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Apresentação dos trinta e três artigos que compõe o Portfolio Bibliográfico (PB).	26
Quadro 2: Artigos de Revisão ordenados pelo número de citações. ....	32
Quadro 3: Artigos de Pesquisa ordenados pelo número de citações. ....	34
Quadro 4: Especificações e Condições de Contorno.....	38
Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes. ....	42
Quadro 6: Descrição da situação legal das patentes filtradas.....	50
Quadro 7: Mapeamento das principais características abordadas no tema. ....	57
Quadro 8: Relação entre as patentes e o grau de densidade. ....	60
Quadro 9: Relação entre os artigos científicos e o grau de densidade. ....	63
Quadro 10: Conclusões s sobre o tema de TEGs atuando como fonte de energia em <i>Cubesats</i> . .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados das pesquisas realizadas nas Bases de Dados (BD). .....	23
Tabela 2: Combinações de PCs para busca de patentes no <i>Google Patents</i> e <i>Patentscope</i> . ....	40
Tabela 3: Quantidade de patentes por situação jurídica. ....	49

## LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

BA	Banco de Autores
BAB	Banco de Artigos Brutos
BABP	Banco de Artigos Brutos Preliminar
BD	Bases de Dados
BDP	Base de Dados Preliminar
BP	Banco de Patentes
BPB	Banco de Patentes Bruto
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i>
CPC	<i>Cooperative Patent Classification</i>
EP	<i>European Patents Official</i>
EPO	<i>European Patent Office</i>
EPS	<i>Electrical Power System</i>
ESA	<i>The European Space Agency</i>
FEM	<i>Finite Element Method</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JCR	<i>Journal Citation Report</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MPV	<i>Multiple Junction Photovoltaic</i>
MTG	<i>Magneto-Thermoelectric Generator</i>
NASA	<i>The National Aeronautics and Space Administration</i>
NETT	<i>Nano-Engineered Thin-film Thermoelectric</i>
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PB	Portfólio Bibliográfico
PC	Palavras-Chaves
PCB	Placas de Circuito Impresso
PCien	Portfólio Científico
PI	Propriedade Intelectual
<i>ProKnow-C</i>	<i>Knowledge Development Process-Constructivist</i>
RP	Repositório de Patentes
RTG	<i>Radioisotope Thermoelectric Generator</i>

SD	<i>Science Direct</i>
SRJ	<i>SCImago Journal Rank</i>
TEC	<i>Thermoelectric Cooler</i>
TEG	<i>Thermoelectric Generator</i>
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>
WOS	<i>Web of Science</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA.....	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 REVISÃO SISTEMÁTICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 SELEÇÃO DO PORTFOLIO BIBLIOGRÁFICO .....	22
2.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	28
<b>2.2.1 Análise de Citações do PB .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2 Reconhecimento dos Autores .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.3 Relevância dos Artigos e Palavras-Chave .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.4 Análise do Portfólio Bibliográfico .....</b>	<b>32</b>
2.3 PROPRIEDADE INTELECTUAL .....	39
<b>2.3.1 Seleção do Repositório de Patentes.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.2 Análise do Repositório de Patentes.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.3 Patentes de maior relevância.....</b>	<b>53</b>
<b>3 ANÁLISE COMPARATIVA DO PORTFÓLIO CIENTÍFICO E DE PATENTES ....</b>	<b>58</b>
3.1 RELAÇÃO ENTRE O AVANÇO CIENTÍFICO E INDUSTRIAL .....	58
3.2 INTER-RELAÇÕES DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO E RESPOSITÓRIO DE PATENTES .....	59
3.3 ANÁLISE DAS PALAVRAS-CHAVE.....	63
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de satélites para observações terrestres tem representado grande parte do uso das tecnologias espaciais, visto que o primeiro satélite lançado para este propósito foi o satélite TIROS-M, modelo de espaçonave com um Sistema Operacional TIROS aprimorado (“*Improved TIROS Operational System*”) de segunda geração, em 1970. Além das aplicações meteorológicas, o emprego de satélites em sistemas de comunicação tem sido vital no cotidiano da população, possibilitando comunicações essenciais para áreas remotas do globo terrestre (EVANS et al., 2011; NASA, 1970; OECD, 2011).

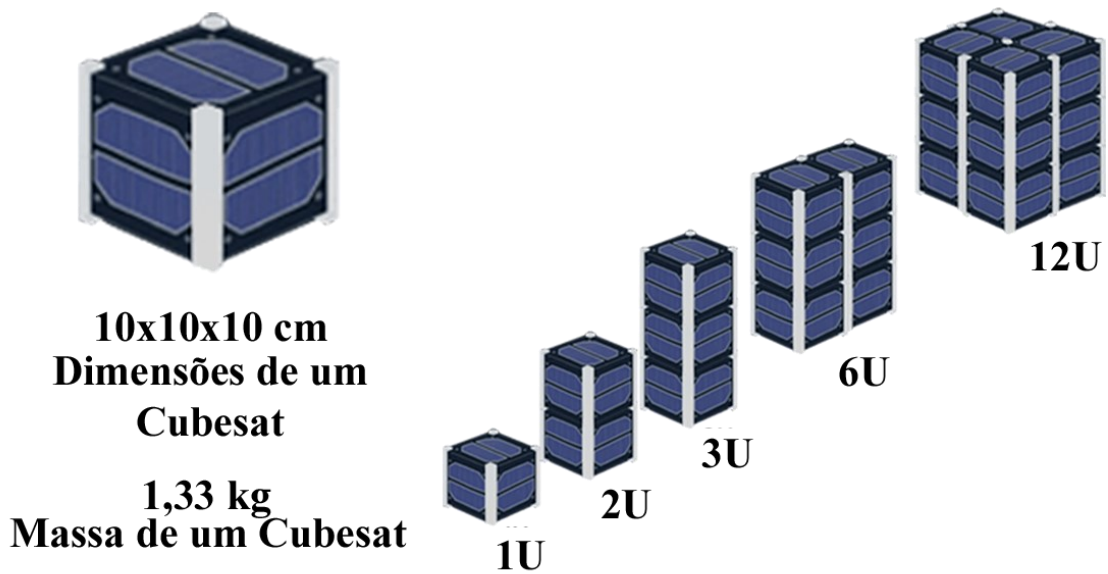
Apesar de sua ampla utilização até atualidade, a produção tradicional de satélites exige de uma quantia significativa de recursos dos quais apenas algumas agências governamentais possuem, tais como a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (“*The National Aeronautics and Space Administration*”, NASA) e a Agência Espacial Europeia (“*The European Space Agency*”, ESA) (POGHOSYAN; GOLKAR, 2017).

Logo, frente a necessidade em se reduzir tanto os custos de produção quanto de lançamento, aliada à diminuição do tamanho dos componentes de *hardware* por meio do desenvolvimento da Microeletrônica (“*Micro-Electronics*”) e Tecnologias de Microssistemas (“*Microsystems Technologies*”), houve um incentivo para estudos que possibilitem a redução da massa dos satélites, de forma a manter sua funcionalidade (DAVOLI et al., 2019). Como resultado, foram desenvolvidos os Satélites de Pequeno Porte (“*Smallsats*”), sendo uma ótima opção para missões de baixa órbita terrestre (“*Low Earth Orbit*”, LEO) mantendo-se um baixo custo de produção (WAYDO; HENRY; CAMPBELL, 2002).

Atualmente, o satélite de menor porte mais utilizado é o *Cubesat*, projetado pelos professores Jordi Puig-Suari (Universidade Politécnica Estadual da Califórnia) e Bob Twiggs (Universidade de Stanford) em 1999. Constitui-se de um cubo com dimensões 10 x 10 x 10 cm e possui, no máximo, 1,33 kg de peso, como ilustra a Figura 1. Uma das características mais atrativas deste modelo é permitir que sua construção seja integralmente composta por dispositivos comerciais (“*Commercial Off-The-Shelf*”, COTS), dos quais atendem da melhor forma às missões desejadas, ao mesmo tempo em que garantem o baixo custo de produção. Além disso, sua potência consumida é avaliada na ordem de alguns *Watts* (DAVOLI et al., 2019).

A proposta desenvolvida pelos professores foi estabelecer um padrão com relação ao tamanho, capacidade e massa para a categoria de nanossatélites, simplificando seu controle e permitindo a flexibilidade da carga útil com custos lançamento entre R\$255.000,00 e R\$1.020.000,00 (HEIDT et al., 2000; SELVA; KREJCI, 2012).

Figura 1: Estrutura padronizada de um *Cubesat*.



Fonte: (ALÉN SPACE, 2022), adaptado.

Em termos de economia, a relação custo por quilograma de carga útil tornou-se o critério principal para seu transporte e lançamento, visto que quanto maior for a quantidade de carga (em quilogramas) a ser lançada no espaço, maior será seu custo. Esta relação se mostrou uma vantagem frente aos satélites tradicionais, principalmente para missões de baixa órbita terrestre, no que diz respeito em construção e tempo de montagem (DE; ABEGAONKAR; BASU, 2022; SELVA; KREJCI, 2012).

Com foco na alimentação dos sistemas e subsistemas que compõem o *Cubesat*, é comum a utilização de células solares fotovoltaicas como principal fonte de energia, cuja eficiência varia entre 16,8% e 32,2%, dependendo de sua construção. Apesar de amplamente implementadas no meio espacial, essas células solares têm como principal desvantagem a potência específica gerada, medida em *Watts* por quilograma (W/kg). Essa potência diminui rapidamente conforme a relação  $1/R^2$ , sendo R a distância até o Sol (NASA, 2023; ROWE, 1991).

Outra possível solução, ainda não explorada, ao uso de células solares é o emprego de TEGs como fonte de energia para *Cubesats*. Sua aplicação em satélites já é observada diretamente com o Gerador Termoelétrico de Radioisótopo (“*Radioisotope Thermoelectric Generator*”, RTG) (ROWE, 1991). Logo, a realização de uma pesquisa sobre a utilização de TEGs como fonte de energia para *Cubesats* revela-se uma aplicação promissora para as missões espaciais em baixa órbita terrestre (“*Low Earth Orbit*”, LEO). Explorar essa alternativa pode

resultar em avanços significativos na viabilidade das missões espaciais com nanossatélites, ampliando as capacidades tecnológicas e científicas deste setor.

Neste contexto, uma busca preliminar apontou um total de 6 artigos científicos que estavam relacionados ao tema da pesquisa. Desse total, 3 deles realizaram simulações em *softwares* que utilizam do Método dos Elementos Finitos (“*Finite Element Method*”, FEM) para estudar o comportamento térmico em *Cubesats 1U*, com foco na investigação da temperatura de operação dos dispositivos internos.

Dentre os demais, 1 artigo teve como objetivo simular o uso de dispositivos termoelétricos atuando como reguladores de temperatura, denominados de Resfriadores Termoelétricos (“*Thermoelectric Coolers*”, TECs) para o *hardware* do *Cubesat 1U*. Por fim, 2 artigos realizaram estudos que visa a utilização de micro-TEGs e TEGs convencionais como fonte de energia para determinados sensores em *Cubesats*.

Neste contexto, o estudo proposto por (OSTRUFKA et al., 2019) avaliou o potencial de geração de energia de módulos TEG utilizando gradientes de temperatura de painéis solares. Para isso, realizou uma análise numérica para estimar variações no gradiente de temperatura em baixa órbita terrestre, e os dados resultantes foram usados em um banco de testes experimental para mapear a potência gerada em tempo real. Como conclusão, o experimento conseguiu reproduzir os gradientes de temperatura esperados, mas houve divergência nos dados quando o TEG atingiu temperaturas acima de 35 °C devido a uma limitação do próprio TEG.

De acordo com (MARIA, 2012) abordou a pesquisa, desenvolvimento e verificação de um modelo conceitual e um modelo analítico dos controles térmicos de um *Cubesat 3U*, cujo foco é o estudo de um Satélite Orbital para Investigar a Resposta da Ionosfera à Estimulação e Clima Espacial (“*Orbital Satellite for Investigation the Response of the Ionosphere to Stimulation and Space Weather*”, OSIRIS). A utilização do *COMSOL Multiphysics®* para realizar os modelos térmicos por FEM, juntamente com cálculos analíticos, foi essencial para determinar os limites de temperatura de pior caso que o *OSIRIS-3U* pode esperar durante sua missão. Além disso, foi realizada uma compreensão teórica para aplicação de diferentes tipos de TEGs voltados à captação da energia residual em *CubeSats*. Os resultados indicaram que dispositivos TEG de filme fino fornecem maior densidade de potência em comparação com TEGs tradicionais, mas devido ao baixo gradiente de temperatura esperado em um *CubeSat*, a eficiência desses dispositivos fica abaixo de 1%. Portanto, com restrições de massa e custo em *CubeSats*, a tecnologia TEG atual para uso nessa aplicação não parece viável.

Nessa perspectiva, (VON LUKOWICZ et al., 2015) apresentou um estudo que avalia o

potencial do uso de TEGs como fonte de energia para alimentar o Sistema de Assistência (“*Assistance System*”), do qual se baseia na garantia de comunicação com uma estação terrestre ou um satélite de serviço, entregando dados para manobras de espaçonaves inativas. Para isso, foi necessário realizar a análise das características elétricas dos TEGs sob condições espaciais para avaliar seu potencial frente à captação de energia residual em espaçonaves, uma vez que os TEGs comerciais foram desenvolvidos para uso na Terra. Como resultado, a análise demonstrou que o sistema proposto é viável, com a potência necessária sendo fornecida por TEGs que utilizam as cargas térmicas presentes dentro de um satélite.

Em paralelo, frente ao tema proposto da pesquisa, é extremamente importante compreender o balanço de energia térmico que ocorre em um *Cubesat*, visto que a distribuição de temperatura na face do equipamento influencia na geração de energia do TEG. Nesse contexto, (KHATER; JARRAR, 2022) se concentraram na criação de um modelo térmico preciso para o *CubeSat MYSat-1*, considerando os efeitos de diversas fontes térmicas em órbita. Foi desenvolvido um modelo detalhado utilizando o *software Ansys Workbench*® e comparando resultados com *CubesatWizard*®, outro *software* baseado em *MATLAB*®. Os resultados das simulações foram comparados com dados de manutenção, mostrando uma diferença aceitável de 0,45 °C na temperatura média do *Cubesat* entre os dados reais e os resultados do modelo. No entanto, em dias quentes, essa diferença foi mais significativa, alcançando 14 °C.

Um estudo realizado por (DINH, 2012) implicou na análise de simulações térmicas em um *Cubesat IU* de modo a garantir a operação dos dispositivos eletrônicos dentro dos limites de operação. Adicionalmente, desejou demonstrar que as simulações numéricas poderiam ser usadas para prever e otimizar a distribuição de temperatura do sistema espacial antes de sua construção. Para isso, foram utilizados dos *softwares Ansys Icepak* e *Thermal Desktop* em condições LEO. Como conclusão, não houve superaquecimento dos componentes nas condições da face quente terrestre, visto que eram dispositivos de baixa potência. No entanto, alerta que em futuros próximos é provável que a eletrônica continue a se desenvolver enquanto adiciona mais potência e funcionalidade aos dispositivos. Logo, enfatiza que o controle térmico será necessário para garantir a confiabilidade do sistema.

Ao final, (TRIBAK; BENDAOU; BEN NEJMA, 2022) abordou a simulação térmica de um *Cubesat IU* usando o *software COMSOL Multiphysics*®. Seu objetivo foi simular o impacto do ângulo de inclinação (ângulo beta) do *Cubesat* em relação à distribuição de temperatura do nanosatélite, sendo este que descreve a posição do equipamento em relação ao vetor solar. Para

investigar o efeito desse parâmetro, foi realizado um conjunto de simulações para diferentes ângulos beta. Com a execução das simulações, foi constatado que quanto maior for o ângulo beta, maior será a exposição do nanossatélite a um aquecimento prolongado pelo sol, implicando em períodos mais longos e tanto em radiação solar direta quando a radiação de Albedo.

A realização desta busca inicial tem como objetivo estruturar uma das etapas preliminares do processo, focando na captação das principais palavras-chave (PC) e seu alinhamento ao tema. Esse procedimento é essencial para compor o processo de revisão sistemática, resultando na seleção do Portfólio Bibliográfico (PB) e do Repositório de Patentes (RP). A partir desses bancos de documentos, é conduzida a análise bibliométrica dos documentos e, por fim, a análise de resultados.

Portanto, conforme foram descritos os avanços e desafios, as células solares, embora amplamente utilizadas, apresentam limitações em termos de potência específica. Como alternativa, a utilização de TEGs como uma fonte primária de energia para *Cubesats* serve como base de evolução tecnológica, dada sua capacidade de fornecer energia em relação à carga útil de nanossatélites, potencializando suas aplicações em missões espaciais de baixa órbita terrestre.

## 1.1 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente pesquisa tem como objetivo identificar a utilização de TEGs como fonte de energia para a “*Electrical Power System*” (EPS) de um *Cubesat IU* operando em LEO, de modo a mapear sua aplicação frente às tecnologias já existentes.

Para que seja possível alcançar o objetivo deste estudo, são estabelecidos os objetivos específicos: (i) realizar a pesquisa do estado-da-arte aplicando um método de revisão sistemática e identificar a literatura científica e Propriedade Intelectual (PI) existente sobre fontes de alimentação da EPS; (ii) realizar a análise bibliométrica do Portfólio Bibliográfico (PB) e do Repositório de Patentes (RP); e (iii) corroborar as informações obtidas da análise bibliométrica com a utilização do *software Vosviewer*, visando identificar as possíveis conexões entre os documentos do PB e RP.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

A pesquisa inicial apresentada na seção introdutória evidencia a escassez de estudos sobre a aplicação de TEGs em nanossatélites, apesar de sua ampla utilização em ambientes

industriais e automobilísticos terrestres, conforme demonstrado pelos artigos de revisão encontrados. Essa lacuna representa uma oportunidade inovadora e pouco explorada no campo das missões espaciais em órbitas LEO, destacando a aplicabilidade dos TEGs como fonte de energia para *Cubesats*. Além disso, a motivação para a realização desta pesquisa surgiu de uma iniciação científica na área, que necessitava de informações cruciais para o seu desenvolvimento, especialmente em relação às condições de contorno dos *Cubesats* no espaço. Assim, os resultados desta pesquisa contribuem significativamente para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados à área.

Com a utilização do método *ProKnow-C* para aprofundar a fundamentação teórica e expandir a pesquisa por documentos pertinentes, verificou-se que a única menção ao uso de TEGs como fonte de alimentação em satélites foi o Gerador Termoelétrico de Radioisótopo (“*Radioisotope Thermoelectric Generator*”, RTG). Adicionalmente, a busca por patentes relacionadas ao tema identificou apenas uma aplicação direta de TEGs como fonte de energia para subsistemas específicos, sem considerar uma possível otimização de sua geometria em função da face do *Cubesat*, o que poderia aumentar a relação W/kg da carga útil do nanossatélite.

Desta forma, a contribuição científica desta pesquisa visa preencher a lacuna na implementação de TEGs como fonte de energia para *Cubesats*, investigando e analisando as principais tendências acadêmicas e industriais no setor aeroespacial. Embora essa tecnologia seja amplamente utilizada nos setores industrial e automobilístico, sua exploração em aplicações espaciais, especialmente em nanossatélites, é limitada.

Os estudos mais relevantes destacam o uso de dispositivos termoelétricos como reguladores de temperatura dos componentes internos dos *Cubesats*, além de abordarem a estrutura, desenvolvimento, análise térmica, controle e otimização dos sistemas desses nanossatélites. Logo, esta pesquisa busca inovar no setor aeroespacial, tanto acadêmico quanto industrial, ao otimizar o uso de TEGs como fonte de energia em *Cubesats*, melhorando a relação W/kg e potencializando suas futuras aplicações.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa se inicia com uma introdução na Seção 1, que contextualiza o tema abordado e define seu objetivo geral e objetivos e específicos. Além disso, apresenta quais devem ser resultados esperados ao final da pesquisa e sua contribuição científica para o meio acadêmico.

Na sequência, a Seção 2 descreve os procedimentos adotados para realização da revisão

bibliográfica, incluindo tanto a seleção do PB utilizando-se do método *ProKnow-C*, quanto a busca pela PI, obtendo-se seu RP. Com base nesses documentos, é realizada a análise bibliométrica para identificar a relevância das informações obtidas de cada base de documentos, adotando-se uma série de critérios estipulados pela metodologia adotada. As análises quanto a quantidade de publicações por ano, autores e inventores mais citados e artigos e patentes de maior relevância são apresentadas nesta seção.

Posteriormente, na Seção 3, é conduzida uma análise comparativa entre o Portfólio Científico (PCien) e a PI utilizando o *software Vosviewer*. O objetivo é verificar a relação existente entre a Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) no meio acadêmico e as patentes no setor industrial. Esse estudo é fundamentado na premissa de que o surgimento de patentes pode ser impulsionado pelo desenvolvimento de pesquisas, culminando na transformação dessas inovações em produtos.

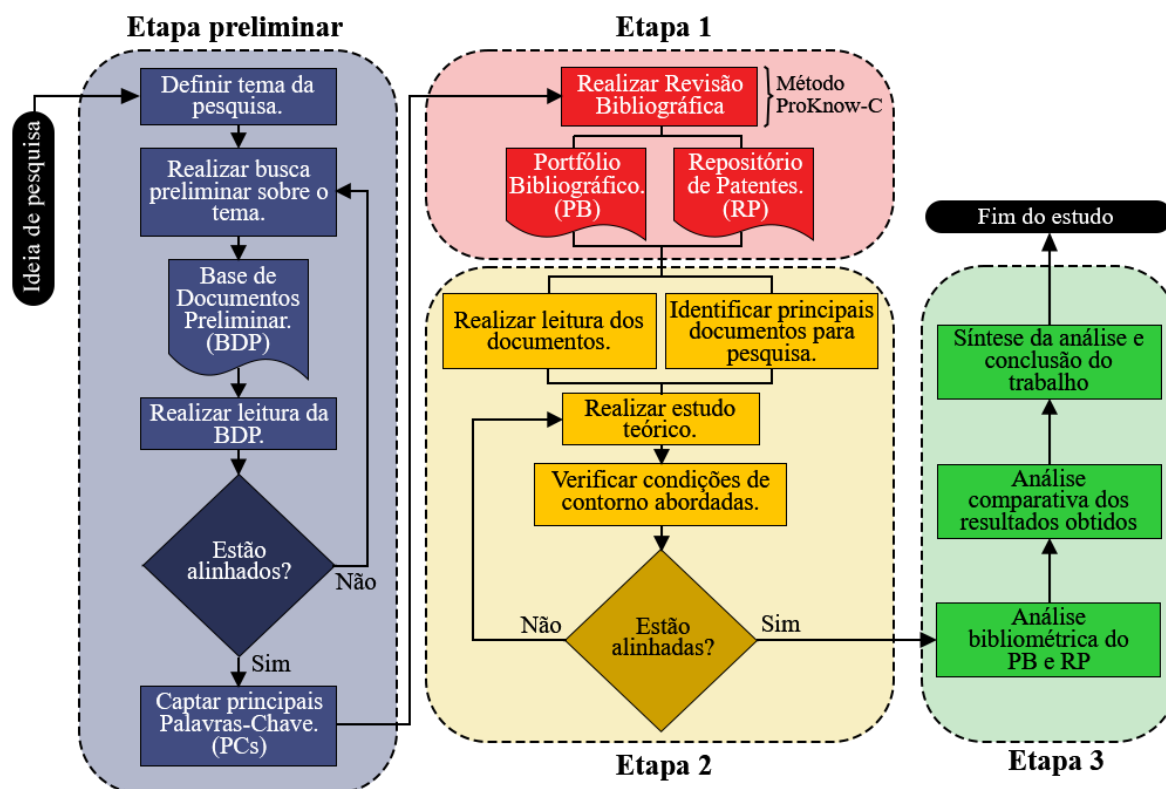
Em seguida, a Seção 4 tem como objetivo discutir a análise estabelecida em seções anteriores e apresentar os principais pontos identificados durante a execução e obtenção de resultados. Esses pontos são essenciais para o desenvolvimento das considerações finais, destacando a contribuição e relevância científica que esta pesquisa almejou alcançar ao longo de seu desenvolvimento e apresentar algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO SISTEMÁTICA

Segundo (DORSA, 2020), a revisão de literatura visa estabelecer uma linha de raciocínio que tem a finalidade de auxiliar os pesquisadores na determinação de hipóteses sobre o tema. Além disso, destaque-se que a revisão bibliográfica tem como principal objetivo responder o seguinte questionamento: o que foi desenvolvido por outros pesquisadores sobre este tema?

