

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JANAINA ALVES TROBIA

**APLICAÇÃO DO METHODI ORDINATIO PARA AVALIAR A PRODUÇÃO DE
CÉLULAS FOTOVOLTAICAS COM O USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2022

JANAINA ALVES TROBIA

**APLICAÇÃO DO METHODI ORDINATIO PARA AVALIAR A PRODUÇÃO DE
CÉLULAS FOTOVOLTAICAS COM O USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

**APPLICATION OF METHODI ORDINATIO TO EVALUATE THE PRODUCTION OF
PHOTOVOLTAIC CELLS USING AGRO-INDUSTRIAL WASTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra. Giane Gonçalves Lenzi

PONTA GROSSA

2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JANAINA ALVES TROBIA

**APLICAÇÃO DO METHODI ORDINATIO PARA AVALIAR A PRODUÇÃO DE
CÉLULAS FOTOVOLTAICAS COM O USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 18/outubro/2022

Giane Gonçalves Lenzi (Presidente)
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Angelo Marcelo Tusset (Membro)
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria Eduarda Fusiki (Membro)
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e ao meu namorado por todo apoio e amor dados durante essa jornada, incentivando minhas ideias e me dando conselhos. Em especial ao meu pai e minha mãe por incentivarem e me dar todo o necessário para meu crescimento e estudo.

À UTFPR-PG e a professora Dra. Giane Gonçalves Lenzi por todo conhecimento e suporte necessários para minha pesquisa e formação pessoal e profissional.

Aos amigos que formei dentro da universidade, os quais me ajudaram e passaram por momentos junto a mim e que eu guardarei em minha memória. Por fim, à Deus por sempre estar comigo durante toda a minha vida e por ter colocado todas essas oportunidades e pessoas em meu caminho.

RESUMO

TROBIA, Janaina Alves. **Aplicação do Methodi Ordinatio para avaliar a produção de células fotovoltaicas com o uso de resíduos agroindustriais**. 2022. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2022.

Um mundo de constantes evoluções exige que o sistema energético passe por transições, a fim de se obter segurança energética, maior qualidade de vida e proteção ao meio ambiente. Além disso, com o avanço da industrialização e intenso crescimento populacional, há uma crescente formação de resíduos devido ao fato de se ter uma maior produção e hábitos de consumo baseados em uma economia linear. Alinhando-se os dois fatos, muitos países têm incentivado as pesquisas a respeito da produção energética limpa e renovável, evidenciando a produção fotovoltaica, com o uso dos resíduos agroindustriais. Neste contexto, os estudos a respeito da produção de nanopontos de carbono (*C-dots*) vêm se destacando. Com isso, o objetivo deste trabalho é estudar o atual estado literário com relação a produção de pontos de carbono (*C-dots*) oriundos a partir de resíduos agroindustriais através do Methodi Ordinatio, comparando-se os dados apresentados nos artigos e avaliando suas características para uso em células fotovoltaicas.

Palavras-chave: energia; nanopontos; agroindústria; resíduos.

ABSTRACT

TROBIA, Janaina Alves. **Application of Methodi Ordinatio to evaluate the production of photovoltaic cells using agro-industrial waste.** 2022. 54 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) – Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2022.

A world of constant evolution requires that the energy system goes through transitions, in order to obtain energy security, better quality of life and protection of the environment. In addition, with the advance of industrialization and intense population growth, there is an increasing formation of waste due to the fact of having a greater production and consumption habits based on a linear economy. Aligning the two facts, many countries have encouraged research on clean and renewable energy production, highlighting photovoltaic production, with the use of agro-industrial waste. In this context, studies on the production of carbon nanodots (C-dots) have been highlighted. Therefore, the objective of this work is to study the current literary state regarding the production of carbon points (C-dots) from agro-industrial residues through the Methodi Ordinatio, comparing the data presented in the articles and evaluating their characteristics for use in photovoltaic cells.

Keywords: energy; nanodots; agroindustry; waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demanda energética mundial ao longo dos anos e crescimento populacional.	13
Figura 2 – Produção de energia no mundo.	14
Figura 3 – Previsão do mercado de tecnologias de produção de energia limpa no mundo até 2050.	15
Figura 4 – Consumo total de energia no Brasil ao longo dos anos.	17
Figura 5 – Matriz energética brasileira nos anos de 2010 e 2020.	18
Figura 6 – Comparativo entre a insolação no território alemão e brasileiro.	19
Figura 7 – Capacidade instalada de usinas eólicas e fotovoltaicas entre 2017 e 2021.	20
Figura 8 – Primeira célula solar desenvolvida por Daryl Chapin e colaboradores.	21
Figura 9 – Esquemas de um sistema fotovoltaico.	22
Figura 10 – Células baseadas em pontos quânticos.	23
Figura 11 – Formas de reaproveitamento dos resíduos agroindustriais.	25
Figura 12 - Etapas do Methodi Ordinatio.	28
Figura 13 - Características da metodologia.	29
Figura 14 - Exemplo de extração das informações dos artigos pelo Zotero.	31
Figura 15 - Gráfico de Pareto.	37
Figura 16 - Rota de síntese bottom-up e top-down.	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de artigos selecionados e autoria.	29
Quadro 2 - Artigo, local e ano de publicação, número de citações e fator de impacto.	32
Quadro 3 – Resíduos utilizados.	38
Quadro 4 - Resumo da viabilidade de uso dos resíduos selecionados nos artigos...41	
Quadro 5 - Rotas de síntese dos C-dots pela abordagem top-down.....	43
Quadro 6 - Características das nanopartículas.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL	13
3.1.1	Competitividade e o Setor Energético	15
3.1.2	Matriz Energética Brasileira	16
3.2	ENERGIA FOTOVOLTAICA	20
3.3	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	24
3.4	PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO	26
4	METODOLOGIA	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA METHODI ORDINATIO	31
5.2	COMPARANDO OS ARTIGOS	38
5.2.1	Resíduo Utilizado	38
5.2.2	Rota de Síntese para Fabricação dos <i>C-dots</i>	42
5.2.3	Avaliação das Características dos <i>C-dots</i> Obtidos	44
5.3	VIABILIDADE DE USO EM CÉLULAS SOLARES	46
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, o mundo vem enfrentando mudanças devido ao avanço da industrialização, a qual trouxe maior qualidade e volume de produtos disponíveis para a sociedade, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população. Contudo, a exploração excessiva dos recursos naturais e sua não reposição no ambiente trazem consequências para essa e próximas gerações humanas, como exemplos, o aquecimento global, efeito estufa, desmatamento e entre outros.