Neste contexto, o processo de uma revisão sistemática é ilustrado pelo fluxograma da Figura 2. Sua organização se estrutura numa busca preliminar de arquivos relacionados ao tema que será investigado. Estes documentos irão compor uma Base de Dados Preliminar (BDP), na qual deverá ser estudada para garantir seu alinhamento com o tema. Na sequência, devem ser retiradas as Palavras-Chave (PC) de maior relevância ao tema e combinadas entre si, resultando nos principais termos que serão utilizados como referência para a criação do PB e RP. Ao final, é realizado um estudo geral dos documentos obtidos com intuito de garantir sua influência em relação às informações de maior pertinência para a investigação do tema proposto.

Figura 2: Processo base para realização de uma revisão sistemática.



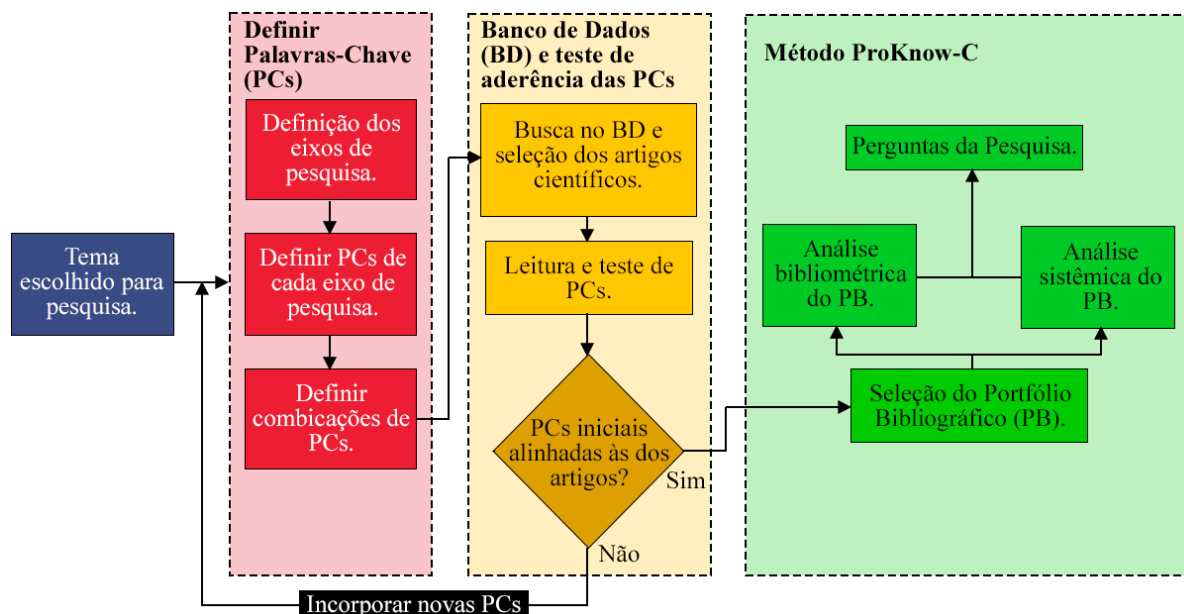
Fonte: Autoria própria.

Nesta pesquisa, a revisão científica literária que aborda o aproveitamento do calor residual para geração de energia a partir de TEGs como fonte de alimentação para a EPS de um *Cubesat*, foi realizada utilizando-se do método de revisão *ProKnow-C*, “*Knowledge Development Process-Constructivist*”.

De acordo com (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012) e (ENSSLIN et al., 2010), a utilização desta metodologia como ferramenta principal para estruturar o PB visa garantir sua sustentação metodológica, a partir do tema de interesse, observando as delimitações e restrições que os artigos que compõe este portfólio possuem, estabelecendo sua relevância científica e alinhamento ao tema da pesquisa a partir dos eixos compostos por combinações de PCs.

Os artigos selecionados são submetidos à uma validação das PCs através de uma verificação das que estão presentes nos artigos e, sequencialmente, encaminhados para a análise bibliométrica e sistêmica, dos quais estruturam a etapa primordial do *ProKnow-C* composta pelas etapas: Seleção do PB; Análise bibliométrica do PB; Análise sistêmica do PB; e Pergunta de pesquisa, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3: Processo da metodologia *ProKnow-C*.



Fonte: (ENSSLIN et al., 2010) adaptado.

## 2.1 SELEÇÃO DO PORTFOLIO BIBLIOGRÁFICO

Como etapa inicial da execução do *ProKnow-C*, a seleção do PB é realizada através da busca por materiais científicos de forma sistematizada e, principalmente, em bases de dados

confiáveis (SIQUEIRA DE SOUZA et al., 2021). Para a presente pesquisa, foram adotadas como fonte de dados a base “*Web of Science*” (WOS), a qual origina o “*Journal Citation Report*” (JCR) e determina o fator de impacto de seus periódicos, a base “*Scopus*”, que possui como fator de impacto o “*SCImago Journal Rank*” (SRJ), e a base da “*Science Direct*” (SD).

Após escolhidas as Bases de Dados (BD), são definidos os Eixos e as PCs que serão utilizadas para realizar as consultas em ambas as bases. Com o intuito de apresentar de forma clara e completa a os procedimentos do *ProKnow-C*, a seleção do PB foi organizado em quatro Eixos dentro do tema proposto: Eixo 1: Temperatura Interna e Externa e Estrutura de um nanossatélite; Eixo 2: Fontes de alimentação e EPS de um nanossatélite; Eixo 3: Conceitos de TEGs e sua aplicação no espaço; e Eixo 4: Análise térmica em nanossatélites.

A combinação das PCs de cada Eixo é efetuada utilizando-se de expressões lógicas “*and*” e “*or*”. Além disso, como a área da pesquisa deste trabalho é focada em condições espaciais e nos sistemas eletrônicos de um nanossatélite, aplica-se o filtro de categorias disponível em ambas BD, como: Engenharia Aeroespacial, Engenharia Elétrica/Eletrônica, Engenharia Mecânica e Termodinâmica para a WOS; e Engenharia para a “*Scopus*” e SD.

Os resultados de cada consulta são exibidos na Tabela 1, sendo uma delimitação de espaço-tempo em um período de 24 anos. Tal marco temporal foi definido em função ao avanço das pesquisas que ocorreram a partir do ano 2000 (EVANS et al., 2011).

Tabela 1: Resultados das pesquisas realizadas nas Bases de Dados (BD).

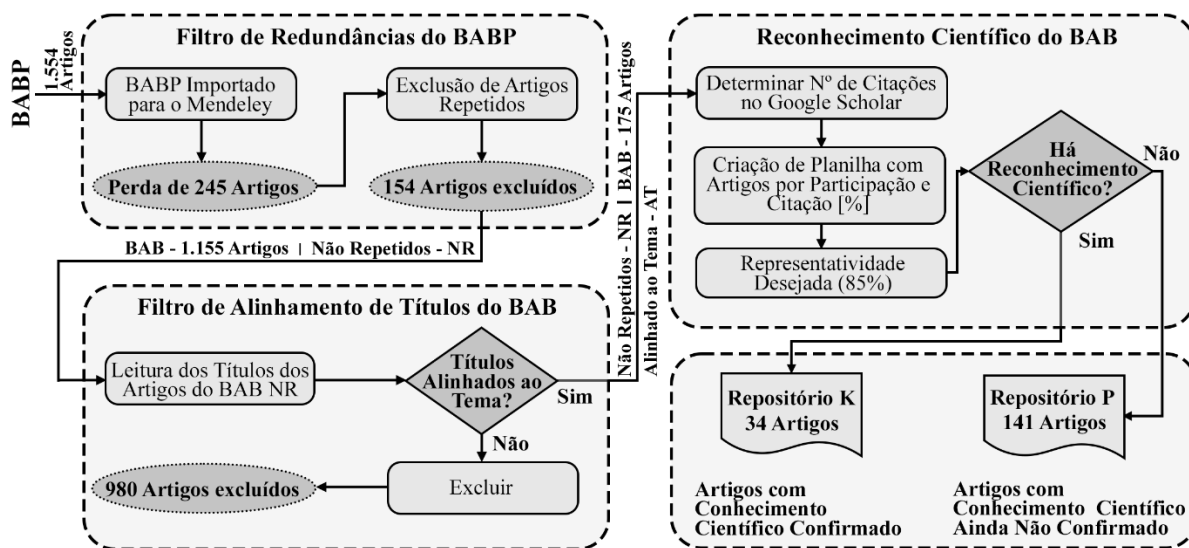
Base de dados	WOS	Scopus	SD
<b>Eixo 1</b>			
(Cubesat or Nanosatellite) and (Desing or Structure)	312	157	10
(Temperature or Thermal) and (Internal or External) and (Nanosatellite or Cubesat).	27	8	80
("Finite Element analysis") and ("Thermoelectric Devices" or "Thermoelectric Generators" or “TEG”) and (Cubesat)	1	0	0
<b>Eixo 2</b>			
("Power Supply" or "Source") and (Nanosatellite).	188	156	90
<b>Eixo 3</b>			
("Thermoelectric Generators" or "Thermoelectric Generator" or "TEG") and (Principles).	109	27	235
("Thermoelectric Generators" or "Thermoelectric Generator" or "TEG") and ("Space Applications").	26	25	50
<b>Eixo 4</b>			
(Cubesat or Nanosatellite) and ("Thermal design" or "Thermal Modeling")	17	21	15
<b>Banco de Artigos Brutos Preliminar (BABP)</b>		<b>1.554</b>	

Fonte: Autoria própria.

O Banco de Artigos Brutos Preliminar (BABP), contendo inicialmente 1.554 documentos, é importado na ferramenta de gestão bibliográfica *Mendeley* (ELSEVIER, 2024). Após a inserção de todas as BDs no *software*, verifica-se se todos os arquivos do processo de exportação foram armazenados. Esta etapa é necessária devido à ocorrência de alguns títulos acabarem não sendo exportados por não estarem disponíveis no formato desejado (CLARIVATE, 2024). Para contornar esse problema, pode-se realizar a busca manual dos artigos nas BDs. Porém, este processo não foi realizado nesta etapa.

Como resultado, o Banco de Artigos Brutos (BAB) conterá 1.309 títulos, representando uma perda de 15,76%. Na sequência, são executadas ações de filtragem dos artigos para verificar se há alinhamento com o tema proposto para obtenção dos Repositório K e P, descritas pelo fluxograma da Figura 4 (JUNIOR; LEDESMA; MACIEL, 2021). Ao final, são obtidos 175 artigos cujo número de citações foi verificado pelo site *Google Acadêmico* no dia 23/01/2024.

Figura 4: Processo de filtragem inicial para alinhamento dos títulos com o tema proposto.



Fonte: Autoria própria.

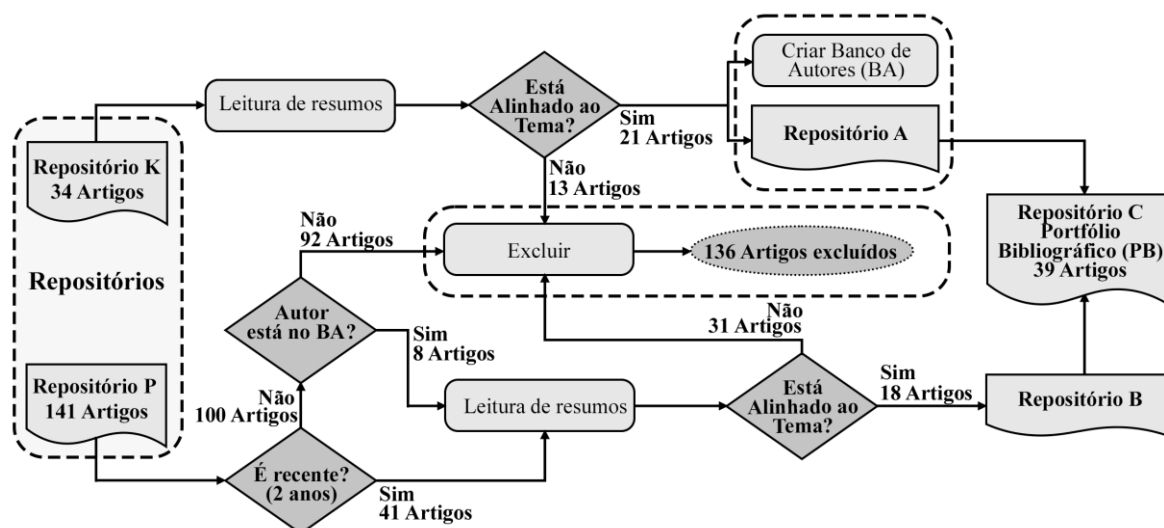
A organização destes artigos é definida de maneira que as citações estejam em ordem decrescente. Além disso, o critério de representatividade científica mínima adotado segue o Princípio de Pareto, que afirma que, em grande parte dos fenômenos, 80% dos resultados ou consequências são produzidas por 20% de suas causas (DUNFORD; SU; TAMANG, 2014). Neste trabalho, a representatividade adotada foi de 85%.

Por meio da elaboração de algoritmos em Python e do critério citado, o Repositório K

foi composto por 34 artigos com valor de corte 49, apresentando confiabilidade científica comprovada. Esses artigos representam 85% do total de citações, sendo citados 49 ou mais vezes. Por sua vez, o Repositório P foi constituído por 141 artigos de menor relevância acadêmica e sem confiabilidade científica comprovada, divididos entre 104 periódicos com 1 a 48 citações e 37 sem citações. Devido à quantidade de artigos presentes em ambos os repositórios, os procedimentos estabelecidos por (ENSSLIN et al., 2010) foram automatizados utilizando algoritmos em *Python*. Essas etapas incluem verificação do alinhamento temático dos artigos, criação do Banco de Autores (BA) e sua validação com artigos do Repositório P. A Figura 5 ilustra um fluxograma dos procedimentos executados, apresentando também os quantitativos das atividades finais para a composição do Repositório C.

Ao final, foi criado o Repositório C, sendo este a junção dos Repositórios A e B, contendo 39 artigos que constituíram o PB final por garantirem relevância acadêmica verificada e atrelados ao tema pesquisado. Cada artigo deste portfólio é verificado quanto à sua disponibilidade pelo portal CAPES ou acesso livre pela internet. Com isso, 6 artigos foram excluídos, totalizando 33 artigos no PB. Após esses procedimentos de análise, a seleção deste PB representa 2,12% dos 1.554 artigos iniciais.

Figura 5: Processo de análise dos Repositórios K e P, resultando no Repositório C.



Fonte: Autoria própria.

Os 33 artigos ordenados de forma decrescente em relação ao número de citações estão listados no Quadro 1.

Quadro 1: Apresentação dos trinta e três artigos que compõe o Portfólio Bibliográfico (PB).

Referência	Artigo do PB	Citações
(CHAMPIER, 2017)	Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. <i>Energy Conversion and Management</i> , 140, 167–181.	1185
(HE et al., 2015)	He, W., Zhang, G., Zhang, X., Ji, J., Li, G., & Zhao, X. (2015). Recent development and application of thermoelectric generator and cooler. <i>Applied Energy</i> , 143, 1–25.	762
(POGHOSYAN; GOLKAR, 2017)	Poghosyan, A., & Golkar, A. (2017). CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. <i>Progress in Aerospace Sciences</i> , 88, 59–83.	534
(BOUWMEESTER; GUO, 2010)	Bouwmeester, J., & Guo, J. (2010). Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions, and subsystem technology. <i>Acta Astronautica</i> , 67, 854–862.	493
(O'BRIEN et al., 2008)	O'Brien, R. C., Ambrosi, R. M., Bannister, N. P., D., H. V. H. S., & Atkinson. (1 2008). Safe radioisotope thermoelectric generators and heat sources for space applications. <i>JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS</i> , 377, 506–521.	260
(NOZARIASBMARZ et al., 2020)	Nozariasbmarz, A., Collins, H., Dsouza, K., Polash, M. H., Hosseini, M., Hyland, M., ... Vashaee, D. (2020). Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems. <i>Applied Energy</i> , 258, 114069.	245
(YAN et al., 2018)	Yan, J., Liao, X., Yan, D., & Chen, Y. (1 2018). Review of Micro Thermoelectric Generator. <i>JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS</i> , 27, 1–18.	219
(JOUHARA et al., 2021)	Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Khordehgah, N., Doraghi, Q., Ahmad, L., Norman, L., ... Dai, S. (2021). Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications. <i>International Journal of Thermofluids</i> , 9, 100063.	201
(TOHIDI; HOLAGH; CHITSAZ, 2022)	Tohidi, F., Holagh, S. G., & Chitsaz, A. (2022). Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications. <i>Applied Thermal Engineering</i> , 201, 117793.	151
(SHITTU et al., 2020)	Shittu, S., Li, G., Zhao, X., & Ma, X. (2020). Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement. <i>Applied Energy</i> , 268, 115075.	145
(STRAUB et al., 2013)	Straub, J., Korvald, C., Nervold, A., Mohammad, A., Root, N., Long, N., & Torgerson, D. (2013). OpenOrbiter: A low-cost, educational prototype CubeSat mission architecture. <i>Machines</i> , 1.	109
(ZHANG; WANG; YAN, 2021)	Zhang, Z., Wang, X., & Yan, Y. (2021). A review of the state-of-the-art in electronic cooling. <i>E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy</i> , 1, 100009.	102
(DAVOLI et al., 2019)	Davoli, F., Kourogiorgas, C., Marchese, M., Panagopoulos, A., & Patrone, F. (1 2019). Small satellites and CubeSats: Survey of structures, architectures, and protocols. <i>INTERNATIONAL JOURNAL OF SATELLITE COMMUNICATIONS AND NETWORKING</i> , 37, 343–359. doi:10.1002/sat.1277	101
(CORPINO et al., 2015)	Corpino, S., Caldera, M., Nichele, F., Masoero, M., & Viola, N. (2015). Thermal design and analysis of a nanosatellite in low earth orbit. <i>Acta Astronautica</i> , 115, 247–261.	96
(WAYDO; HENRY; CAMPBELL, 2002)	Waydo, S., Henry, D., & Campbell, M. (2002). CubeSat design for LEO-based Earth science missions. 435–445. <i>IEEE</i> .	95
(LUO et al., 2020)	Luo, D., Wang, R., Yu, W., & Zhou, W. (2020). Parametric study of a thermoelectric module used for both power generation and cooling. <i>Renewable Energy</i> , 154, 542–552.	85
(ESCOBAR; DIAZ; ZAGAL, 2016)	Escobar, E., Diaz, M., & Zagal, J. C. (1 2016). Evolutionary design of a satellite thermal control system: Real experiments for a CubeSat mission. <i>APPLIED THERMAL ENGINEERING</i> , 105, 490–500.	66
(TZENG; JENG; LIN,	Tzeng, S.-C., Jeng, T.-M., & Lin, Y.-L. (2014). Parametric study of	59

Quadro 1: Apresentação dos trinta e três artigos que compõe o Portfólio Bibliográfico (PB).

Referência	Artigo do PB	Citações
2014)	heat-transfer design on the thermoelectric generator system. <i>International Communications in Heat and Mass Transfer</i> , 52, 97–105.	
(KNAP; VESTERGAARD; STROE, 2020)	Knap, V., Vestergaard, L. K., & Stroe, D.-I. (2020). A review of battery technology in cubesats and small satellite solutions. <i>Energies</i> , 13.	56
(KANG; OH, 2016)	Kang, S.-J., & Oh, H.-U. (2016). On-Orbit Thermal Design and Validation of 1 U Standardized CubeSat of STEP Cube Lab. <i>INTERNATIONAL JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING</i> , 2016.	55
(BULUT; SOZBIR, 2015)	Bulut, M., & Sozbir, N. (2015). Analytical investigation of a nanosatellite panel surface temperatures for different altitudes and panel combinations. <i>Applied Thermal Engineering</i> , 75, 1076–1083.	49
(OH; PARK, 2015)	Oh, H.-U., & Park, T. (1 2015). Experimental Feasibility Study of Concentrating Photovoltaic Power System for CubeSat Applications. <i>IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS</i> , 51, 1942–1949.	29
(DE; ABEGAONKAR; BASU, 2022)	De, R., Abegaonkar, M. P., & Basu, A. (2022). Enabling Science with CubeSats - Trends and Prospects. <i>IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems</i> , 3, 221–231.	8
(CANDOLFI et al., 2023)	Candolfi, C., Oualid, S. E., Lenoir, B., & Caillat, T. (1 2023). Progress and perspectives in thermoelectric generators for waste-heat recovery and space applications. <i>JOURNAL OF APPLIED PHYSICS</i> , 134. doi:10.1063/5.0166338	3
(CHACON; GUTIERREZ; ADANAQUE- INFANTE, 2022)	Chacon, S., Gutierrez, J., & Adanaque-Infante, L. (2022). Modelling cubesat Structure for Thermal Analysis.	1
(MORALES et al., 2022)	Morales, F. O., Bejarano, W., Rosales, D., Aguilera, F. Z., & Mejuto, J. (2022). Chassis Optimization of a 1U CubeSat made in a developing Country. 2022-September.	0
(JURKOWSKI et al., 2023)	Jurkowski, A., Paluch, R., Wójcik, M., & Klimanek, A. (2023). Thermal modelling of a small satellite data processing unit aided by sensitivity analysis and uncertainty quantification. <i>International Journal of Thermal Sciences</i> , 193, 108514.	0
(YU et al., 2021)	Yu, P., Zhang, C., Zhang, Z., Yang, Y., Niu, Y., Jiang, J., & Wang, C. (2021). Numerical Simulation of Thermoelectric Based Temperature Control system for CubeSat in Space.	0
(GOMEZ-JENKINS et al., 2023)	Gomez-Jenkins, M., Calvo-Alvarado, J., Chaves-Jimenez, A., Carvajal-Godinez, J., Martinez, E., Yeine, A. J. A., ... Ramirez-Molina, J. (2023). Project Irazú: Space and Ground Systems Engineering of a 1U CubeSat Store and Forward Mission for Environmental Monitoring. <i>TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES</i> , 66, 217–225.	0
(DALLAMUTA; PERONDI; DE OLIVEIRA, 2023)	Dallamuta, J., Perondi, L. F., & de Oliveira, M. E. R. (2023). Space missions in South America: Profile and evolutionary perspective of their development. <i>Acta Astronautica</i> , 206, 9–17.	0
(KHATER; JARRAR, 2022)	Khater, A., & Jarrar, F. (2022). Temperature Distribution of CubeSats Using Finite Element Method. 2022-September.	0
(ZHOU et al., 2023)	Zhou, Y., Zhang, X., Xu, C., & Yang, X. (2023). Thermal design and analysis of JZJ-5 CubeSat. 2472.	0
(HIPPE-MÉNDEZ et al., 2022)	Hipp-Méndez, J. R., Sánchez-Varela, V., Galindo-Rosales, R. J., & Zorto-Aguilera, F. J. (2022). Morazán MRZ-SAT CubeSat: Thermal Modelling and Analysis Guide for Academic CubeSat Missions.	0

Quadro 1: Apresentação dos trinta e três artigos que compõe o Portfolio Bibliográfico (PB).

Referência	Artigo do PB	Citações
	Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, Vol. 2022-September.	

Fonte: Autoria própria.

Dentre os 33 artigos que compõe o PB, 7 (21,21%) deles são artigos de conferência, os quais tem seu foco de estudo a estrutura, projetos e missões de nanossatélites. Já 18 (54,54%) desses visam apresentar tanto o desenvolvimento histórico e científico de nanossatélites e seus sistemas de energia, como a “*Electrical Power System*” (EPS), quanto sua modelagem numérica-computacional focada em análises térmicas em altitudes LEO, que abrange o intervalo de 400 a 1.500 km da Terra. Por fim, 8 (24,24%) apresentam conceitos e aplicabilidade de TEGs em situações terrestres.

## 2.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

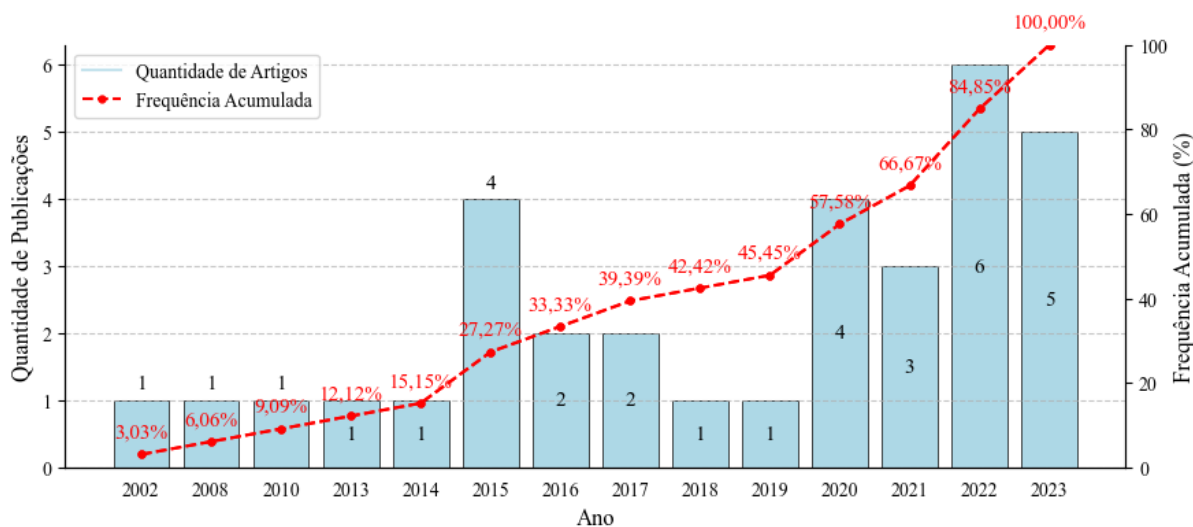
A Análise Bibliométrica do PB auxilia tanto no desenvolvimento do referencial teórico sobre o tema, quanto na contabilização das variáveis de reconhecimento científico dos artigos, autores, periódicos e PCs (ENSSLIN et al., 2010; LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). Logo, a partir dos dados fornecidos pelas BD, são avaliadas algumas combinações entre as informações que compõe cada artigo, como: número de citações; autor de cada publicação, ano da publicação, revista publicada, entre outras.

### 2.2.1 Análise de Citações do PB

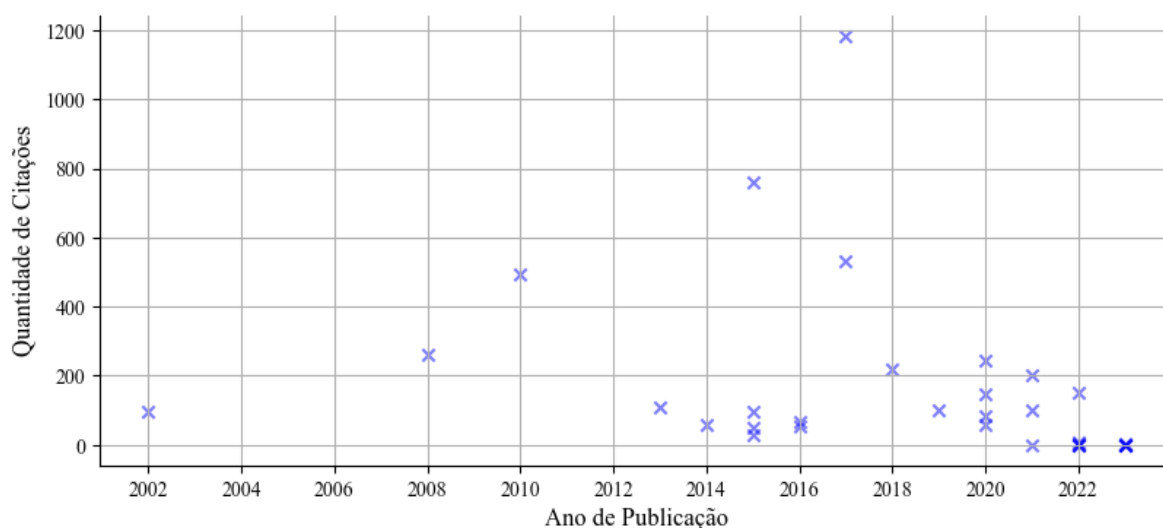
A análise inicial dos 33 artigos que compõe o PB é estruturada quanto ao ano de publicação e relevância acadêmica no período estipulado. A Figura 6 (a) ilustra a distribuição histórica da quantidade de publicações anuais em conjunto com sua frequência acumulada.

A partir de sua análise, é constado uma concentração de mais da metade das publicações entre os anos de 2020 e 2023. Isto é confirmado a partir do gráfico apresentado pela Figura 6 (b), a qual apresenta a quantidade de citações anuais que o PB contém e demonstra o aumento na densidade de publicações recentes. Portanto, é possível afirmar que o tema proposto nesta pesquisa está em ascensão nos últimos anos.

Figura 6: Distribuição do histórico anual referente à quantidade de publicação do PB.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria.

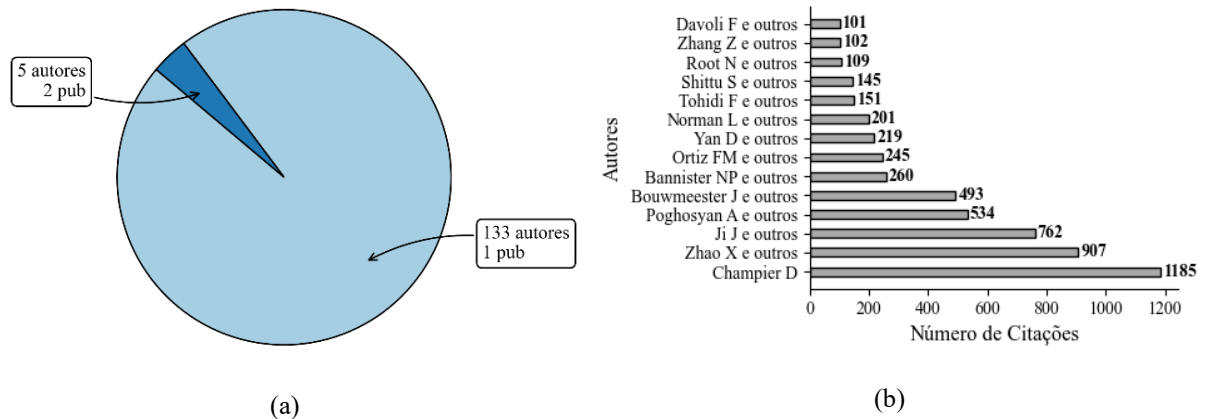
## 2.2.2 Reconhecimento dos Autores

Outra análise importante para determinação da relevância acadêmica do PB, além da publicação de artigos anualmente, é o reconhecimento dos autores relacionados ao tema proposto. Neste caso, são identificados 138 autores em sua totalidade. Apesar da quantidade, verifica-se que 133 autores (96,38%) estão presentes em somente uma única publicação, enquanto apenas 5 (3,62%) possuem duas publicações. Esta distribuição do número de autores por artigos é ilustrada na Figura 7 (a), o que evidencia que, mesmo com a quantidade de artigos

produzidos entre os anos de 2020 e 2023, ainda não há muitas ramificações do tema proposto.

Além disso, considerando que o PB engloba tanto artigos que visam o estudo de TEGs em condições terrestres quanto em nanossatélites, a Figura 7 (b) exhibe a relação dos autores mais relevantes ao tema de pesquisa do PB com 100 ou mais citações.

Figura 7: Distribuição da (a) quantidade de publicações por autor e (b) da quantidade de citações por autor.



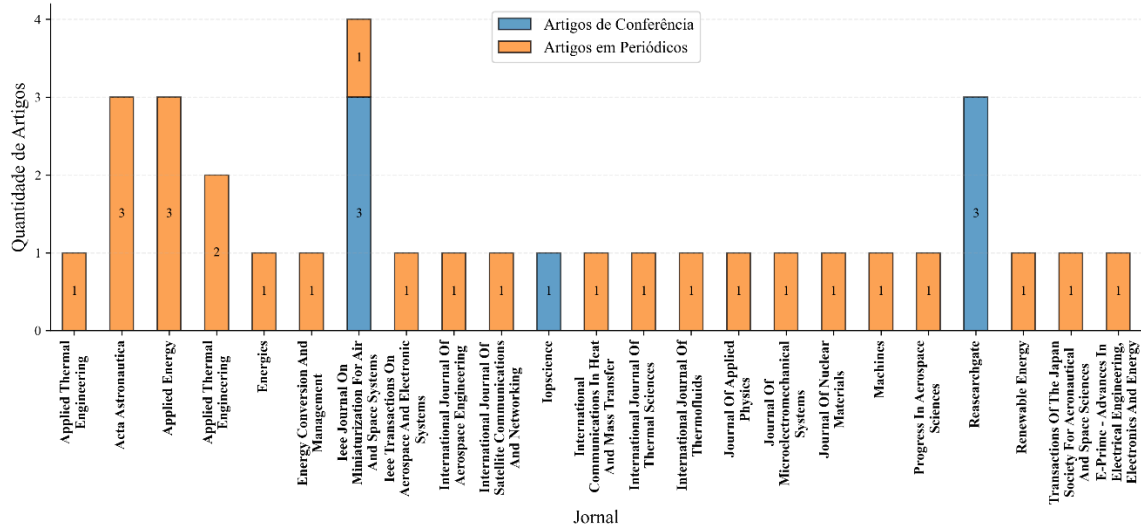
Fonte: Autoria própria.

### 2.2.3 Relevância dos Artigos e Palavras-Chave

A relevância dos artigos quanto ao meio de publicação e a forma como são apresentados ao meio acadêmico, seja por meio de Periódicos ou por Conferências, visa alinhar tanto os artigos que compõe o PB de acordo ao jornal em que foram publicados quanto apresentar sua frequência de publicação.

Assim, com um total de 33 artigos, são identificados que 7 (21,21%) destes são artigos apresentados em Conferências em revistas como *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, *Research Gate* e *IOPScience*. Já 26 (78,78%) representam a quantidade de Periódicos publicados em diversas revistas, sendo a *Acta Astronomica*, a *Applied Energy* e a *IEEE Journal on Miniaturezation For Air And Space Systems* as que mais publicaram sobre o tema proposto, com cada uma representando 11,54% do total de artigos. Os resultados descritos são ilustrados pela Figura 8.

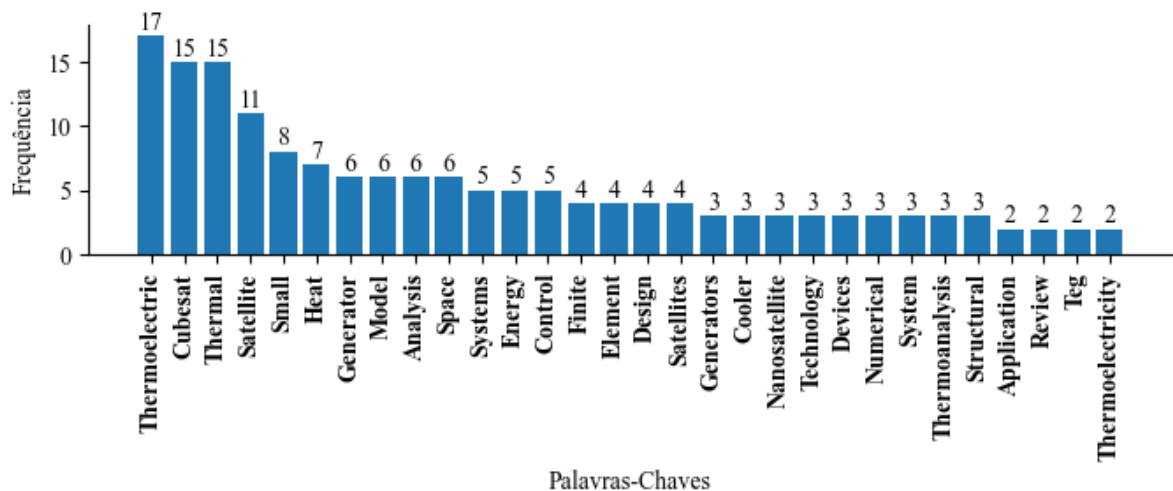
Figura 8: Relevância Científica dos artigos que compõe o PB e revistas publicadas.



Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio da automatização textual, são identificadas um total de 167 PCs distintas nos trabalhos acadêmicos do PB, sendo 112 (67,07%) observadas apenas uma vez, e 55 (32,93%) duas ou mais vezes. O estudo das PCs auxilia na identificação de quais termos são mais utilizados no PB, visando garantir seu alinhamento com o tema proposto. A lista com as 30 PCs que mais ocorreram entre os artigos é apresentada pela Figura 9.

Figura 9: Representação das 30 PCs mais utilizadas no PB.



Fonte: Autoria própria.

Mesmo que o termo *Thermoelectric* tenha sido o mais utilizado no PB, os termos *Cubesat* (2º) e *Thermal* (3º) possuem grande relevância nesta análise das PCs. Apesar de suas posições, somados totalizam 30 (17,96%) ocorrências, indicando sua alta utilização combinadas (ou separadas) para estudos no tema proposto nesta pesquisa. Além disso, dentre as 30 PCs mais citadas, termos como *Finite*, *Element*, *Numerical* e *Thermoanalysis* estimam o uso de ferramentas computacionais aplicadas ao problema de simulações térmicas em nanossatélites.

## 2.2.4 Análise do Portfólio Bibliográfico

Com um total de 33 artigos no PB, é essencial a verificação de artigos que tratam da revisão da literatura sobre o tema proposto, bem como de trabalhos que auxiliem no seu desenvolvimento. Estes servem como base para definir a conexão existente entre o progresso tecnológico realizados nessa área.

Logo, visando automatizar o processo de captação de artigos de revisão, são desenvolvidos algoritmos em linguagem de programação *Python*, em conjunto com planilhas do *Microsoft Excel*, que capturem o termo “*review*” nos títulos dos artigos que compõe o PB e os separem dos artigos de pesquisa.

Ao total, são identificados 7 (21,21%) artigos de revisão dos quais 6 (85,71%) apresentam revisões de conceitos, aplicações e novidades com relação aos TEGs, enquanto 1 (14,29%) apresenta uma revisão sobre baterias de *Cubesats*, descritos pelo Quadro 2.

Quadro 2: Artigos de Revisão ordenados pelo número de citações.

Referência	Breve descrição	Citações
(CHAMPIER, 2017)	Apresenta os avanços na produção de TEGs tanto em termos de design e otimização quanto em sua classificação e aplicação laboral e industrial. Além disso, aborda a melhora da relação da figura de mérito (ZT), o aumento das temperaturas de operação a partir de elevados gradientes e a utilização de materiais de baixo custo	1.185
(NOZARIASBM ARZ et al., 2020)	Foca em descrever, de forma geral, a utilização de TEGs para aproveitamento do calor residual provido do corpo humano, salientando a possibilidade de se utilizá-los para alimentar acessórios e dispositivos tecnológicos.	245
(YAN et al., 2018)	Explora a aplicação de $\mu$ TEGs (micro-TEGs) como alternativa econômica e competitiva aos TEGs tradicionais em áreas como medicina, dispositivo eletrônicos e Internet das Coisas (“ <i>Internet of Things</i> ”, IoT).	219
(TOHIDI; HOLAGH; CHITSAZ, 2022)	Compreende-se em uma revisão da literatura sobre TEGs no atual mercado de energia, visando apresentar seu potencial e suas aplicações. Além disso, apresenta um aprofundamento no desenvolvimento de TEGs utilizando <i>softwares</i> de simulação para diversas áreas industriais.	151
(SHITTU et al., 2020)	Discute problemas relacionados à geometria e otimização de estruturas de dispositivos termelétricos, tanto no aumento do seu potencial quanto na sua	145

Quadro 2: Artigos de Revisão ordenados pelo número de citações.

Referência	Breve descrição	Citações
(ZHANG; WANG; YAN, 2021)	performasse mecânica quando em condições de estresse. Revisa os métodos atuais de gerenciamento térmico para dispositivos eletrônicos, destacando o resfriamento ativo. Aborda técnicas como resfriamento direto, por jatos de ar, imersão, e por contato. Além disso, destaca o uso do TEG para resfriamento por contato.	102
(KNAP; VESTERGAARD ; STROE, 2020)	Realiza uma revisão das tecnologias de baterias em <i>CubeSats</i> , exemplificando as mais utilizadas e suas condições de operação, e apresenta possíveis soluções para viabilizar sua utilização no espaço diante das condições ambiente em questões de temperatura e requisitos de missão.	56

Fonte: Autoria própria.

Como identificado, o conjunto de artigos de revisão destaca, em sua maioria, os avanços e aplicações de TEGs quanto ao seu design, otimização e material, além de sua ampla aplicação em ambientes laborais e industriais como em dispositivos eletrônicos, aplicado para IoT, e na área da medicina, aplicados no aproveitamento do calor residual humano para dispositivos de medição cardíaca, como destacam (CHAMPIER, 2017) e (NOZARIASBMARZ et al., 2020).

Outros estudos, como apresenta (TOHIDI; HOLAGH; CHITSAZ, 2022) focam em revisões literárias nas no desenvolvimento e potenciais aplicações de TEGs em aplicações como na captação do calor residual em antenas parabólicas, conjuntos híbridos com células solares, dissipadores de calor, entre outros. Em destaque, o texto aborda a aplicação de TEGs para missões de exploração no espaço profundo, descrevendo especificamente o uso do RTG em satélites e a importância em seu emprego para gerenciamento térmico.

Há discussões sobre desafios estruturais de dispositivos termelétricos em condições de estresse, tratadas por (SHITTU et al., 2020), e revisões de técnicas de gerenciamento térmico em dispositivos eletrônicos, como as mencionadas por (ZHANG; WANG; YAN, 2021).

Por fim, (KNAP; VESTERGAARD; STROE, 2020) investigam as principais tecnologias-chave empregadas em baterias de *Cubesats*, identificando os principais desafios associados ao seu uso nas condições de espaço e visando as possíveis soluções para otimizar sua eficiência diante das limitações impostas pelas temperaturas operacionais.

Conforme apresentado, os artigos de revisão extraídos do PB indicam uma lacuna em pesquisas de revisão sistemática quanto a aplicação de TEGs como fonte de energia para *Cubesats*, com foco principal em sua implementação em ambiente terrestre. Portanto, este trabalho objetiva-se no preenchimento desta lacuna, detalhando abrangendo tanto a revisão sistemática da literatura de artigos científicos quanto nas novidades industriais ramo aeroespacial em critérios de fonte de energia para nanossatélites.

Já os 26 artigos de pesquisa presentes no PB são subdivididos em 3 temas principais:

Histórico, aplicações e desenvolvimento de *Cubesats*, representando 8 (30,77%) artigos; Design e análise térmica de *Cubesats*, constituindo 13 (50,00%) artigos; e por fim, 5 (19,23%) artigos que apresentam estudos e princípios de TEGs. Os artigos são descritos pelo Quadro 3.

Quadro 3: Artigos de Pesquisa ordenados pelo número de citações.

Referência	Breve descritivo	Citações
(HE et al., 2015)	Revisou, de forma substancial, as pesquisas e discussões com materiais termoelétricos e suas aplicações práticas. Além disso, ilustra as barreiras técnicas existentes com relação às tecnologias atuais do tema e propõe novos tópicos para futuras pesquisas.	762
(POGHOSYAN; GOLKAR, 2017)	Realizou o estado-da-arte das capacidades do <i>Cubesat</i> , com foco em missões científicas, e avalia seu potencial quanto sua capacidade em possibilitar novas missões de alta qualidade científica e baixo custo.	534
(BOUWMEEESTER; GUO, 2010)	Abordou uma análise detalhada no que se refere a avaliação da tecnologia mais utilizada em nanossatélites e picossatélites, tratando-se tanto do histórico de lançamentos, as topologias, o propósito, sistemas e subsistemas e finalidade.	493
(O'BRIEN et al., 2008)	Apresentou uma revisão histórica dos Geradores Termoelétricos de Radioisótopos (RTG) e seus mecanismos de conversão, de modo a fornecer informações que possibilitem realizar uma comparação direta com sistemas isotópicos alternativos.	260
(JOUHARA et al., 2021)	Tratou de analisar, profundamente, os princípios de funcionamento, aplicações e materiais utilizados em TEGs. Adicionalmente, apresenta exemplos de simulações em <i>softwares</i> como <i>COMSOL Multiphysics</i> e <i>ANSYS</i> .	201
(STRAUB et al., 2013)	Descreveu o <i>Cubesat OpenOrbiter</i> tanto em questões estruturais quanto o objetivo do programa, que visa apresentar os requisitos, restrições, arquitetura e <i>design</i> de alto nível para a categoria de satélite de pequeno porte.	109
(DAVOLI et al., 2019)	Ofereceu uma visão geral sobre o <i>Cubesat</i> , seus sistemas e subsistemas, principais missões e objetivos e possíveis desafios futuros. Além disso, classifica topologias e protocolos necessários para lançamentos.	101
(CORPINO et al., 2015)	Apresentou o processo de otimização na análise térmica em um <i>Cubesat IU</i> , fixando-se as condições de contorno e estabelecendo as condições ambiente. Para isso, desenvolve e aplica um algoritmo em <i>MATLAB</i> de modo a comparar seus resultados com o <i>software ESTAN-TMS</i> .	96
(WAYDO; HENRY; CAMPBELL, 2002)	Detalhou as características de design e arquitetura de <i>hardware</i> e <i>software</i> dos sistemas internos de duas missões espaciais referentes ao <i>Cubesat IU</i> . A primeira é uma Impedância de Plasma Combinada Probe/DC Sistema separada em dois satélites. A segunda são dois <i>CubeSats</i> separados que executam medições de cintilação GPS.	95
(LUO et al., 2020)	Desenvolveu um modelo numérico para prever o desempenho de um dispositivo termoelétrico atuando como TEG e TEC, definindo diferentes condições de contorno. Tomando como parâmetros como a altura e a área da seção transversal, número de pares e condutividade térmica de placas cerâmicas.	85
(ESCOBAR; DIAZ; ZAGAL, 2016)	Utilizou de Algoritmo Genético para explorar diferentes combinações de materiais que servem como pintura para um <i>Cubesat 3U</i> , a fim de atender aos requisitos da temperatura de operação de um nanossatélite. A solução é validada através de uma simulação térmica utilizando FEM	66
(TZENG; JENG; LIN, 2014)	Descreveu o desenvolvimento de uma plataforma de alto desempenho que combina transferência de calor e conversão termoelétrica. Usando uma matriz de pinos de metal com convecção forçada, analisou-se como diferentes condições de operação afetam a produção de energia de um TEG.	59

Quadro 3: Artigos de Pesquisa ordenados pelo número de citações.

Referência	Breve descritivo	Citações
(KANG; OH, 2016)	Representou o desenvolvimento do design térmico do subsistema de controle térmico do <i>STEP Cube Lab</i> e sua validação por meio de testes de vácuo térmico, de modo a estimar do comportamento térmico dos componentes.	55
(BULUT; SOZBIR, 2015)	Expôs uma análise térmica de um <i>Cubesat IU</i> operando em LEO, focando nos requisitos de controle térmico passivo de modo a garantir a operação adequada dos componentes. Para isso, utilizou de diferentes tipos de revestimentos na superfície.	49
(OH; PARK, 2015)	Propôs o uso de um sistema CPV, ou <i>Concetrating Photovoltaic</i> , em um <i>Cubesat IU</i> de modo a melhorar a eficiência na geração de energia, convertendo a energia provida pela intensidade luminosa do sol e concentrando-a nas células solares utilizando arranjos de lentes.	29
(DE; ABEGAONKAR; BASU, 2022)	Apresentou uma breve visão geral dos <i>CubeSats</i> como plataformas científicas, destacando seus potenciais e desafios para futuras missões. Ele também aborda os sistemas <i>CubeSat</i> existentes, com foco na comunicação, e discute a importância da utilização eficiente do espaço <i>CubeSat</i> com componentes integrados ou compartilhados.	8
(CANDOLFI et al., 2023)	Discutiu o atual estado e avanços na tecnologia termoelétrica para uso em RTGs de próxima geração e em aplicações de recuperação de calor residual utilizando TEGs, excluindo a discussão de estratégias de otimização de propriedades de materiais.	3
(CHACON; GUTIERREZ; ADANAQUE-INFANTE, 2022)	Tratou da análise de diferentes materiais em regime transiente e estacionário de um <i>Cubesat IU</i> , de modo a selecionar o mais adequada de acordo com as temperaturas estipuladas.	1
(JURKOWSKI et al., 2023)	Realizou uma Análise de Sensibilidade global para identificar os principais elementos que limitam a transferência de calor na unidade de processamento de dados de um <i>Cubesat IU</i> . Em seguida, uma análise de incerteza foi conduzida para as temperaturas dos componentes eletrônicos cruciais e a superfície do radiador.	0
(ZHOU et al., 2023)	Introduziu o design de controle térmico de um <i>CubeSat 3U</i> , calculando o campo de temperatura em condições de alta e baixa temperatura usando FEM e, por fim, compara os dados de temperatura medidos em órbita com os dados de simulação térmica.	0
(DALLAMUTA; PERONDI; DE OLIVEIRA, 2023)	Este estudo visou validar os resultados dos modelos usando FEM no <i>CubeSat</i> a partir de dados reais, especialmente os disponíveis do <i>MYSat-1 CubeSat</i> . O objetivo foi desenvolver um modelo térmico no <i>ANSYS</i> para realizar simulações térmicas e garantir que o <i>CubeSat</i> funcione dentro dos limites de segurança.	0
(GOMEZ-JENKINS et al., 2023)	Propôs um estudo comparativo dos programas espaciais sul-americanos, usando uma adaptação do modelo <i>Wood e Weigel</i> para analisar a evolução desses programas ao longo das últimas três décadas. Após explicar a adaptação do modelo e descrever sua aplicação, o estudo avalia os dez programas espaciais da região, fornecendo uma visão comparativa de seu desenvolvimento.	0
(YU et al., 2021)	Descreveu sobre o Projeto Irazú e seu desenvolvimento, de forma superficial, relacionado a <i>CubeSat IU</i> para monitoramento ambiental, com foco na estimativa de biomassa e fixação de dióxido de carbono em uma plantação de árvores de rápido crescimento.	0
(HIPPE-MÉNDEZ et al., 2022)	Realizou uma simulação detalhada de um sistema de controle térmico baseado em TECs para um <i>CubeSat</i> em órbita circular a 300 km de altitude. O objetivo é discutir a viabilidade do uso de <i>TECs</i> em microssatélites, avaliando se podem operar adequadamente em condições extremas.	0
	Explicou de forma sucinta o ambiente térmico em órbita terrestre baixa para o <i>MRZ-SAT</i> e descreve a modelagem térmica computacional realizada para este <i>CubeSat IU</i> , usando algoritmos de elementos finitos para determinar sua sobrevivência e a de seus componentes. Destina-se a servir como um guia	0

Quadro 3: Artigos de Pesquisa ordenados pelo número de citações.

Referência	Breve descritivo	Citações
(MORALES et al., 2022)	inicial claro e conciso para a análise térmica e modelagem de <i>CubeSats</i> , especialmente para iniciantes em projetos espaciais acadêmicos. Descreveu a otimização estrutural do chassi do Satélite Morazán ( <i>MRZ-SAT</i> ). O <i>MRZ-SAT</i> é um projeto vencedor que visa criar um sistema de alerta precoce para desastres naturais. O estudo compara três variações de padrões estruturais para o chassi, buscando obter uma estrutura mais leve e rígida possível.	0

Fonte: Autoria própria.

Vários estudos que focam na estrutura e desenvolvimento de *Cubesats*, abordando desde a análise térmica até o controle e otimização de sistemas. Trabalhos como os de (CORPINO et al., 2015), que apresenta processos de otimização para a análise térmica em *Cubesats*, e (WAYDO; HENRY; CAMPBELL, 2002), que detalham a arquitetura de *hardware* e *software* em missões específicas, são fundamentais para entender os principais conceitos dos *Cubesats*. Adicionalmente, estudos como o de (ESCOBAR; DIAZ; ZAGAL, 2016) utilizam algoritmos genéticos para explorar diferentes combinações de materiais que atendam às necessidades térmicas dos satélites, enquanto (BULUT; SOZBIR, 2015) e (KHATER; JARRAR, 2022) focam tanto nos requisitos de controle térmico passivo quanto na validação de modelos térmicos usando dados reais de *CubeSats*, mostrando a aplicação prática de teorias e modelos em contextos operacionais reais.

Estes estudos, juntamente com a análise de projetos específicos como o Projeto Irazú, detalhado por (GOMEZ-JENKINS et al., 2023), e o Projeto Morazán-Sat, explorado por (MORALES et al., 2022) e (HIPP-MÉNDEZ et al., 2022), exemplificam a otimização estrutural de nanossatélites destinados a funções específicas de monitoramento ambiental. Essas funções incluem tanto a verificação das emissões de CO<sub>2</sub> quanto a implementação de sistemas de alerta precoce para desastres naturais.

Para pesquisas que tratam de dispositivos termoelétricos, destacam-se os trabalhos de (O'BRIEN et al., 2008) e (CANDOLFI et al., 2023), que oferecem uma revisão histórica sobre RTGs de forma a compará-los sistemas isotópicos alternativos e discutir os recentes avanços na área, apresentando novas abordagens para a otimização de propriedades de materiais termoelétricos para a próxima geração de RTGs. Já (JOUHARA et al., 2021) aprofunda-se nos princípios de funcionamento dos TEGs a partir de simulações feitas em função de análises por FEM. Em complemento, (LUO et al., 2020) e (TZENG; JENG; LIN, 2014) desenvolvem modelos para prever o desempenho de dispositivos termoelétricos sob várias condições, evidenciando o papel crucial dessas tecnologias na eficiência energética e na sustentabilidade

de operações espaciais.

Os estudos de (DE; ABEGAONKAR; BASU, 2022) e (DALLAMUTA; PERONDI; DE OLIVEIRA, 2023) descrevem e o potencial dos programas espaciais, com foco particular nos *CubeSats* e na evolução dos programas espaciais na América do Sul, respectivamente. O primeiro destaca a versatilidade destes nanossatélites como plataformas científicas, enfatizando seus desafios e potencialidades para futuras missões espaciais, com uma atenção especial aos sistemas de comunicação e à otimização do uso do espaço interno dos satélites. Já o segundo estudo emprega uma adaptação do modelo de Wood e Weigel para realizar uma análise comparativa do progresso dos programas espaciais sul-americanos ao longo de três décadas, oferecendo uma perspectiva abrangente sobre o desenvolvimento e as tendências na região, ilustrando como essas iniciativas se expandiram e evoluíram em resposta a diferentes desafios tecnológicos e geopolíticos.

Por fim, é importante ressaltar que, embora 8 (30,77%) dos 26 artigos de pesquisa não tenham sido citados, são de grande relevância para esta pesquisa devido à sua influência direta na aplicabilidade de TEGs em *Cubesats*. Por exemplo, o artigo de (YU et al., 2021) apresenta um estudo sobre o uso de TECs em nanossatélites para controle de temperatura em condições extremas. Adicionalmente, (ZHOU et al., 2023) e (KHATER; JARRAR, 2022) se concentram na modelagem e análise térmica de *Cubesats* para definir os limites de temperatura, influenciando diretamente a operação dos componentes internos. Essas pesquisas são fundamentais para este trabalho, pois o estudo da aplicação de TEGs em nanossatélites depende integralmente do gradiente de temperatura ao qual a face do satélite está sujeita. Portanto, esses estudos não podem ser desconsiderados.

Em suma, os artigos revisados não discutem diretamente a aplicação de TEGs em nanossatélites, reforçando uma possível conexão entre a tecnologia termoelétrica e as inovações em fontes de energia para pequenos satélites. A exploração futura nesse campo pode abrir novos caminhos para a exploração espacial e no fornecimento de energia de missões de nanossatélites.

#### 2.2.4.1 Especificações e Condições de Contorno de *Cubesats*

A presente seção tem por finalidade extrair e apresentar as principais informações que estabelecem tanto as especificações de *Cubesats* quanto condições de contorno do tema proposto, presentes nos artigos de pesquisa do PB. Desta forma, após a leitura dos 26 artigos, foi identificado que os 13 artigos que tratam de *design* e análise térmica de *Cubesats* expõem os parâmetros fundamentais para a metodologia da pesquisa, tais como o material da estrutura,

fonte de energia, quantidade de Placas de Circuito Impresso (PCB), entre outros. Destes, apenas 11 são apresentados pelo Quadro 4, pois fornecem todas as informações necessárias para estabelecer as condições de contorno e estruturas adequadas para a aplicação de TEGs como fonte de energia em *Cubesats*.

Quadro 4: Especificações e Condições de Contorno.

Referência	Estrutura e Dispositivos	Condições de contorno	Software utilizado
(WAYDO; HENRY; CAMPBELL, 2002)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL 7075 - Célula solar: Tecstar Triple Junction - Bateria: LiPo	Órbita circular - LEO: 300 km e 60 ° - Informa pesos e potências consumidas	Não informa
(BULUT; SOZBIR, 2015)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL6061T6 - Bateria: Lipo - 5 PCBs	Órbita circular síncrona com o sol - LEO: 600 km e 98 ° - Análise Transiente e Estacionária- Temperaturas máxima e mínima informadas	Não informa
(HIPPE-MÉNDEZ et al., 2022)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL6061 - Célula solar: GaInP2/GaAs/Ge	Órbita Circular - LEO: 400km e 51,65 ° - Detalha ângulos e análise térmica	GNU Octave - SINDA software
(CHACON; GUTIERREZ; ADANAQUE-INFANTE, 2022)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL6061TE - 3 PCBs	LEO: 600 km e 67° - Análise Transitória e Permanente - Informa Temperaturas de Operação	ANSYS
(YU et al., 2021)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL 7075 - 4 PCBs -Material das PCBs: FR4 - Célular solar: Silício único Cristalino (Single Crystal Silicon) - Informa os tamanhos das células solares - TE: CP1.031-17-06L	Órbita circular - LEO: 300 km e sem inclinação - Período de 90,4 min - Terra tem representação de Esfera - Temperatura na superfície do satélite: 6 - 60 °C - Temperatura de Operação: 0 - 40°C	Não informa
(MORALES et al., 2022)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: 6061 - Células solares e componetes: Obtidos do Endurosat 1U	Peso dos componentes (detalhados) informados e Potências consumidas	Autodesk Fusion 360 Education License
(OH; PARK, 2015)	<i>Cubesat 1U</i> - Especificações de STEP Cube lab - Células solares: Silício de Junção Única Policristalino	LEO: 600 km, síncrona com o sol - Período de 1 ano	Solar Simulator
(ZHOU et al., 2023)	<i>Cubesat 3U</i> - Material da estrutura: AL 7075 - Material das PCBs: FR4	LEO: 500 km, síncrona com o sol - Informa Temperaturas de Operação dos Componentes e suas Potências	Não informa
(CORPINO et al., 2015)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL 6101T6 e AL7076T6 (Placa) - Células solares: Gallium Arsenide Triple Junction - Referência do PiCPoT nanosatellite	LEO: 600 km e 98° - Informa Temperatura de Operação dos Componentes e Potências	MATLAB - ESATAN-TMS
(KHATER; JARRAR, 2022b)	<i>Cubesat 1U</i> - Material da estrutura: AL 6061 e Aço Inox 304 - 5 PCBs- Material das PCBs: FR4- Bateria: Li-Ion	LEO - Informa Temperaturas de Operação e Temperaturas Máxima e Mínima obtidas pelos softwares	Cubesat Wizard c/ MATLAB - ANSYS
(KANG; OH, 2016)	<i>Cubesat 1U</i> - Estrutura baseada no STEP Cube - Material da estrutura: AL 6061T6 - Bateria: Li-Ion - Células	Órbita Síncrona com sol - LEO: 600 km e 97,78° - Período de 1 ano - Detalha os componentes,	Thermal Desktop (SINDA/FLUINT) - RadCAD

Quadro 4: Especificações e Condições de Contorno.

Referência	Estrutura e Dispositivos	Condições de contorno	Software utilizado
	Solares: ITO-GaAs Triple Junction- 5 PCBs -Material das PCBs: FR4	sua potência dissipada e Temperatura de Operação - Informa Temperaturas em baixa e Alta Operação - Informa Potência gerada pelas células solares	

Fonte: Autoria própria.

Apesar de todas as condições de contorno apresentadas serem pertinentes para a pesquisa, as de maior destaque são aquelas que fornecem informações quanto ao ambiente espacial em que os nanossatélites estão inseridos e sua operação. Neste caso, artigos como os de (KANG; OH, 2016), (KHATER; JARRAR, 2022), (MORALES et al., 2022) e (YU et al., 2021) fornecem dados de temperaturas do ambiente, ângulo de inclinação, peso e consumo dos componentes internos que são essenciais para determinar a viabilidade no emprego de TEGs como fonte de energia em *Cubesats*.

Em mais detalhes, parâmetros como a temperatura ambiente e a incidência solar têm uma influência significativa no desempenho dos TEGs na geração de energia elétrica. Conforme apontado nas revisões apresentadas no Quadro 2, o funcionamento de um TEG depende de um gradiente de temperatura, que é criado por uma fonte quente em uma das faces e uma fonte fria na outra. Simultaneamente, o peso e o consumo de energia dos TEGs impactam diretamente sua capacidade de fornecer energia suficiente para o funcionamento do *Cubesat*. Esses fatores são cruciais para garantir uma boa relação de W/kg da carga útil, assegurando que o satélite opere de maneira eficiente e eficaz.

## 2.3 PROPRIEDADE INTELECTUAL

A identificação dos produtos e patentes registrados dentro de um tema de pesquisa é extremamente relevante na verificação das tecnologias existentes na área, visto que representam um indicador que mostra o avanço nos processos tecnológicos como resultado das atividades de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) nas universidades (KARTUS; KUKRUS, 2012). Portanto, com intuito de verificar a relação entre o desenvolvimento das patentes com a P&D, são realizadas etapas semelhantes às aplicadas para a seleção do PB.

### 2.3.1 Seleção do Repositório de Patentes

A identificação das patentes foi realizada utilizando-se dos mecanismos de pesquisa

*Google Patents* e *Patentscope*. Estes mecanismos são fundamentais para busca global por dados de patentes, incluindo aquelas registradas no Brasil. (WIPO, 2024). Para otimizar a pesquisa, são estabelecidas as combinações de PCs que englobam o tema investigado tanto em inglês quanto em português, exibidas na Tabela 2.

Tabela 2: Combinações de PCs para busca de patentes no *Google Patents* e *Patentscope*.

Inglês	Português	Google Patents	Patentscope
("Thermoelectric Generator" OR "TEG" OR Seebeck OR Thermoelectric) AND (Cubesat OR Nanosatellite OR Nanosat OR "Small spacecraft")	("Gerador Termoelétrico" OR "TEG" OR Seebeck OR Termoeletricidade) AND (Cubesat OR Nanossatélite OR Nanosat OR "Pequeno satélite")	93	101
("TEG") AND (Cubesat OR "Small spacecraft")	("TEG") AND ("Cubesat" OR "Pequeno satélite")	13	11
("Electrical Power System" OR "EPS") AND (Cubesat OR Nanosatellite OR Nanosat OR "Small spacecraft")	("EPS") AND (CubeSat OR Nanosatellite OR Nanosat OR "Small spacecraft")	33	131
("Power System" OR "EPS") AND (Cubesat OR Nanosatellite OR Nanosat OR "Small spacecraft")	("Sistema de potência" OR "EPS") AND (Cubesat OR Nanossatélite OR Nanosat OR "Pequeno Satélite")	261	356
("Thermoelectric Generator" OR "TEG") AND (Cubesat OR "Small Spacecraft" OR Nanosatellite)	("Gerador Termoelétrico" OR "TEG") AND (Cubesat OR "Pequeno Satélite" OR Nanossatélite)	29	31
<b>Total</b>		<b>1.059</b>	

Fonte: Autoria própria.

Sequencialmente, com a utilização dos dados de busca exportados em excel, realiza-se o tratamento de dados do Banco de Patentes Bruto (BPB), contendo 1.059 patentes, garantindo que as patentes encontradas estejam alinhadas à pesquisa. O processo e tratamento foi realizado utilizando a estrutura demonstrada pelo fluxograma da Figura 10.

A filtragem inicial, denominada de Filtragem de Correção, identifica títulos e códigos repetidos dentro das patentes que compõe o BPB, resultando em 632 exclusões (59,68%). Após essa etapa, as patentes representadas pelo Banco de Patentes (BP) passam pelo Filtro de Alinhamento, que visa a leitura de todos os títulos que estão alinhados com o tema da pesquisa. Nesta etapa, foram excluídas 385 patentes (90,16%) que não estavam alinhadas, conduzindo em dois repositórios de patentes: Repositório *Google Patents* e Repositório *Patentscope*, contendo 32 e 10 patentes, respectivamente.

Por fim, é realizada uma checagem quanto aos títulos iguais entre os repositórios através do Filtro de Checagem. Em virtude disso, obtém-se o RP contendo 34 patentes que estão alinhadas ao tema investigado, representando 3,21% do BPB.

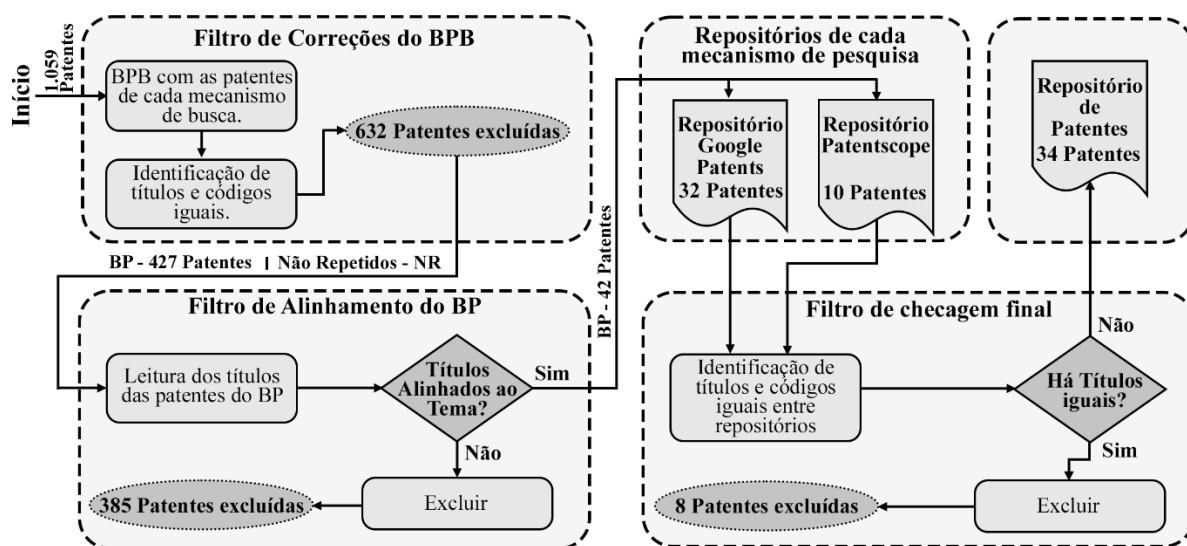
As patentes do RP são apresentadas pelo Quadro 5, sendo possível identificar os inventores, seus títulos e respectivos códigos, seu país de origem e uma breve descrição. Adicionalmente, avalia-se a relevância dessas patentes dentro do tema proposto a partir de um código de cores dividido em verde, amarelo, laranja e vermelho, critério adotado para validar aquelas que serão utilizadas como referência nesta pesquisa.

Os requisitos que definem a seleção das patentes são atribuídos em (i) verificar se a tecnologia patenteada é diretamente aplicada à satélites ou nanossatélites; (ii) averiguar o impacto causado na geração de energia no satélite ou nanossatélite; e (iii) utilizar o calor residual para geração de energia elétrica.

A cor verde determina que a patente cumpre com todos os requisitos que influenciam no desenvolvimento da pesquisa, enquanto amarela determina o cumprimento de 2 requisitos e a laranja apenas 1. Por fim, vermelho informa o não cumprimento dos requisitos. A definição da cor está atrelada à leitura dos resumos de cada patente.

De 34 patentes pertencentes ao RP, são identificadas 5 patentes (14,70%) que cumprem todos os requisitos supracitados, indicando sua grande influência para a pesquisa. Já 26 patentes (76,47%) apresentam uma influência menor, cumprindo parcialmente os requisitos. Ao final, 3 patentes (8,83%) foram descartadas devido ao não cumprimento dos requisitos.

Figura 10: Fluxograma que representa a filtragem dos produtos e patentes.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes.

Referência	Título - Código	País	Breve descritivo	É relevante?
(CHAO et al., 2019)	A kind of device to be generated electricity using satellite external surface temperature gradient - CN-106208814-B	CN	A invenção propõe um método para gerar eletricidade aproveitando o gradiente de temperatura na superfície externa de satélites, através de uma série de camadas de isolamento térmico, uma camada condutora de calor e dispositivos termoelétricos, especialmente útil para micro ou nanosatélites.	●
(GRAY; COGGIN, 2017)	Magneto-thermoelectric generator for energy harvesting - US-9793829-B2	US	A invenção consiste em um dispositivo denominado Gerador Magneto-Termoelétrico (MTG), capaz de converter calor térmico residual de uma célula fotovoltaica em energia mecânica e, por fim, em energia elétrica. As formas de realização operam com base no princípio de comutação termicamente induzida entre estados abertos e fechados de uma chave ferromagnética, visando gerar oscilações mecânicas que causam deformação em um material piezoelétrico e resultando na geração de energia elétrica.	●
(VENKATASUBRA MANIAN et al., 2022)	Nano-engineered thin-film thermoelectric converter for photovoltaic applications - US-2022285571-A1	US	A patente descreve sistemas, aparelhos e métodos para fabricar Dispositivos Termoelétricos de Filme Fino Nanoengenheirados (“Nano-engineered Thin-Film Thermoelectric Converter”, NETT) com aplicações fotovoltaicas. Esses dispositivos aproveitam o frio do espaço para satélites ou melhoram a eficiência dos sistemas solares fotovoltaicos terrestres. Exemplos de métodos incluem montar um dispositivo termoelétrico de filme fino a um dispositivo fotovoltaico, seguido pela montagem de um dissipador de calor e, opcionalmente, um radiador ou trocador de calor.	●
(LASHMORE et al., 2008)	Nanostructured Material-Based Thermoelectric Generators - US-2009044848-A1	US	A invenção trata de geradores de energia elétrica que utilizam o efeito termoelétrico em matrizes de materiais nanoestruturados. Um dispositivo termoelétrico é descrito, composto por elementos tipo p e tipo n feitos de nanotubos de carbono, e é capaz de operar em altas temperaturas, gerando uma potência de saída considerável apesar de ser leve. Um método para fabricar esse dispositivo também é apresentado.	●
(EWELL et al., 2016)	Radioisotope thermoelectric generator - WO-2016138389-A1	WO	A presente invenção trata de geradores termoelétricos radioisotópicos, com foco em versões miniaturizadas para fornecer energia em situações com restrição de espaço. Esses geradores incorporam fontes de calor radiológico e são projetados para operar em ambientes de alta temperatura, alta pressão e alta vibração, como em sondas de perfuração.	●
(JAMES et al., 2019)	A power supply - AU-2019262087-A1	AU	A invenção descreve uma fonte de alimentação para um dispositivo autônomo com várias unidades de fonte de alimentação, cada uma com entrada para energia de origem, saída para um trilho de alimentação comum, dispositivo de armazenamento de energia e controle para gerenciar o fluxo de energia.	●
(WENYOU et al., 2016)	Compact nuclear power system applied to space environment and working	CN	Desenvolve um sistema compacto de energia nuclear é proposto para o ambiente espacial. Utilizando dióxido de carbono como meio de trabalho, o sistema é capaz de operar de forma estável por décadas	●

Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes.

Referência	Título - Código	País	Breve descritivo	É relevante?
(ARISTO LEONARD; SURESH PATEL, 2016)	method - CN-110043338-B		ou até séculos, aumentando a eficiência em mais de 10%. Pode ser usado como fonte de energia em sondas espaciais para missões de longo prazo.	
(ARISTO LEONARD; SURESH PATEL, 2016)	Cubesat system - US-11021274-B1	US	A invenção consiste na apresentação de pequenos sistemas de <i>Cubesats</i> , de baixo custo e prontos para uso, sendo mais acessíveis, confiáveis e fáceis de se usar em relação aos <i>Cubesats</i> convencionais. Fornece uma solução completa, incluindo satélite, estação terrestre e unidades de campo remoto, que podem ser montadas e implantadas rapidamente.	●
(ABRAMS et al., 2014)	Extendable solar array for a spacecraft system - US-9856039-B2	US	A patente trata de um conjunto de sistemas de aplicados à um nanossatélites <i>Cubesat 2U</i> , cujo foco é a geração de energia elétrica a partir da energia solar. Podem incluir estruturas de favo de mel de alumínio ou compósitos com coberturas de vidro, bem como células fotovoltaicas cristalinas rígidas e mecanismos de implantação rígidos ou flexíveis.	●
(SIMBURGER et al., 2000a)	Flexible thin film solar cell - US-6410362-B1	US	Uma película térmica transparente é aplicada diretamente sobre células solares de filme fino, criando um painel solar flexível. Este painel pode ser instalado em um substrato durante o processo de fabricação para permitir a iluminação e dissipação de calor em ambos os lados, ideal para construir uma matriz solar sobre superfícies curvas, como nanossatélites esféricos. As invenções atuais envolvem dispositivos e processos de filme fino, especialmente células solares e placas de circuito flexíveis, e seus métodos de fabricação.	●
(SIMBURGER et al., 2000b)	Integrated solar power module - US-6300158-B1	US	A invenção se concentra na apresentação de dispositivos e processos de filme fino, especialmente células solares e placas de circuito flexíveis de filme fino, e seus métodos de fabricação. Uma configuração exemplar envolve múltiplas camadas de polimida transparente, com metalização entre elas, formando uma placa de circuito impresso tridimensional flexível. Isso permite a deposição direta de células solares de filme fino, criando módulos eletrônicos flexíveis. Essas placas são ideais para sistemas eletrônicos em superfícies curvas, como nanossatélites esféricos de energia.	●
(SIMBURGER et al., 2003)	Integrated thin film battery and circuit module - US-7045246-B2	US	A invenção trata de baterias de filme fino incorporadas em circuitos impressos de filme fino para fornecer energia localizada à dispositivos eletrônicos. Essas baterias são integradas em placas de circuito flexíveis de várias camadas, suportando dispositivos como reguladores de energia, formando um módulo integrado de bateria e circuito.	●
(WENWEN et al., 2017)	Micro-nano satellite power system based on super capacitor - CN-106602694-A	CN	A invenção revela um sistema de energia para micro-nano satélites baseado em um supercapacitor, composto por um supercapacitor e um módulo de entrada de energia. O módulo de entrada de energia inclui uma matriz de células solares, que carrega o supercapacitor.	●
(COSNER; STICKELMAIER; WOOTAN, 2020)	Modular electrical power subsystem architecture - US-2022158477-A1	US	A presente aplicação fornece um subsistema de energia elétrica (EPS) com uma configuração de bateria dupla que permite fornecimento de energia suficiente para um ônibus espacial e um módulo de carga útil transportado pelo ônibus.	●

Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes.

Referência	Título - Código	País	Breve descritivo	É relevante?
(MANN; WALKER, 2022)	Modular solar cell and solar cell array - US-2023299610-A1	US	A presente invenção trata do gerenciamento de energia em veículos espaciais, especialmente no contexto de células solares modulares e matrizes de células solares que podem ser implantadas em diferentes tipos de veículos espaciais. Os exemplos da invenção incluem células solares modulares, matrizes e sistemas de gerenciamento de energia projetados para uso em sistemas de satélites e constelações.	●
(PAYREBRUNE, 2016)	Power supply module for spacecraft - WO-2017177301-A1	WO	A presente invenção trata de circuitos ou dispositivos conversores de energia, especificamente módulos de alimentação, baseados em células solares para subsistemas de energia em espaçonaves. Esses módulos fornecem energia para um barramento elétrico não regulado da espaçonave, utilizando uma célula solar e um conversor de energia montado nela para converter a energia solar em uma tensão de saída CC determinada pela tensão do barramento elétrico da espaçonave.	●
(NING et al., 2018)	Satellite modular power supply - US-10536107-B1	US	Apresenta conceitos simplificados sobre configurações aprimoradas de fornecimento de energia para dispositivos satelitais. Discute-se um exemplo em que unidades de energia, isto é, baterias, em forma de polígono são arranjadas em torno de um módulo de controle de energia dentro do chassi do satélite.	●
(XIAOXIA et al., 2021)	Satellite storage battery system - CN-113422423-A	CN	A invenção ilustra um sistema de bateria para satélites, possibilitando, através da conversão da energia solar em eletricidade, o armazenamento de energia e usá-la quando não há disponibilidade da energia solar. Ele inclui um dispositivo de produção de energia solar, um dispositivo de armazenamento e um conjunto de baterias que trabalham juntos para fornecer energia conforme necessário.	●
(SLATER, 2016)	Solar array remote acoustic sensing (SARAS) - US-10078328-B1	US	A invenção se refere a tecnologias de sensoriamento, especialmente sistemas e dispositivos que utilizam matrizes solares, células fotovoltaicas ou fotodetectores para obter ou fornecer assinaturas acústico-ópticas. Esses dispositivos atuam como sensores acústicos remotos, detectando flutuações na intensidade da luz óptica modulada em frequência de áudio.	●
(BOWEN et al., 2016)	Solar battery and the integrated device of slot antenna - CN-106711576-B	CN	A invenção apresenta um dispositivo que combina uma antena de ranhura e uma bateria solar em um único sistema. Isso resolve problemas de competição por espaço em micro-nano satélites, reduzindo o volume e o peso do satélite, enquanto aumenta a área de captação de luz da bateria solar.	●
(WOODS, 2015)	Solar energy conversion and transmission system and method - US-9815573-B2	US	A presente invenção se refere a sistemas e métodos para converter energia solar em energia elétrica de micro-ondas, a partir de sua transmissão para a Terra.	●

Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes.

Referência	Título - Código	País	Breve descritivo	É relevante?
(CRUIJSSEN; DATEMA; BENTHERN, 2016)	Solar panel and flexible radiator for a spacecraft - EP-3239057-B1	EP	A invenção se refere a uma combinação de uma matriz solar e um radiador flexível para uma espaçonave.	●
(KALMAN, 2011)	Solar panel array - US-9882330-B2	US	A invenção se refere a métodos e dispositivos para interconectar um conjunto de painéis solares constituídos por PCBs alongadas, cada uma com células solares montadas linearmente e conectadas em série para formar um painel. Há também conjuntos de dobradiças compostos por peças de dobradiças, placas de apoio, mola e pino de dobradiça, que são montados entre os painéis para permitir que sejam dobrados em um arranjo de sanfona ou implantados em até 180 graus.	●
(DERKACS, 2021)	Space vehicles including multijunction metamorphic solar cells - US-2021202777-A1	US	O documento aborda veículos espaciais com painéis de células solares de múltiplas junções e sua fabricação, com foco no design e especificação dos intervalos de banda em células solares de quatro ou cinco junções para otimizar a eficiência em órbita e garantir desempenho ao longo de uma vida operacional de cinco a quinze anos.	●
(BEVERIDGE, 2022)	Space-Based Radioisotope Production and Methods of Use - US-20220367077-A1	US	O texto descreve um sistema de produção de radioisótopos no espaço e seus métodos de uso. Ele destaca a aceleração de um propelente pela energia de decaimento e a possibilidade de recarregar propulsores de foguete de radioisótopos em uma estação de carregamento em órbita. Além disso, menciona que os isótopos ativados podem ser usados para gerar eletricidade e irradiar outros itens no espaço para diversos fins.	●
(SIMBURGER et al., 2007)	Spacecraft solar cell monitoring system - US-2009119060-A1	US	A invenção trata do monitoramento das características de uma matriz de células solares em espaçonaves pequenas. Um método é utilizado para determinar a corrente e a tensão das células solares, permitindo determinar a orientação das células em relação ao sol. Isso é útil para monitorar a degradação das células solares ao longo do tempo em picossatélites.	●
(SIPPERLEY; SMITH, 2018)	Thermoelectric rocket propellant tank pressurization system - US-10495028-B1	US	O texto descreve sistemas avançados de motores de foguete, onde um sistema utiliza um gerador termoelétrico (TEG) para produzir energia elétrica para a bomba, com base na diferença de temperatura entre o propelente líquido e o calor produzido na câmara de combustão. Isso pressuriza os tanques de propelente para alimentar o motor.	●
(SUARI; WILLIAMS, 2012)	CubeSat system, method and apparatus - US-9248924-B2	US	Aborda um sistema de satélite consiste em um chassi com um pacote de aviónica na porção superior. Este pacote inclui várias placas, como a principal, de interface de carga útil, filha e de bateria, todas dispostas em planos paralelos. Elas são conectadas através de conectores empilháveis. O método de operação do satélite também é descrito.	●
(SIMBURGER; PRATER; CARIAN, 1999)	Power distribution system - US-6396167-B1	US	A presente invenção diz respeito a sistemas de distribuição de energia que gerenciam a distribuição de energia elétrica entre fontes de energia e elementos de armazenamento de energia em um barramento regulado em micro e nanossatélites. O sistema permite o acoplamento de várias fontes	●

Quadro 5: Apresentação e seleção das patentes que compõe Repositório de Patentes.

Referência	Título - Código	País	Breve descritivo	É relevante?
(HAINING et al., 2016)	Power supply and distribution module applied to CubeSat - CN-106059266-A	CN	de energia e dispositivos de armazenamento de energia ao barramento, com reguladores e carregadores individuais para cada dispositivo.  A invenção se refere a um módulo de alimentação e distribuição projetado para <i>CubeSats</i> , oferecendo conversores de 3.3V e 5V conectados em paralelo a uma unidade de distribuição de energia. Este módulo compacto e altamente integrado foi desenvolvido para atender aos requisitos de energia de carga de alta confiabilidade, alto desempenho e alta integração do equipamento do <i>CubeSat</i> .	●
(ELISEEV et al., 2017)	Satellite-constructor, training-demonstration model - RU-2693722-C2	RU	A invenção refere-se ao projeto e equipamento de <i>Cubesats</i> modulares pequenos, incluindo modelos para treinamento. Os <i>Cubesats</i> possuem uma plataforma básica modular, rede interna, processador central, módulo de controle e comunicação, além de sistemas de serviço para seleção e substituição de elementos. Um conector de serviço permite acesso à rede interna, depuração de dispositivos programáveis e alimentação externa.	●
(POIROT; SMITH; KOWALUK, 2022)	Satellite thermal control - WO-2024003013-A1	WO	A invenção trata de um satélite com um corpo contendo uma superfície radiativa para emitir calor para o espaço, e um sistema de controle de atitude para orientar o satélite na órbita da Terra. Este sistema é capaz de ajustar a orientação do satélite em relação ao sol, alternando entre uma posição em que a superfície radiativa aponta para longe do sol e outra em que está exposta ao sol. O objetivo é controlar a transferência de calor do satélite.	●
(WEISS et al., 2020)	Scenario Based Method for Testing <i>Software</i> – US - 11138100 – B2	US	A presente invenção trata do campo de testes de <i>software</i> , especialmente de um método para testar <i>software</i> , como o de satélites, usando programação baseada em cenários. O método envolve testar o <i>software</i> operacional de um sistema com vários subsistemas internos, operando em um ambiente controlado por uma placa de <i>hardware</i> utilizando sinais eletrônicos e um <i>software</i> operacional.	●
(EHRlich, 2020)	Spherical mobility system - US-11420777-B1	US	O texto descreve um <i>rover</i> de exploração lunar projetado para detectar gelo subterrâneo e percorrer terrenos variados em ambientes extraterrestres. O <i>rover</i> possui uma estrutura esférica que abriga um núcleo de aviônica. O núcleo de aviônica contém componentes para aquisição de dados e conjuntos de motores que permitem ao <i>rover</i> girar a carcaça esférica para se locomover.	●

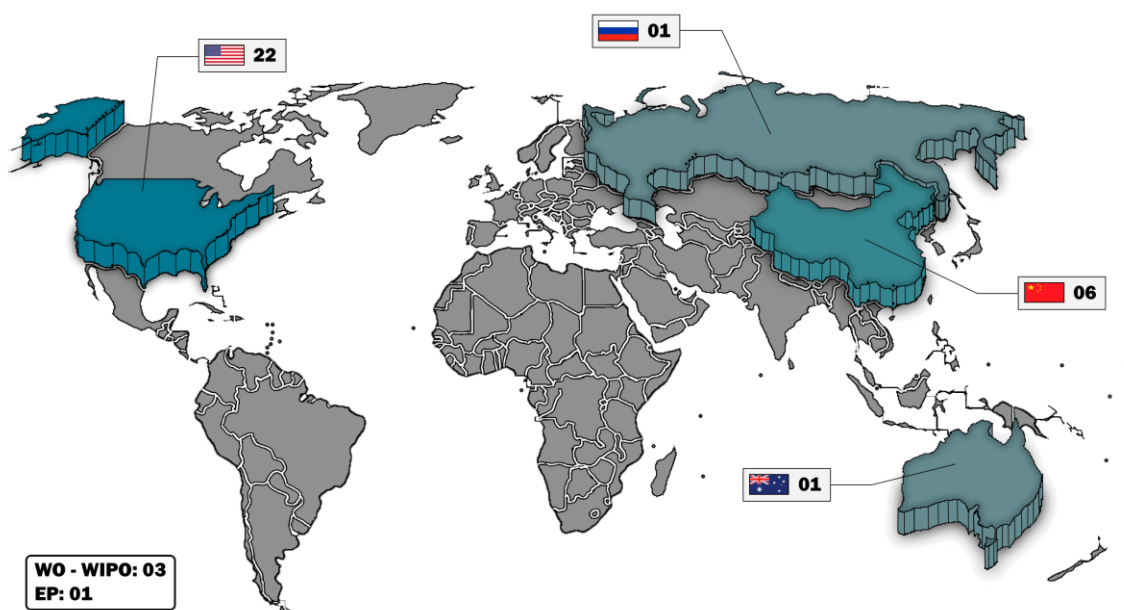
Descrição: US – Estados Unidos da América; CN – China; AU – Austrália; RU – Rússia; EP – Patentes Europeias Oficiais (“*European Patents Official*”); WO – Organização Mundial da Propriedade Intelectual (“*World Intellectual Property Organization*”)

Fonte: Autoria própria.

### 2.3.2 Análise do Repositório de Patentes

Análise inicial do RP se estrutura na identificação dos países que mais registram patentes relacionadas ao tema. Como resultado, a Figura 11 apresenta a quantidade de patentes de cada país, descrevendo que 64,71% do total de patentes que compõe o RP são originadas dos Estados Unidos da América, seguido por China, com 17,65%, patentes administradas pela WIPO, com 8,82%, e países como Rússia, Austrália e a instituição EP representando 2,94%.

Figura 11: Quantidade de patentes registradas por país.



Fonte: Autoria própria.

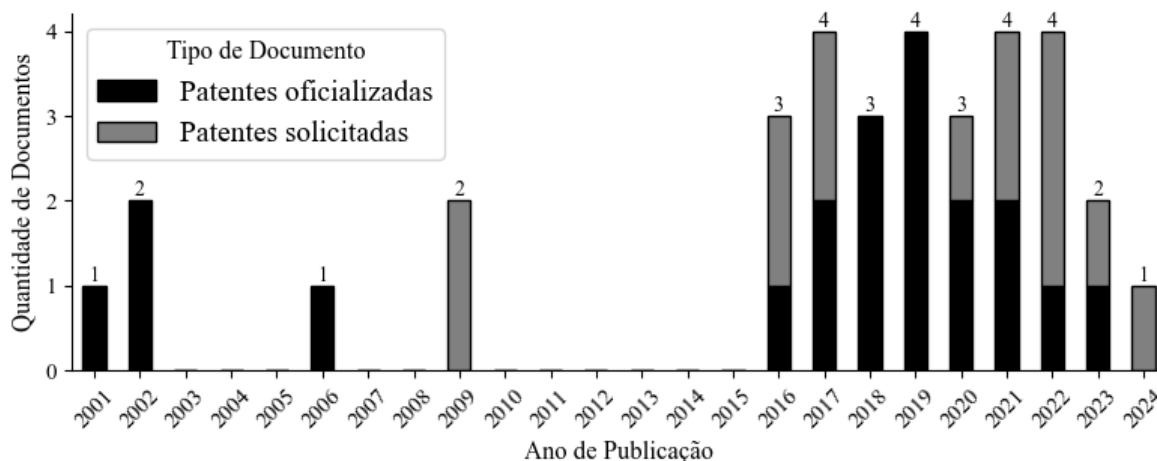
A utilização do mecanismo de pesquisa *Lens Patent Search*, provido pelo site *The Lens*, possibilita captar informações que caracterizam legalmente as patentes do Repositório de Patentes. Dados como: publicação anual de patentes; patentes mais citadas; patentes descontinuadas, inativas, expiradas ou ativas; principais inventores e instituições; entre outros, são disponibilizados de forma gratuita pela plataforma. Desta forma, são realizadas análises das patentes e dos inventores/instituições de modo a verificar sua relevância industrial dentro do tema proposto.

Ao adicionar os códigos de cada patente no RP na plataforma, forma-se uma "Coleção Dinâmica". Essa guia permite o acesso aos registros legais associados. Das patentes analisadas, 29 patentes (85,29%) referenciam outras invenções, somando um total de 335 citações, evidenciando sua importância delas para desenvolvimento conceitual e inovador. Além disso,

12 patentes (35,29%) incluem citações de documentos de literatura não patenteada, o que proporciona um contexto adicional e auxiliam na definição do estado da arte no campo relevante. Paralelamente, 21 patentes (61,76%) servem como fundamentação para desenvolvimento de novas invenções.

A Figura 12 ilustra a evolução na quantidade de patentes criadas ao longo dos últimos 20 anos, de acordo ao seu ano de publicação, classificadas em duas categorias: Patentes Concedidas/Oficializadas (“*Garanted Patent*”), referindo-se à aquelas que foram aprovadas por um escritório licenciado; e Patentes Solicitadas (“*Patent Application*”), sendo invenções que entraram no processo de patenteamento (BOLD PATENTS, 2024). Neste caso, observa-se um aumento significativo na produção de patentes relacionadas ao tema a partir de 2016.

Figura 12: Quantidade de patentes publicadas por ano.



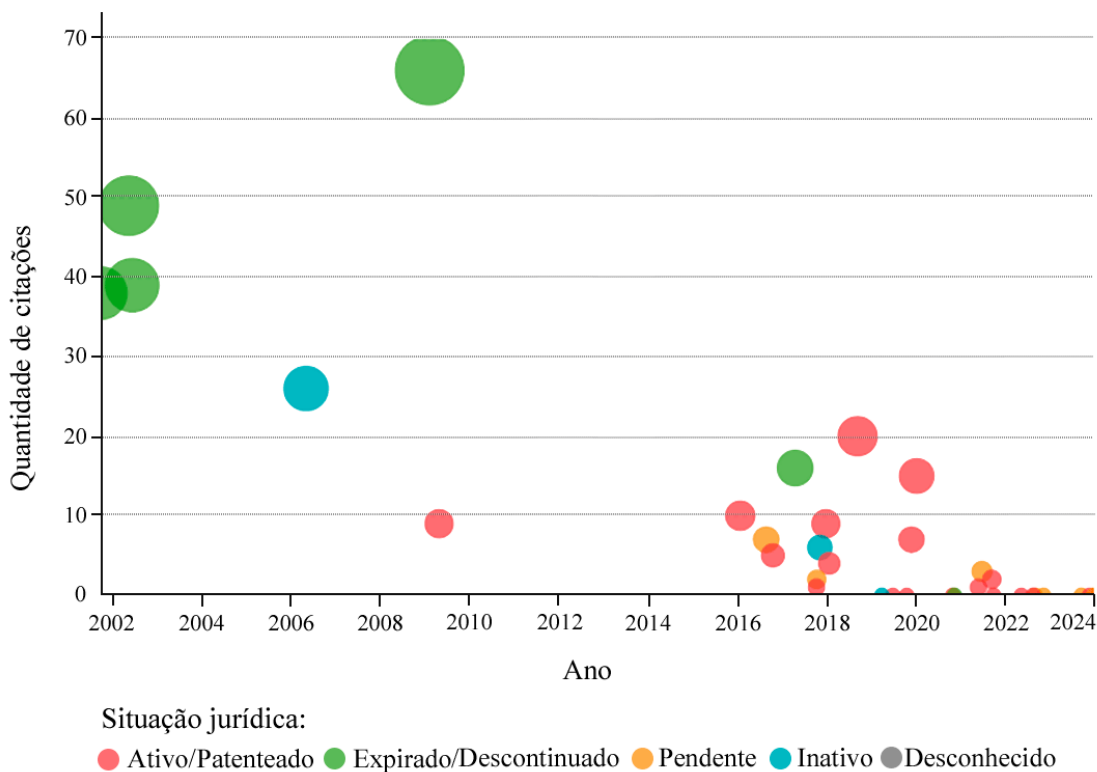
Fonte: (THE LENS, 2024), adaptado.

Em paralelo, é essencial identificar as condições jurídicas associadas a cada patente, considerando seu ano de registro. Esse processo envolve determinar o status legal atual da patente, que pode variar entre Ativo, Inativo, Expirado, Descontinuado, Pendente, Patenteado ou Desconhecido. Adicionalmente, é importante quantificar o número de citações que cada patente recebeu, a fim de destacar a relevância das selecionadas anteriormente no campo de estudo em questão.

Desta maneira, a Figura 13 (a) demonstra a quantidade de citações por patente em cada ano de registro, acompanhada da Tabela 3 que apresenta a quantidade de documentos por situação jurídica. Esta análise permite inferir que houve um crescimento significativo na produção de novas patentes a partir de 2016, exibindo um maior interesse de empresas e

inventores no ramo aeroespacial. Além disso, 52,9% do total de patentes permanece ainda ativas, enquanto 26,4% representam patentes que já foram descontinuadas, expiradas ou estão inativas e 20,6% estão pendentes para aprovação por algum escritório credenciado.

Figura 13: Quantidade de citações por patente em função do ano de publicação.



Fonte: (THE LENS, 2024), adaptado.

Tabela 3: Quantidade de patentes por situação jurídica.

Situação jurídica	Quantidade
Ativo/Patenteado	18 (52,9%)
Inativo	3 (8,8%)
Pendente	7 (20,6%)
Expirada	3 (8,8%)
Descontinuado	3 (8,8%)

Fonte: Autoria própria.

Em vista disso, o Quadro 6 descreve as informações legais das patentes que cumprem todos os requisitos que influenciam na pesquisa, brevemente descritas no Quadro 5.

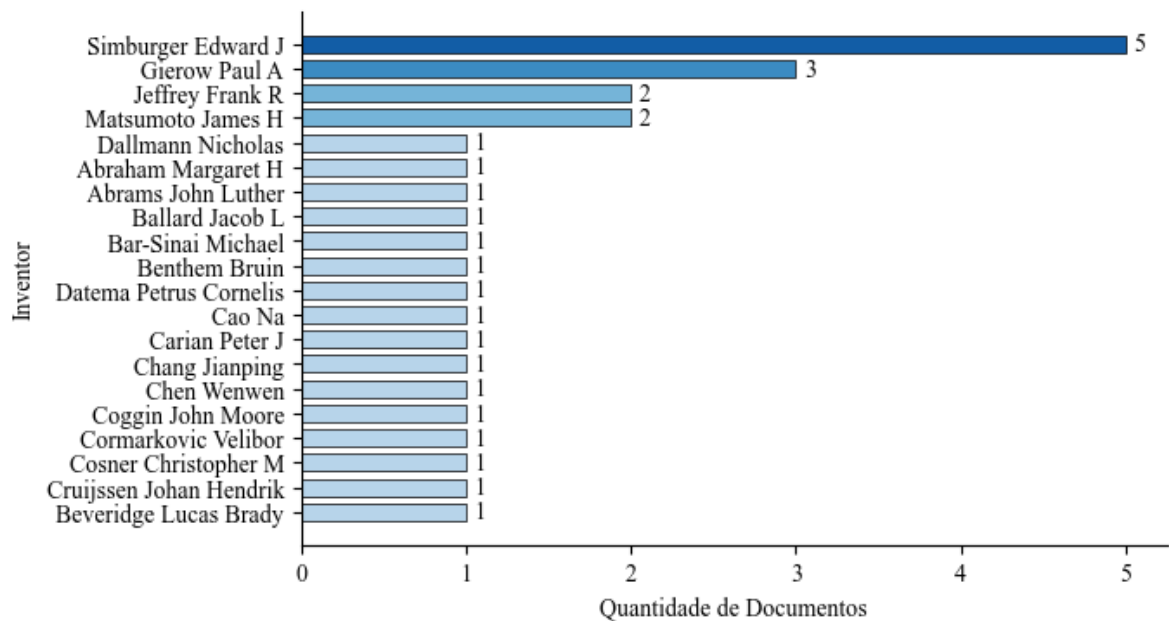
Quadro 6: Descrição da situação legal das patentes filtradas.

Referência	Código	Condição jurídica	Citações por patentes
(CHAO et al., 2016)	CN-106208814-B	Inativa	00
(GRAY; COGGIN, 2013)	US-9793829-B2	Ativa	01
(VENKATASUBRAMANIAN et al., 2022)	US-2022285571-A1	Pendente	00
(LASHMORE et al., 2009)	US-2009044848-A1	Descontinuada	66
(EWELL et al., 2016)	WO-2016138389-A1	Pendente	07

Fonte: (THE LENS, 2024), adaptado.

Com esta análise, é possível reconhecer os inventores que possuem maior quantidade de patentes registradas em seus nomes, bem como sua participação em outras patentes. Neste caso, a Figura 14 apresenta os 20 primeiros inventores que fazem parte do RP, organizados por quantidade de patentes produzidas. Neste caso, identifica-se que o inventor Edward Simburger possui maior quantidade de patentes produzidas, seguido por Paul Gierow, Frank Jeffrey e James Matsumoto.

Figura 14: Quantidade de patentes produzidas por inventor.



Fonte: (THE LENS, 2024), adaptado.

De forma similar à análise da produção de patentes por inventor, é aconselhável identificar quais as instituições que possuem foco relacionado ao tema da pesquisa. Adicionalmente, deve-se localizar para quais finalidades as patentes foram designadas, de modo a certificar sua similitude com o presente trabalho.

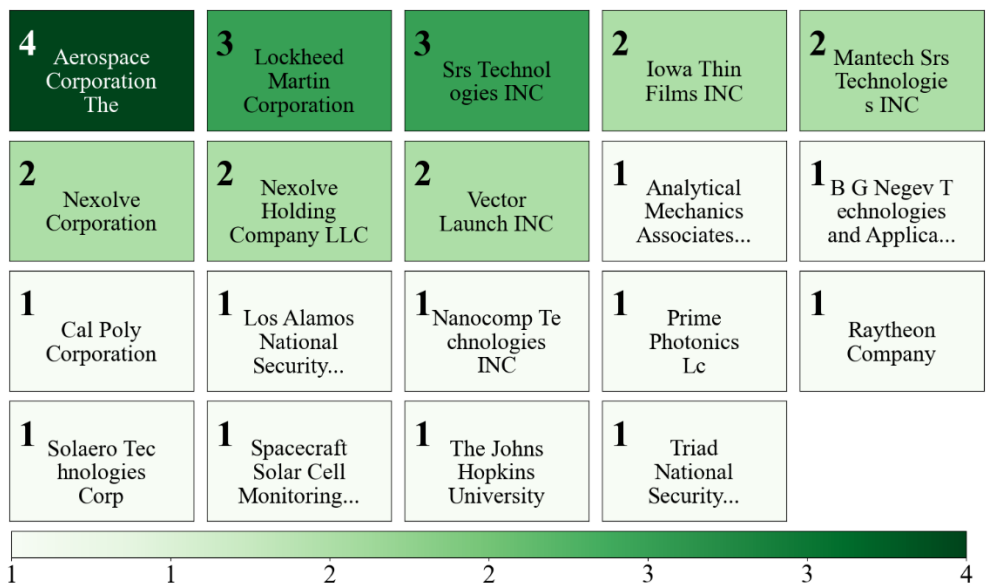
Desta forma, utilizando dos mesmos procedimentos adotados anteriormente, é obtida a quantidade de patentes registradas por empresa através de um mapa de calor, ilustrado pela Figura 15 (a), e os 20 primeiros códigos relacionados à Classificação de Patentes Cooperativas (“*Cooperative Patent Classification*”, CPC), apresentado pela Figura 15 (b). O CPC é um sistema de classificação desenvolvido pelo Escritório de Patentes e marcas Registradas dos Estados Unidos (“*United States Patent and Trademark Office*”, USPTO) e pelo Escritório Europeu de Patentes (“*European Patent Office*”, EPO). Este sistema possui cada letra de designação de área estudada, tendo seu detalhamento em (USPTO, 2024).

Em alguns casos, há a possibilidade de uma patente possuir mais de uma classificação CPC. Isso ocorre devido a capacidade da invenção abranger múltiplas áreas técnicas, podendo ser relevante para diferentes aspectos de classificação. Para o RP, do qual contém 34 patentes, é possível que alguns documentos também tenham múltiplas categorias.

Assim sendo, de um total de 31 documentos registrados por empresas, nota-se um maior número de patentes registradas pela instituição *Aerospace Corporation The*, com 4 patentes (12,90%), seguido por *Lockheed Martin Corporation* e *Srs Technologies INC*, com 3 patentes (9,68%), *Iowa Thin Films*, *Mantech Srs Technologies INC*, *Nexolve Corporation*, *Nexolve Holding Company LLC* e *Vector Launch INC*, com 2 patentes (6,45%) cada uma, e demais instituições com 1 patente cada (3,23%).

Quanto à classificação CPC, é identificado que grande parte das patentes estão relacionadas ao código B64G1, do qual possui a classificação em Execução de Operações de Transporte (“*Performing Operations Transporting*”). Em maiores detalhes, possuem grande foco em sistemas de energia e comunicação para aplicações espaciais. Já patentes que estão classificadas com os códigos H02J7, H01M10, H01L31, H02S50 e H02S20 são direcionadas aos temas de desenvolvimento estrutural de componentes eletrônicos, sistemas de armazenamento de energia e testes de sistemas fotovoltaicos. Por fim, aquelas com os códigos Y02E10, Y02E60 e Y02E70 estão relacionadas ao desenvolvimento de baterias e sistemas fotovoltaicos.

Figura 15: Quantidade de documentos por (a) instituições e (b) de acordo à classificação CPC.



(a)



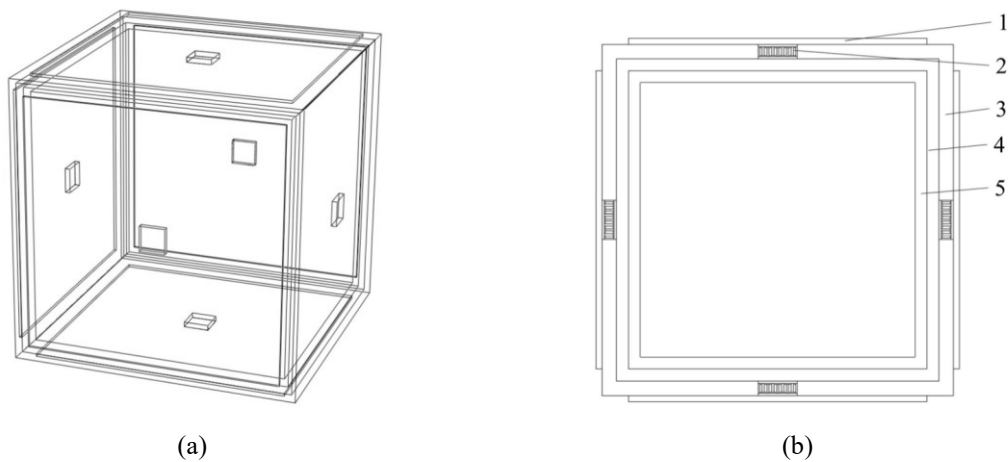
(b)

Fonte: (THE LENS, 2024), adaptado.

### 2.3.3 Patentes de maior relevância

No contexto da pesquisa, (CHAO et al., 2019) descreve a utilização de microdispositivos termoelétricos, compostos por materiais termoelétricos com alto valor ZT em baixas temperaturas e placas cerâmicas de alta condutividade térmica, para gerar eletricidade utilizando o gradiente de temperatura da superfície externa do nanossatélite. Posicionados de forma centralizada nas 6 faces de um *Cubesat* (Figura 16(a)), a estrutura da invenção é exibida pela Figura 16(b), em que (1) é a célula solar; (2) o microdispositivo termoelétrico; (3) a segunda camada de isolamento térmico; (4) a camada termicamente condutora intermediária; e (5) a primeira camada de isolamento térmico. Outros detalhes são apresentados em (CHAO et al., 2019).

Figura 16: Desenho (a) esquemático tridimensional e (b) estrutura das camadas da invenção.



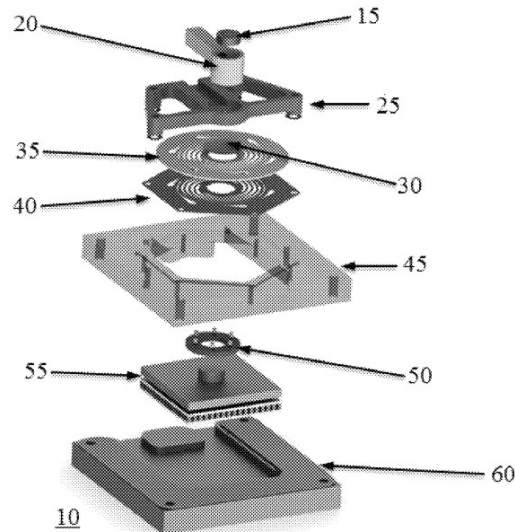
Fonte: (CHAO et al., 2019).

Como apresentam (GRAY; COGGIN, 2017), sua abordagem é descrever um dispositivo capaz de converter calor térmico residual de uma célula fotovoltaica em energia mecânica e, por fim, em energia elétrica. Denominado de Gerador Magneto-Termoelétrico (“*Magneto-Thermoelectric Generator*”, MTG), esta invenção opera baseada na mudança do momento magnético induzido termicamente dentro de um material magnético em função da transição térmica entre a fonte de calor e o dissipador. Para isso, é necessário a utilização de um meio para forçar a restauração não linear do movimento, exemplificado pelo uso de uma mola a qual é acoplada a um material ferromagnético.

Sua construção é observada na Figura 17, de cima para baixo, em que (10) detalha o dispositivo MTG, subdivido em (15) um circuito magnético superior; (20) a fonte de calor; (25)

ponte de baixa densidade; (35) uma camada piezométrica; (30) um ímã; (40) a mola ferrosa; (45) o alojamento da mola de baixa densidade; (50) o circuito de retorno não-linear traseiro; (55) um dissipador de calor; e (60) base que suporta a parte inferior do dispositivo MTG.

Figura 17: Vista explodida do dispositivo MTG.



Fonte: (GRAY; COGGIN, 2017).

No estado frio, o material magnético estará na posição fechada, ou seja, em contato térmico com o ímã duro do lado quente. À medida que o calor da fonte é conduzido para o material magnético, ele se aproximará de sua temperatura de transição e experimentará uma mudança na magnitude ou direção de sua magnetização. Com a força magnética oposta enfraquecida, os meios para a força restauradora não linear retornam o material magnético para o lado frio do dispositivo. Após transferência de calor suficiente para o lado frio, o momento magnético retornará ao seu estado original, retornando o material à sua posição no lado quente. O movimento do material magnético entre o lado quente e o lado frio causa oscilações mecânicas, que são uma forma de força restauradora não linear. A energia elétrica é gerada acoplando os meios para força de restauração não linear com um material piezoelétrico que resulta na produção eletromecânica de energia elétrica. Seu funcionamento e metodologia é apresentada em (GRAY; COGGIN, 2017).

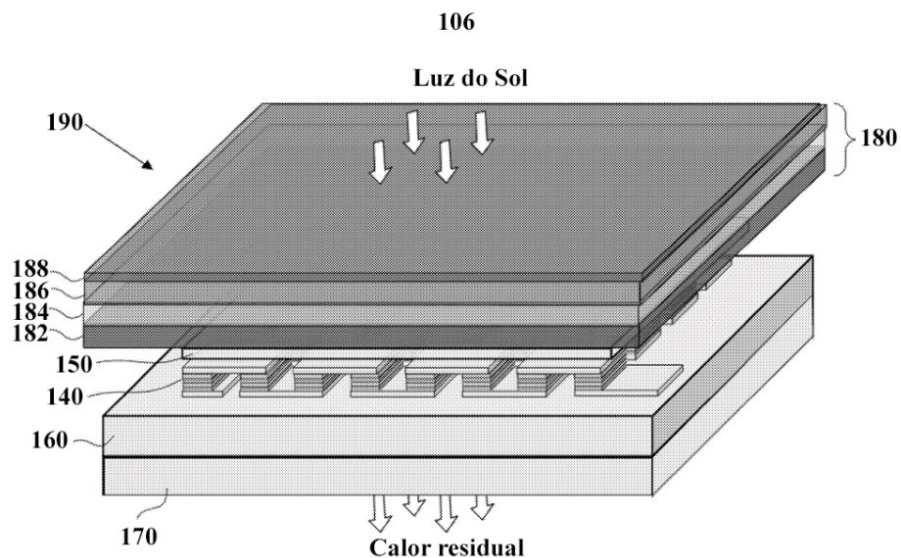
Enquanto isso, (VENKATASUBRAMANIAN et al., 2022) descrevem métodos para fabricação de dispositivos Termoelétricos de Filme-Fino Nanoengenhierados (*"Nano-Engineered Thin-film Thermoelectric, NETT"*) para aplicações fotovoltaicas de junção múltipla

(“Multiple Junction Photovoltaic”, MPV).

Com foco no emprego espacial, sua utilização em satélites é apreciada em termos de aproveitamento de energia residual, otimizando seu tamanho, peso e potência. Em certos casos, os dispositivos NETT podem ser usados entre as mantas térmicas usadas por satélites, proporcionando energia distribuída para diversos sensores sem que haja dependência da matriz de painéis solares. Isso significa que a saída de energia térmica residual pode ser considerada como a soma da potência total da luz solar incidente, menos a saída de energia dos painéis solares fotovoltaicos, e menos a saída de energia do NETT.

A estrutura do dispositivo MJPV-NETT é exibida pela Figura 18, em que (190) mostra a fabricação do dispositivo MJPV-NETT; (180) a célula solar MJPV; (150) o coletor de calor; (182) a primeira camada, (184) a segunda camada e (186) a terceira camada da célula solar; (188) revestimento antirreflexo; (160) um dispositivo dissipador de calor; (140) o NETT; e (170) um dispositivo radiador. Detalhes complementares disponíveis em (VENKATASUBRAMANIAN et al., 2022).

Figura 18: Desenho esquemático do dispositivo MJPV-NETT.



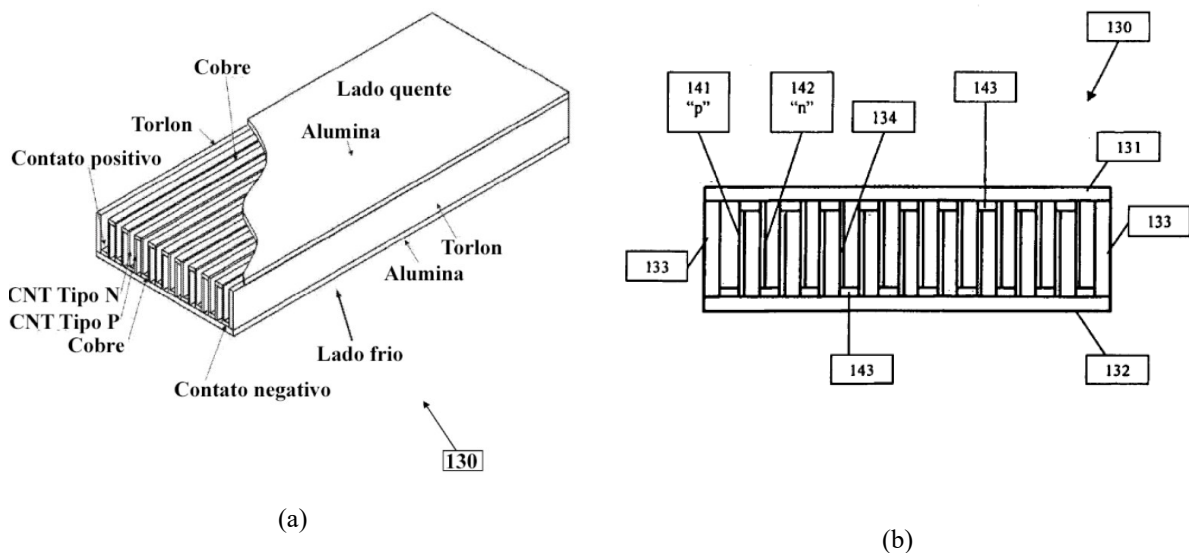
Fonte: (VENKATASUBRAMANIAN et al., 2022), adaptado.

Em paralelo, (LASHMORE et al., 2009) realizou estudos na mudança da geometria, material e peso de TEGs para aplicações espaciais. Como resultado, patenteou um dispositivo termoelétrico constituindo-se de (i) um primeiro elemento projetado para coletar calor de uma fonte de calor, (ii) um segundo elemento espaçado do primeiro elemento com a finalidade de

dissipar calor do primeiro elemento, e (iii) um núcleo posicionado entre o primeiro e segundo elemento para converter calor em energia útil. Este último é composto por um nanotubo de carbono que apresenta um coeficiente de Seebeck relativamente alto, o qual aumenta conforme há o aumento da temperatura. Além disso, exibe uma temperatura de transição relativamente alta, possibilitando que os elementos acoplados entre si operem em uma faixa de temperatura substancialmente alta.

Sua construção é exibida pela Figura 19(a), e detalhada pela Figura 19(b) onde (134) é o núcleo; (141) e (142) as pernas do tipo “n” e “p”, respectivamente, compostas por folhas de nanotubos de carbono; (133) os suportes; (143) os elementos de condução; (131) a face quente; (132) a face fria.

Figura 19: Desenho esquemático do dispositivo termoeétrico composto por núcleos de nanotubos de carbono.



Fonte: (LASHMORE et al., 2009), adaptado.

Esta invenção possui utilizada em uma vasta gama de aplicações, tais como (1) carregador de bateria solar; (2) coletor de energia de baixa temperatura adequado para carregar baterias com calor corporal; ou (3) para aplicações usadas em temperaturas muito baixas, tais como em ambientes espaciais ou árticos/antárticos. Especialmente no espaço, tais dispositivos podem ser utilizados em conjunto com células solares de modo a captar o calor residual de satélites, de modo a gerenciar termicamente a estrutura. Para maiores informações, verificar (LASHMORE et al., 2009).

Por fim, (EWELL et al., 2016) relatou a miniaturização de RTGs com o objetivo de fornecer de energia em ambientes que possuem restrições de espaço. Já conhecido, o RTG é um TEG submetido à uma fonte de calor derivada do calor liberado pelo decaimento de um material radiológico adequado, exigindo pouca ou nenhuma manutenção e fornecendo energia elétrica ao longo de décadas. No entanto, à medida que a tecnologia termoelétrica melhora, os projetos de RTGs estão chegando aos limites estruturais, no que se refere ao seu menor tamanho possível, dos quais buscam atender aplicações que exigiriam apenas alguns watts em áreas apertadas e compactas.

Como parte de sua operação, os RTGs e TEGs necessitam de elevados gradientes de para terem um desempenho ideal, mas que resulta em tensões térmicas e fadigas mecânicas. Alcançar eficiência requer projeto cuidadoso para equilibrar o fluxo de calor e maximizar o gradiente de temperatura. Mais detalhes estão disponíveis em (EWELL et al., 2016).

Em síntese, o Quadro 7 aborda as principais características identificadas no RP. Nela é possível destacar que as únicas patentes que se aproximam da proposta, quanto a aplicação de TEGs como fonte de energia para *Cubesats*, são as de (CHAO et al., 2019) e (GRAY; COGGIN, 2017). No entanto, estas patentes diferenciam-se principalmente porque integram um sistema híbrido de TEG com células solares (ou outro tipo), além de não fornecerem energia para todo o nanossatélite. Adicionalmente, Gray e Coggin discutem dispositivos termoelétricos para regular a temperatura de sensores e subsistemas específicos, em vez de fornecer energia para todo o sistema.

Quadro 7: Mapeamento das principais características abordadas no tema.

Características Analisadas	Principais publicações da PI.					
	Chao et al (2016)	Gray e Coggin (2013)	Venkatasu bramanian et al. (2022)	Lashmore et al. (2008)	Ewell et al. (2016)	Proposta
Estudo de dispositivos termoelétricos como geradores de energia elétrica	✓	✗	✗	✓	✓	✓
Apresenta modificação na estrutura padrão de TEGs	✗	✓	✗	✓	✓	✓
Possui aplicações espaciais	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aproveitamento somente calor residual das condições ambiente	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Compõe um sistema híbrido com células solares ou outro tipo	✓	✓	✓	?	✓	✗
Aplicação em <i>Cubesats</i>	✓	✓	✓	?	✓	✓
Impacto no fornecimento de energia subsistemas <i>Cubesats</i>	✓	✓	?	?	?	✓
Utiliza somente de TEGs para fornecimento integral de energia de <i>Cubesats</i>	✗	✗	?	?	?	✓

Fonte: Autoria própria.

### 3 ANÁLISE COMPARATIVA DO PORTFÓLIO CIENTÍFICO E DE PATENTES

Esta seção tem como objetivo estabelecer as relações existentes entre o PB. encontrado através da metodologia *ProKnow-C*, e a busca realizada pela PI, resultando no RP. Nela, são avaliadas as conexões entre os autores e inventores de cada repositório, bem como o progresso da P&D tem em relação ao avanço das inovações industriais no tema pesquisado.

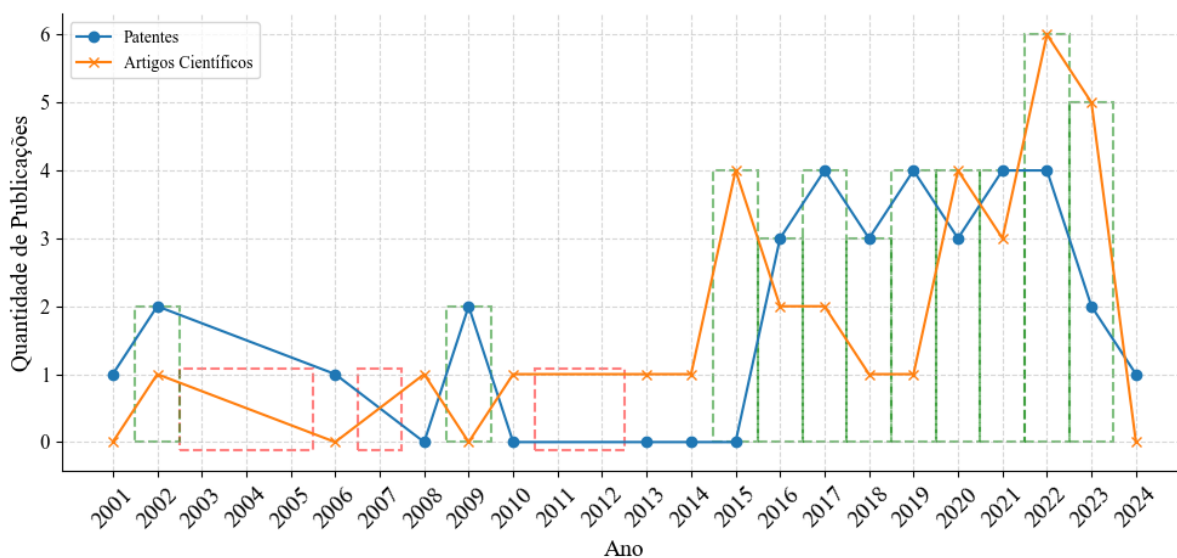
#### 3.1 RELAÇÃO ENTRE O AVANÇO CIENTÍFICO E INDUSTRIAL

A importância da análise comparativa do PB, que compõe os artigos de maior relevância acadêmica, com o RP, construído a partir das patentes mais relevantes no meio industrial, estabelece as principais relações existentes quanto à produção e desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao fornecimento de energia para a EPS de *Cubesats*. Com isso, são estruturadas as análises dos avanços científicos e industriais extraídos da análise bibliométrica e comparados com as conexões existentes entre os autores e inventores, palavras-chave e histórico anual de produção de trabalhos.

Desta forma, inicia-se a avaliação a produção anual de trabalhos a partir da relação existentes artigos científicos e patentes vinculados ao tema proposto nesta pesquisa, auxiliando no diagnóstico evolutivo dos documentos e seus possíveis vínculos históricos. Seu resultado é ilustrado pela Figura 20, em que, para melhor análise do comportamento, são definidas regiões retangulares que possuem critérios de desempenho. São eles: retângulos vermelhos indicam os intervalos entre os anos em que não houve publicação para ambos os documentos; e retângulos verdes enfatizam os anos em que a quantidade total de ambos os documentos é maior que 1.

A análise indica um aumento na produção de trabalhos relacionados ao tema estudado nesta pesquisa a partir do ano de 2014, com pelo ao menos um total de 2 publicações ao ano. Além disso, é observado períodos sem publicação nos anos 2002 a 2005, 2006 a 2008 e 2010 a 2013. Esse padrão sugere um crescimento no interesse no tema investigado por artigos vinculados tanto à P&D quanto à indústria ao longo dos últimos 10 anos.

Figura 20: Quantidade de Artigos Científicos e Patentes ao longo dos anos.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2 INTER-RELAÇÕES DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO E RESPOSITÓRIO DE PATENTES

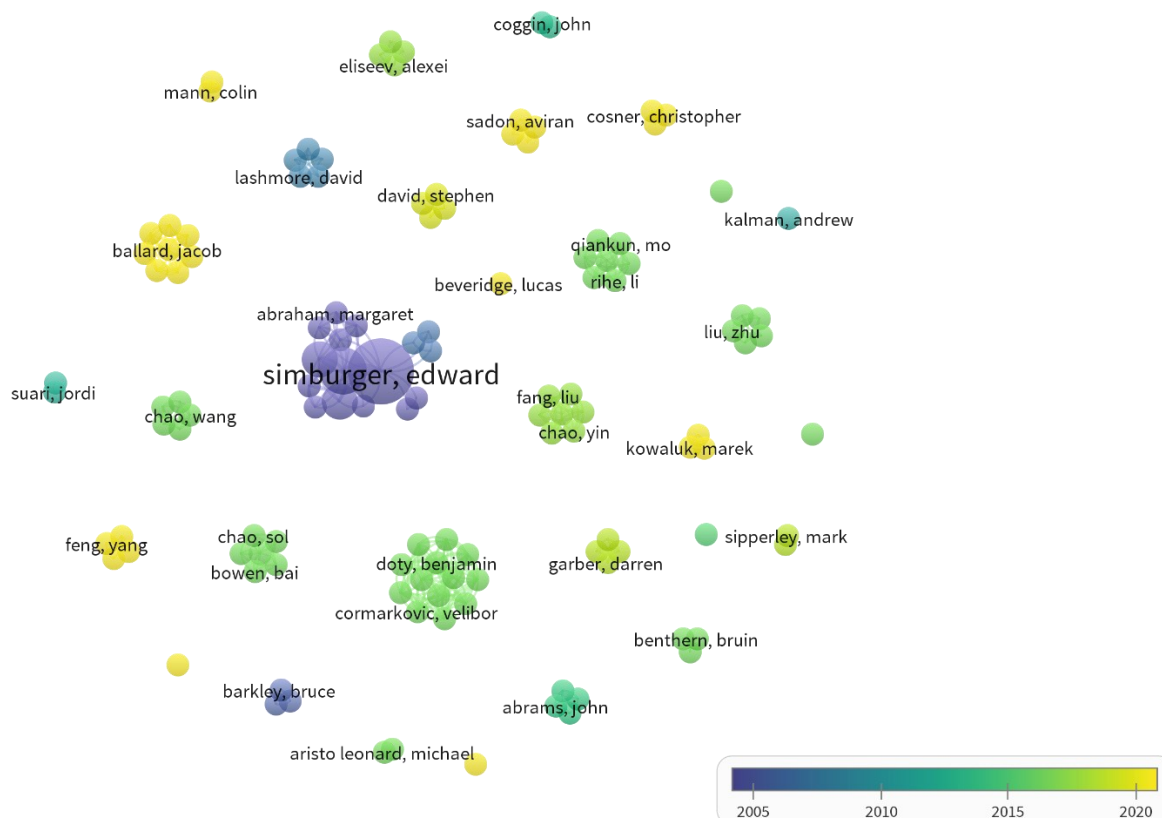
Com o objetivo de explorar as inter-relações existentes tanto para os autores e PCs dos artigos do PB quanto para os inventores das patentes do RP, é adotada uma abordagem analítica robusta por meio do *software open-source Vosviewer*. O foco desta análise está em mapear as principais conexões entre os autores e inventores, com intuito de identificar os principais influenciadores-chave nas áreas científicas e industriais e contribuir para uma compreensão aprofundada das tendências de P&D. Adicionalmente, busca-se destacar as redes de colaboração que possam influenciar em futuros trabalhos acadêmicos.

Para as patentes, são obtidos os respectivos mapeamentos detalhados de autores e coautorias ilustradas pela Figura 21. Neste caso, são identificados um total de 32 grupos de inventores isolados e sem relação, destacando-se particularmente o inventor Edward Simburger. Este apresenta maior densidade de interconexões entre inventores, o que corrobora com a análise realizada na seção anterior (Figura 14) e confirma sua relevância em invenções deste ramo no meio industrial. Adicionalmente, destaca-se o ano de publicação das patentes relacionadas e os vincula a seus inventores, revelando uma tendência de novos inventores emergentes, tais como Stephen David, Jacob Ballard, entre outros após 2016.

Uma análise adicional é a falta de conexão entre os 32 grupos de inventores. Isso sugere que, apesar do progresso na invenção de patentes relacionadas à pesquisa, não há uma

correlação direta entre as invenções de cada subgrupo. Isso evidencia uma possível confidencialidade e restrição quando se trata de compartilhar informações entre inventores de diferentes instituições.

Figura 21: Mapeamento das conexões existentes entre os inventores.



Fonte: Autoria própria.

Sequencialmente, o Quadro 8 apresenta patentes relacionadas às principais conexões existentes de cada inventor, subdivididas em baixa, média e alta densidade.

Quadro 8: Relação entre as patentes e o grau de densidade.

Densidade	Título
Alta Densidade	<i>Flexible thin film solar cell</i>
	<i>Integrated solar power module</i>
	<i>Integrated thin film battery and circuit module</i>
	<i>Power distribution system</i>
Média Densidade	<i>Spacecraft solar cell monitoring system</i>
	<i>Nano-engineered thin film thermoelectric converter for photovoltaic applications</i>
	<i>Radioisotope thermoelectric generator</i>

Quadro 8: Relação entre as patentes e o grau de densidade.

Densidade	Título
Baixa Densidade	<i>Micro-nano satellite power system based on supercapacitor</i>
	<i>A power supply</i>
	<i>Power supply and distribution module applied to Cubesat</i>
	<i>Compact nuclear power system applied to space environment and working method</i>
	<i>Solar battery and the integrated device of slot antenna</i>
	<i>Satellite-constructor, training-demonstration model</i>

Fonte: Autoria própria.

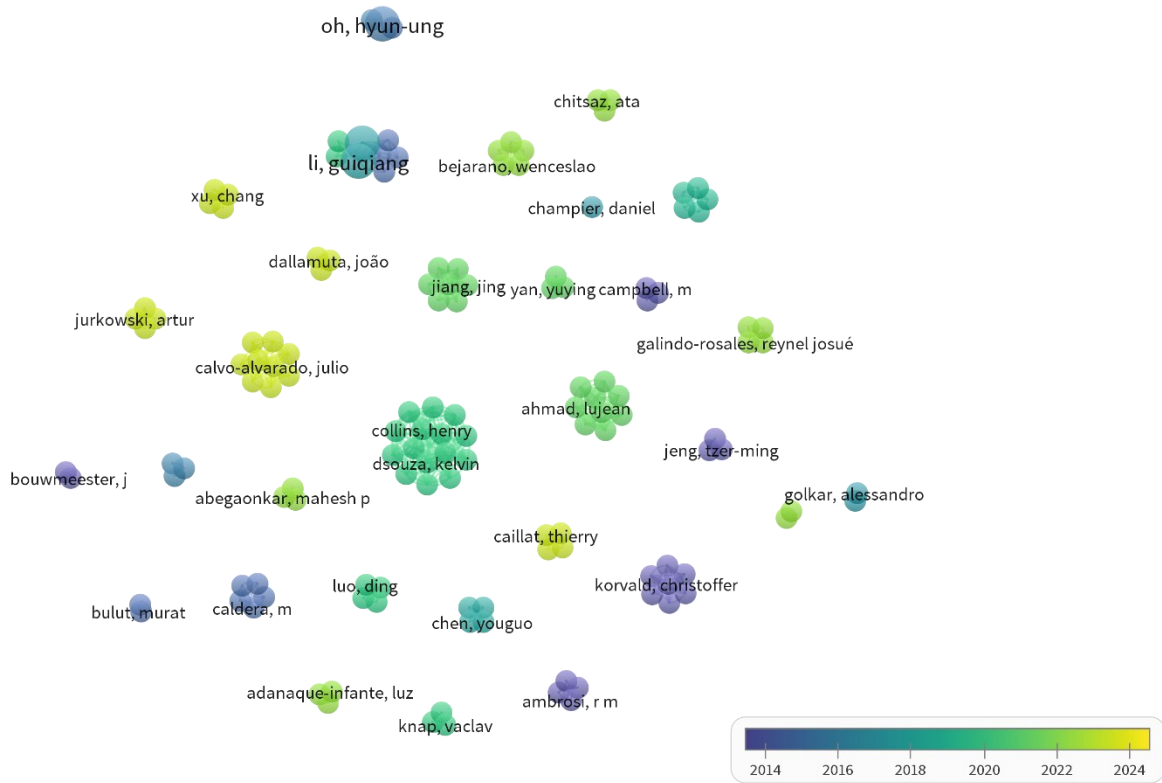
As patentes de alta densidade indicam estudos relacionados a células solares e sistemas de armazenamento de energia, como a célula solar de filme fino flexível e o módulo integrado de bateria e circuito de filme fino.

Já as patentes de média densidade apresentam variações em inovações como os geradores termoelétricos de filme fino e a aplicação do RTG. Por fim, as patentes de baixa densidade abordam tanto sistemas de armazenamento quanto de fornecimento de energia para *Cubesats*, utilizando baterias, células solares e modificações do RTG, além de sistemas de comunicação. Exemplos incluem módulos de distribuição de energia aplicados a *Cubesats* e sistemas compactos de energia nuclear para ambientes espaciais.

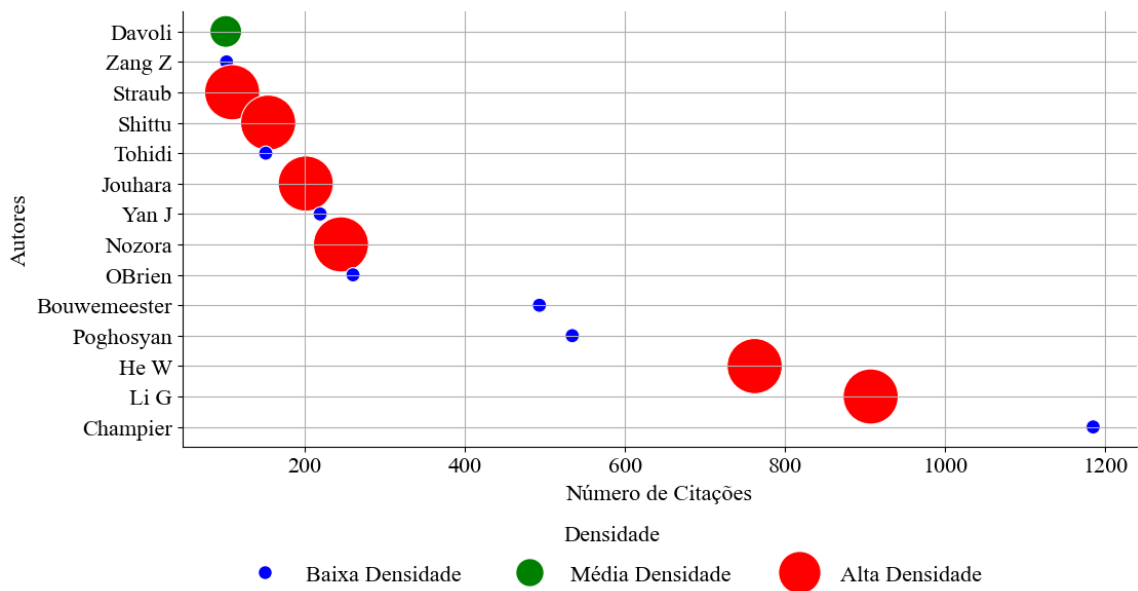
Quanto aos artigos científicos, de forma similar aos critérios adotados anteriormente, o mapa de densidades é ilustrado pela Figura 22 (a), apresentando um total de 31 grupos de autores isolados e sem relação, com vínculos existentes entre os autores para artigos específicos. Ao avaliar a densidade de cada grupo, é possível extrair seu grau de intensidade de acordo ao estudo de citação por autor apresentado na Figura 7 (b). Como resultado, obtém-se a Figura 22 (b), demonstrando que, neste estudo, a relação de citações não é diretamente proporcional à densidade de conexão, visto com Champier D que possui 1.185 citações e tem baixa densidade, enquanto Sratub et al e Shittu et al. com 109 e 154 citações, respectivamente, possuem alta densidade.

De forma análoga, observa-se o mesmo padrão de isolamento que ocorreu com as patentes, evidenciando um isolamento de cada artigo científico quanto ao desenvolvimento acadêmico relacionado ao tema da pesquisa.

Figura 22: Representação do (a) mapeamento por densidade e (b) relação entre o número de citações por autor com a densidade.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria.

Ao final, apresenta-se a Quadro 9 que de relacionado o grau de densidade dos artigos científicos em função das conexões existentes entre os autores, estando relacionados, também, à baixa, média e alta densidades. Com base na distribuição dos títulos dos artigos científicos nas categorias de densidade, os artigos classificados como de "Alta Densidade" focam em tecnologias relacionadas à *CubeSats*, sugerindo uma discussão técnica detalhada sobre o desenvolvimento e as capacidades desses nanossatélites. Além disso, destaca a otimização da geometria e aplicações de TEGs, refletindo numa exploração profunda sobre como maximizar a eficiência desses dispositivos.

O artigo classificado como “Média Densidade” apresenta um escopo um pouco mais amplo, abrangendo uma visão geral sobre as estruturas, arquiteturas e protocolos de *Cubesats*. Por fim, os artigos abordados como de “Baixa Densidade” discutem tanto as diversas aplicações dos TEGs de forma mais genérica como os estudos que tratam da análise global de missões de nano e picossatélites e a utilização de RTGs em missões espaciais.

Quadro 9: Relação entre os artigos científicos e o grau de densidade.

Densidade	Título
Alta Densidade	<i>OpenOrbiter: A low-cost, educational prototype CubeSat mission architecture</i>
	<i>Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement</i>
	<i>Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications</i>
	<i>Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems</i>
	<i>CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions</i>
Média Densidade	<i>Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement</i>
	<i>Small satellites and CubeSats: Survey of structures, architectures, and protocols</i>
	<i>A review of the state-of-the-art in electronic cooling</i>
Baixa Densidade	<i>Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications</i>
	<i>Review of Micro Thermoelectric Generator</i>
	<i>Safe radioisotope thermoelectric generators and heat sources for space applications</i>
	<i>Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology</i>
	<i>CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions</i>
	<i>Thermoelectric generators: A review of applications</i>

Fonte: Autoria própria.

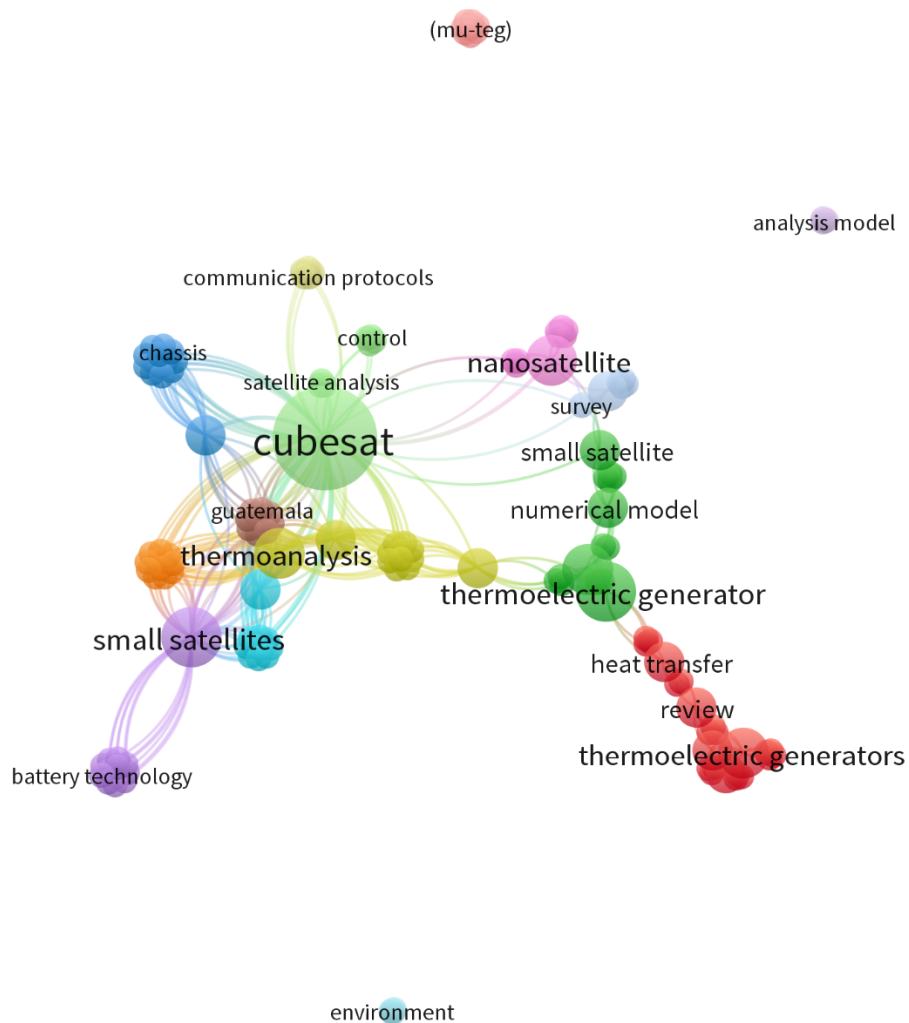
### 3.3 ANÁLISE DAS PALAVRAS-CHAVE

Esta seção visa estabelecer as relações existentes entre o PB, encontrado através da metodologia *ProKnow-C*, e a busca realizada pela PI, resultando no RP, através das relações existentes entre as PCs de cada artigo, com o objetivo de identificar os termos mais relevantes

associados aos *Cubesats*, focando em seus subsistemas e fontes de energia. Além disso, busca-se diagnosticar a conexão entre a aplicação de TEGs e a análise térmica nas estruturas desta categoria de nanossatélite.

Como consequência disso, a Figura 23 ilustra que o termo destaque *cubesat* é o principal associado a ramificações em termoanálise, condições de contorno, tecnologias de comunicação e distribuição, armazenamento e consumo de energia.

Figura 23: Relação das principais PCs dos artigos do PB.



Fonte: Autoria própria.

Ao final, não foram identificadas relações diretas com a aplicação de TEGs como fonte

de energia principal, mas sim como reguladores de temperatura para estes subsistemas. Apesar disso, esta análise corrobora com a combinação de PCs inicialmente utilizadas e apresentadas tanto na Tabela 2 quanto no gráfico apresentado pela Figura 9 demonstrando que elas estão coerentemente alinhadas com o tema proposto nesta pesquisa.

Outro destaque importante é a ausência do tópico "Palavras-Chave" em documentos de patentes, indicando ser recomendável a busca pela síntese dos documentos para identificar as principais palavras que os descrevem. Esta síntese possibilitaria a comparação com as palavras mais frequentes no PB, de modo a verificar a relação existente entre os Eixos estabelecidos pelo *ProKnow-C* e aqueles identificados na busca pela PI.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão teve como objetivo reconhecer a aplicação de TEGs atuando como principal fonte de energia em nanossatélites, especialmente nos modelos *Cubesat*, de maneira a identificar as estruturas, sistemas e subsistemas impactados em condições espaciais. Como resultado primordial, o estudo destacou a ausência da aplicação de TEGs. Motivada pela lacuna descrita na Seção 1.2, a pesquisa utilizou a metodologia *Proknow-C* para realizar a pesquisa do estado-da-arte.

Conforme apresentado, a realização de uma busca sistemática na literatura científica permitiu a construção de um PB com 33 artigos cientificamente relevantes. Após os processos de filtragem, foi possível definir adequadamente as condições iniciais e de contorno necessárias para avaliar a aplicação de TEGs em *Cubesats* nas condições espaciais. Um método semelhante foi aplicado na busca de patentes, resultando em um RP com 34 patentes, das quais apenas 5 cumpriram os critérios estabelecidos na Seção 2.3.1, sendo que apenas 2 (40%) se aproximaram da proposta estabelecida na pesquisa.

Como avaliação inicial, observa-se que 7 (63,63%) dos 11 artigos apresentados no Quadro 4, Seção 2.2.4.1, utilizam amplamente de *softwares* de simulação, como o *ANSYS®* e *Matlab®*, para avaliar o comportamento térmico nas faces dos *Cubesats*. Esses estudos consideram as especificações de construção do *Cubesat*, incluindo o material da estrutura, quantidade de PCBs, baterias utilizadas, entre outros fatores. Essa análise permitiu identificar a disposição dos subsistemas, fornecendo uma base sólida para futuras análises FEM. Adicionalmente, as simulações possibilitam avaliar a aplicação de TEGs a partir da temperatura nas faces do *Cubesat*, demonstrando como esses dispositivos podem ser integrados à sua estrutura.

Outro resultado importante foi a ausência de trabalhos que mencionem diretamente o uso de TEGs como fonte de energia em nanossatélites. Conforme identificado nos artigos de pesquisa e revisão, a análise computacional dos TEGs concentra-se tanto em aplicações terrestres, como nos setores industrial e automobilístico, quanto em estudos para otimizar sua estrutura e geometria visando a maximização da geração de energia elétrica.

Quanto às patentes, das 34 analisadas, observa-se uma predominância de invenções originadas nos Estados Unidos, o que ilustra a escassez de incentivos para o tema proposto nesta revisão tanto no Brasil quanto internacionalmente. Das patentes relevantes, apenas 1 (20%) apresenta aplicação de micro-TEGs, enquanto as demais incluem modificações estruturais nos TEGs que possivelmente têm sua aplicação em nanossatélites, mas sem informar diretamente

seu uso, conforme apresentado pelo Quadro 7. Assim, evidencia-se a falta de na busca e inovação pela otimização da geometria dos TEGs em função da estrutura dos *Cubesats*, dos quais utilizam de outras formas de energia como células solares ou aplicações magnéticas, conforme descrito na Seção 2.3.3.

A partir da análise entre o PB e o RP realizada na Seção 3.1, destaca-se um pico na criação de patentes entre 2016 e 2020, com pouca variação em sua produção anual, enquanto, no mesmo período, houve um declínio na produção de artigos científicos. Apesar desta ocorrência, observa-se um crescimento na produção de artigos científicos a partir de 2019, indicando a influência da indústria no campo acadêmico relacionado a esta pesquisa. Em relação às patentes, a partir de 2020, o foco predominante está na otimização estrutural e térmica dos *Cubesats*, sugerindo um aprofundamento nas pesquisas sobre o comportamento térmico dos nanossatélites. Essas informações são cruciais para a aplicação de TEGs como fonte de energia, embora sua aplicação direta ainda não tenha sido identificada.

Grande parte das patentes são classificadas em Execução de Operações de Transporte, de acordo ao CPC, dos quais possuem grande foco em sistemas de energia e comunicação para aplicações espaciais. Outra parcela das patentes é direcionada aos temas de desenvolvimento estrutural de componentes eletrônicos, sistemas de armazenamento de energia e testes de sistemas fotovoltaicos. As demais patentes estão relacionadas ao desenvolvimento de baterias e sistemas fotovoltaicos. Logo, apesar das patentes poderem ser classificadas por mais uma classificação CPC, não são identificadas patentes designadas à aplicação de TEGs como fonte de energia em *Cubesats*, demonstrando uma lacuna industrial quanto a novidades nos sistemas de fornecimento de energia em nanossatélites.

O delineamento metodológico utilizado na construção do PB e do RP possibilitou a realização da análise bibliométrica sobre a relevância dos artigos científicos e patentes, autores e inventores, PCs e BDs, conforme apresentados na Seção 2. A partir desta análise, foi possível formular as conclusões sobre o tema da pesquisa, as quais são apresentadas de forma detalhada no Quadro 10.

Quadro 10: Conclusões s sobre o tema de TEGs atuando como fonte de energia em *Cubesats*.

Pergunta de pesquisa	Resposta
Qual a importância do estado-da-arte para o tema da pesquisa?	Como proposta de mapeamento, não é identificada a relação direta de TEGs atuando como fonte de energia para <i>Cubesats</i> , se não como dispositivos termoeletrônicos reguladores de temperatura para dispositivos internos. Isso demonstra a importância na realização do estado-da-arte frente ao tema proposto.
Existem revisões sistemáticas relacionadas ao tema proposto?	Após a identificação dos 7 artigos de revisão, constatou-se que não há abordagem direta quanto a uma revisão da literatura sobre o tema desta pesquisa, indicando que se trata de um estudo pioneiro no assunto e que possivelmente servirá como

Quadro 10: Conclusões s sobre o tema de TEGs atuando como fonte de energia em *Cubesats*.

Pergunta de pesquisa	Resposta
Há a exploração de TEGs atuando como fonte de energia para <i>Cubesats</i> ?	base para estudos futuros. Conforme apresentado na Seção 2, os 33 artigos científicos que compõe o PB não apresentam nenhuma aplicação de TEGs aplicados como fonte de energia em <i>Cubesats</i> . Em contrapartida, identifica-se o uso de dispositivos termoelétricos atuando como reguladores de temperatura nos artigos de revisão que focam nos conceitos e aplicabilidades de TEGs.
Há relação entre a P&D com o setor industrial do ramo?	A análise do PB e do RP revela que a produção de patentes começou a aumentar a partir de 2015. Em contraste, a literatura científica apresentou um declínio no mesmo período, retomando uma relação significativa com o desenvolvimento de patentes apenas a partir de 2019. Neste período, identifica-se uma relação entre a P&D e o avanço industrial neste tema.
Há influência das publicações no Brasil e internacionalmente?	Dos 33 artigos e 34 patentes encontrados, nenhum indica uma produção da literatura científica e de PI no Brasil, demonstrando a baixa demanda e produção acadêmica sobre o tema no país. Além disso, conforme identificado na Seção 2.3.2, há uma hegemonia norte-americana no campo das patentes relacionadas ao tema, indicando, também, a baixa produção da PI internacional.

Fonte: Autoria própria.

Em conclusão, a exploração de TEGs aplicados em *Cubesats* como fonte primária de energia oferece uma base sólida para futuras inovações. Este estudo destaca a importância do desenvolvimento contínuo de tecnologias que possam otimizar a captação da energia residual disponível tanto do ambiente espacial quanto dos componentes internos, dependendo da fase da órbita terrestre.

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma modificação dos procedimentos apresentados no fluxograma da Figura 4. Neste caso, sugere-se a captura manual dos 245 artigos perdidos durante a importação no *Mendeley* para garantir a inclusão do maior número possível de artigos científicos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. Além disso, novos critérios de reconhecimento científico, como a utilização do Fator de Impacto das revistas, devem ser considerados. Recomenda-se também a leitura dos resumos dos 92 artigos excluídos, conforme mostrado no fluxograma da Figura 5, após a identificação dos autores não listados no Banco de Autores, pois esses artigos podem conter informações valiosas e influenciar diretamente o tema da pesquisa.

Por fim, sugere-se a condução de estudos focados em simulações numérico-computacionais para descrever as principais propriedades elétricas e térmicas dos TEGs quando aplicados de forma otimizada em relação à estrutura de *Cubesats*. Os resultados desses estudos poderiam revelar métodos inovadores para a utilização de dispositivos termoelétricos em missões espaciais, não apenas para a análise da distribuição de temperatura na superfície do CubeSat, mas também para fornecer energia ao sistema de fornecimento de energia (EPS).

## REFERÊNCIAS

- ABRAMS, J. et al. **Extendable solar array for a spacecraft system**. SpaceWorks Enterprises, Inc. (SEI, 2018.)
- ALÉN SPACE. **A basic guide to nanosatellites**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/>>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- ARISTO LEONARD, M.; SURESH PATEL, S. **Cubesat system**. 2021.
- BEVERIDGE, L. **Space-Based Radioisotope Production and Methods of Use**. 2022.
- BOLD PATENTS. **What's the Difference Between a Pending and a Granted Patent?** Disponível em: <<https://boldip.com/whats-the-difference-between-a-pending-and-a-granted-patent/#:~:text=On%20the%20other%20hand%2C%20a,useful%2C%20meeting%20all%20patentability%20criteria.>>. Acesso em: 27 abr. 2024.
- BOUWMEESTER, J.; GUO, J. Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. **Acta Astronautica**, v. 67, n. 7, p. 854–862, 2010.
- BOWEN, B. et al. **Solar battery and the integrated device of slot antenna**. , 2019.
- BULUT, M.; SOZBIR, N. Analytical investigation of a nanosatellite panel surface temperatures for different altitudes and panel combinations. **Applied Thermal Engineering**, v. 75, p. 1076–1083, 2015.
- CANDOLFI, C. et al. Progress and perspectives in thermoelectric generators for waste-heat recovery and space applications. **JOURNAL OF APPLIED PHYSICS**, v. 134, n. 10, jan. 2023.
- CHACON, S.; GUTIERREZ, J.; ADANAQUE-INFANTE, L. **Modelling cubesat Structure for Thermal Analysis**. Proceedings of the 2022 IEEE 29th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2022. **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85138757480&doi=10.1109%2fINTERCON55795.2022.9870086&partnerID=40&md5=e7ad77f4a5f63d874a75ed9dd135d1f0>>
- CHAMPIER, D. Thermoelectric generators: A review of applications. **Energy Conversion and Management**, v. 140, p. 167–181, 2017.
- CHAO, W. et al. **A kind of device to be generated electricity using satellite external surface temperature gradient**. , 2019.
- CLARIVATE. **Web of Science: Option to save to BibTeX format not available in every database**. Disponível em: <<https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Web-of-Science->

Option-to-save-to-BibTeX-format-not-available-in-every-database?language=en\_US>.

Acesso em: 20 jan. 2024.

CORPINO, S. et al. Thermal design and analysis of a nanosatellite in low earth orbit. **Acta Astronautica**, v. 115, p. 247–261, 2015.

COSNER, C.; STICKELMAIER, J.; WOOTAN, J. **Modular electrical power subsystem architecture**, 2022.

CRUIJSSEN, J.; DATEMA, P.; BENTHERN, B. **SOLAR PANEL AND FLEXIBLE RADIATOR FOR A SPACECRAFT**. , 2020.

DALLAMUTA, J.; PERONDI, L. F.; DE OLIVEIRA, M. E. R. Space missions in South America: Profile and evolutionary perspective of their development. **Acta Astronautica**, v. 206, p. 9–17, 2023.

DAVOLI, F. et al. Small satellites and CubeSats: Survey of structures, architectures, and protocols. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SATELLITE COMMUNICATIONS AND NETWORKING**, v. 37, n. 4, SI, p. 343–359, jan. 2019.

DE, R.; ABEGAONKAR, M. P.; BASU, A. Enabling Science with CubeSats - Trends and Prospects. **IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems**, v. 3, n. 4, p. 221 – 231, 2022.

DERKACS, D. **Space vehicles including multijunction metamorphic solar cells**. , 2021.

DINH, D. **Thermal Modeling of Nanosat**. San Jose, CA, USA: San Jose State University, 1 jan. 2012.

DORSA, A. O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos. **Interações** , 30 out. 2020.

DUNFORD, R.; SU, Q.; TAMANG, E. **The Pareto PrincipleThe Plymouth Student Scientist**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10026.1/14054>>.

EHRlich, J. **Spherical mobility system**. , 2022.

ELISEEV, A. et al. **Satellite-constructor, training-demonstration model**. , 2019.

ELSEVIER. **Mendeley**. Disponível em: <<https://www.mendeley.com/search/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

ENSSLIN, L. et al. **Processo para Mapeamento do Conhecimento de um Tema - ProKnow-C, Knowledge Development Process-Constructivist**. , 2010.

ESCOBAR, E.; DIAZ, M.; ZAGAL, J. C. Evolutionary design of a satellite thermal control system: Real experiments for a CubeSat mission. **APPLIED THERMAL ENGINEERING**, v. 105, n. SI, p. 490–500, jan. 2016.

EVANS, B. G. et al. **1945-2010: 65 years of satellite history from early visions to latest missions. Proceedings of the IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2011.

EWELL, R. et al. **Radioisotope thermoelectric generator**, 2016.

GOMEZ-JENKINS, M. et al. Project Irazú: Space and Ground Systems Engineering of a 1U CubeSat Store and Forward Mission for Environmental Monitoring. **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES**, v. 66, n. 6, p. 217–225, 2023.

GRAY, D.; COGGIN, J. **Magneto-thermoelectric generator for energy harvesting. Physical Review**, 2017.

HAINING, M. et al. **Power supply and distribution module applied to CubeSat.** , 2016.

HE, W. et al. Recent development and application of thermoelectric generator and cooler. **Applied Energy**, v. 143, p. 1–25, 2015.

HEIDT, H. et al. **CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2000/All2000/32/>>. Acesso em: 30 jan. 2024.

HIPP-MÉNDEZ, J. R. et al. **Morazán MRZ-SAT CubeSat: Thermal Modelling and Analysis Guide for Academic CubeSat Missions.** Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. **Anais...International Astronautical Federation, IAF**, 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85167617607&partnerID=40&md5=156028158af638f8c48864bb3306bc58>>

JAMES, A. et al. **A power Supply**, 2020.

JOUHARA, H. et al. Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications. **International Journal of Thermofluids**, v. 9, p. 100063, 2021.

JUNIOR, O. H. A.; LEDESMA, J. J. G.; MACIEL, J. N. Forecasting Solar Power Output Generation - A Systematic Review with Proknow-C. **IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS**, v. 29, p. 612–624, 2021.

JURKOWSKI, A. et al. Thermal modelling of a small satellite data processing unit aided by sensitivity analysis and uncertainty quantification. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 193, p. 108514, 2023.

KALMAN, A. **Solar panel array.** , 2018.

KANG, S.-J.; OH, H.-U. On-Orbit Thermal Design and Validation of 1 U Standardized CubeSat of STEP Cube Lab. **INTERNATIONAL JOURNAL OF AEROSPACE ENGINEERING**, v. 2016, 2016.

KARTUS, R.; KUKRUS, A. **Innovation, product development and patents at universities**. Proceedings of the International Conference of DAAAM Baltic. **Anais**. DAAAM International, 2012.

KHATER, A.; JARRAR, F. **Temperature Distribution of CubeSats Using Finite Element Method**. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. **Anais...International Astronautical Federation, IAF, 2022. Disponível em:** <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85167587526&partnerID=40&md5=e2159cf62d391826c4dc9d353e8f59fd>>

KNAP, V.; VESTERGAARD, L. K.; STROE, D.-I. A review of battery technology in cubesats and small satellite solutions. **Energies**, v. 13, n. 15, 2020.

LACERDA, R.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. **Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho**. São Carlos: [s.n.]. . Acesso em: 17 jan. 2024.

LASHMORE, D. et al. **Nanostructured Material-Based Thermoelectric Generators**. , 2009.

LUO, D. et al. Parametric study of a thermoelectric module used for both power generation and cooling. **Renewable Energy**, v. 154, p. 542–552, 2020.

MANN, C.; WALKER, D. **Modular solar cell and solar cell array**. , 2023.

MARIA, G. Development and Analysis of the Thermal Design for the OSIRIS-3U. 2012.

MORALES, F. O. et al. **Chassis Optimization of a 1U CubeSat made in a developing Country**. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. **Anais...International Astronautical Federation, IAF, 2022. Disponível em:** <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85167569051&partnerID=40&md5=cb60796a5915f70e394f4af468c0215d>>

NASA. **TIROS M Spacecraft (ITOS 1) Final Engineering Report**. [s.l: s.n.].

NASA. **State-of-the-Art: Small Spacecraft Techonology**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.sti.nasa.gov>>.

NING, A. et al. **Satellite modular power supply**, 2020.

NOZARIASBMARZ, A. et al. Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems. **Applied Energy**, v. 258, p. 114069, 2020.

O'BRIEN, R. C. et al. Safe radioisotope thermoelectric generators and heat sources for space applications. **JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS**, v. 377, n. 3, p. 506–521, jan. 2008.

OECD. **The satellite earth observation sector**. [s.l.] OECD, 2011.

OH, H.-U.; PARK, T. Experimental Feasibility Study of Concentrating Photovoltaic Power System for CubeSat Applications. **IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND**

**ELECTRONIC SYSTEMS**, v. 51, n. 3, p. 1942–1949, jan. 2015.

OSTRUFKA, A. L. A. et al. Experimental evaluation of thermoelectric generators for nanosatellites application. **Acta Astronautica**, v. 162, p. 32–40, 1 set. 2019.

PAYREBRUNE, M. **Power supply module for spacecraft**, 2017.

POGHOSYAN, A.; GOLKAR, A. CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 88, p. 59–83, 2017.

POIROT, P.; SMITH, C.; KOWALUK, M. **Satellite thermal control**. , 2024.

ROWE, D. M. **Applications of Nuclear-Powered Thermoelectric Generators in SpaceApplied Energy**. [s.l: s.n.].

SELVA, D.; KREJCI, D. **A survey and assessment of the capabilities of Cubesats for Earth observation**. **Acta Astronautica**, maio 2012.

SHITTU, S. et al. Review of thermoelectric geometry and structure optimization for performance enhancement. **Applied Energy**, v. 268, p. 115075, 2020.

SIMBURGER, E. et al. **Integrated solar power module**, 2001.

SIMBURGER, E. et al. **Flexible thin film solar cell**, 2002.

SIMBURGER, E. et al. **Integrated thin film battery and circuit module**, 2006.

SIMBURGER, E. et al. **Spacecraft solar cell monitoring system**, 2009.

SIMBURGER, E.; PRATER, A.; CARIAN, P. **Power distribution system**, 2002.

SIPPERLEY, M.; SMITH, C. **Thermoelectric rocket propellant tank pressurization system**, 2019.

SIQUEIRA DE SOUZA, T. et al. Aplicação do ProKnow-C para Seleção e Análise de um Portfólio Bibliográfico Sobre Aplicação dos Recursos da Tecnologia 4.0. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 8, n. 2, p. 68–89, 2021.

SLATER, D. **Solar array remote acoustic sensing (SARAS)**, 2018.

STRAUB, J. et al. OpenOrbiter: A low-cost, educational prototype CubeSat mission architecture. **Machines**, v. 1, n. 1, 2013.

SUARI, J.; WILLIAMS, A. **CubeSat system, method and apparatus**, 2016.

THE LENS. **Explore o conhecimento global em ciência e tecnologia**. Disponível em: <Explore o conhecimento global em ciência e tecnologia>. Acesso em: 27 abr. 2024.

TOHIDI, F.; HOLAGH, S. G.; CHITSAZ, A. Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications. **Applied Thermal Engineering**, v. 201, p. 117793, 2022.

TRIBAK, F.; BENDAOU, O.; BEN NEJMA, F. Impact of orbit inclination on heat transfer in a 1U LEO CubeSat. **MATEC Web of Conferences**, v. 371, p. 02001, 2022.

TZENG, S.-C.; JENG, T.-M.; LIN, Y.-L. Parametric study of heat-transfer design on the thermoelectric generator system. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 52, p. 97–105, 2014.

USPTO. **Cooperative Patent Classification**. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/web/offices/pac/mpep/s905.html>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

VENKATASUBRAMANIAN, R. et al. **Nano-engineered thin-film thermoelectric converter for photovoltaic applications**, 2022.

VON LUKOWICZ, M. et al. Characterisation of TEGs Under Extreme Environments and Integration Efforts Onto Satellites. **Journal of Electronic Materials**, v. 44, n. 1, p. 362–370, 1 jan. 2015.

WAYDO, S.; HENRY, D.; CAMPBELL, M. **CubeSat design for LEO-based Earth science missions**. 2002 IEEE AEROSPACE CONFERENCE PROCEEDINGS, VOLS 1-7. **Anais...IEEE**, 2002.

WEISS, G. et al. **Scenario based method for testing software**. , 1 jun. 2021.

WENWEN, C. et al. **Micro-nano satellite power system based on super capacitor**. , 2017.

WENYOU, W. et al. **Compact nuclear power system applied to space environment and working method**. , 2023.

WIPO. **PATENTSCOPE**. Disponível em: <<https://www.wipo.int/patentscope/en/>>. Acesso em: 27 mar. 2024.

WOODS, J. **Solar energy conversion and transmission system and method**. , 2017.

XIAOXIA, X. et al. **Satellite storage battery system**. , 2021.

YAN, J. et al. Review of Micro Thermoelectric Generator. **JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS**, v. 27, n. 1, p. 1–18, jan. 2018.

YU, P. et al. **Numerical Simulation of Thermoelectric Based Temperature Control system for CubeSat in Space**. 2021 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGING SYSTEMS AND TECHNIQUES (IST). **Anais...IEEE**, 2021.

ZHANG, Z.; WANG, X.; YAN, Y. A review of the state-of-the-art in electronic cooling. **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 1, p. 100009, 2021.

ZHOU, Y. et al. **Thermal design and analysis of JZJ-5 CubeSat**. 13TH ASIA CONFERENCE ON MECHANICAL AND AEROSPACE ENGINEERING, ACMAE 2022. **Anais...IOP PUBLISHING LTD**, 2023.