Sendo assim, somando a esse fato o aumento populacional, questões a respeito da conservação do meio ambiente, produção de rejeitos e de energia vem preocupando autoridades mundiais, instituições e a sociedade no geral. Nesse cenário, a matriz energética mundial vem sofrendo alterações, substituindo o uso de fontes energéticas finitas e não renováveis por aquelas de origem limpa e renovável. Segundo informações disponibilizadas pela IEA (*International Energy Agency*, 2021, p. 29), no ano de 2020, onde houve avanço da pandemia de COVID-19 e várias economias sofreram danos devido a isso, o uso de fontes renováveis de energia, com destaques a eólica e solar, aumentou, possuindo custos mais baixos, boa eficiência e mais incentivos políticos e tecnológicos.

O Brasil é um país que apresenta abundância de recursos naturais para produção de energia, entretanto ainda pouco explorados e utilizados, além de possuir grandes áreas disponíveis para agricultura e uma economia agroindustrial forte, as quais geram toneladas de resíduos diariamente que podem ser reaproveitados. Com isso, o conceito de economia circular vem se desenvolvendo cada vez mais no território nacional em substituição ao modelo de economia linear (extrair, transformar e descartar) com o intuito de evitar perdas e desperdícios na cadeia produtiva, sem perder a qualidade do produto final (AZEVEDO, 2015, p. 2).

Sendo assim, estudos estão sendo desenvolvidos para produção de energia solar visando usar células solares mais eficientes. Neste sentido, os pontos quânticos de carbono (PQCs), também conhecidos na literatura por *carbon dots*, *carbon nanodots*, *carbon quantum dots* e *C-dots*, destacam-se por suas propriedades ópticas dependentes do tamanho das partículas (MACHADO et al, 2015, p. 1308). Alguns exemplos de trabalho são o trabalho de Hsu et al (2012), onde desenvolveu-se

nanopontos de carbono utilizando borra de café para análise de suas propriedades fotoluminescentes, o trabalho de Rodrigues (2016), onde analisou-se as propriedades dos *C-dots* produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira, o trabalho de Pires (2019), o qual produziu nanopontos de carbono a partir da goma do cajueiro, e entre outros trabalhos.

Deste modo, visando o reaproveitamento dos resíduos agroindustriais gerados durante a cadeia produtiva, será feita a revisão do atual estado da literatura com relação a produção de *C-dots* feitos a partir de tais resíduos e avaliação de seu uso em células solares mais eficientes, incentivando o uso de um resíduo (em alguns casos visto como subproduto) e fomentando a produção mais limpa e renovável de energia, os quais colaboram para redução de problemas ambientais, como efeito estufa e aquecimento global e aumentam a eficiência energética das células solares utilizando matéria-prima de fonte sustentável e de menor custo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Realizar uma revisão sistemática da produção de nanopontos de carbono (*C-dots*) a partir de resíduos agroindustriais para uso em células fotovoltaicas por meio das literaturas existentes, com o uso da metodologia Methodi Ordinatio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

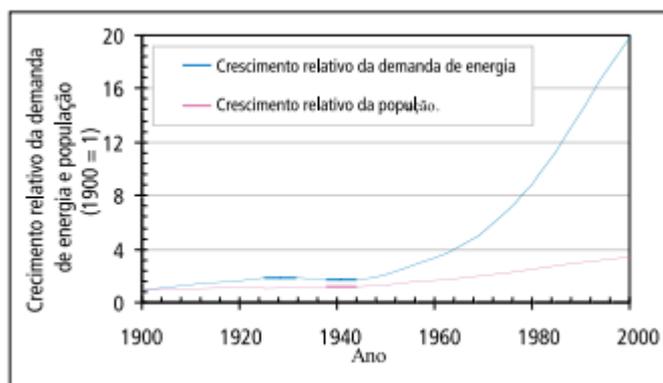
- Aplicar o Methodi Ordinatio para categorização dos artigos elencados;
- Aplicar a ferramenta de Pareto para estabelecer os artigos relevantes para o estudo com relação ao índice InOrdinatio;
- Compreender o que são os nanopontos de carbono (*C-dots*);
- Compreender o funcionamento das células fotovoltaicas;
- Avaliar o atual cenário mundial e local sobre a geração de resíduos agroindustriais;
- Avaliar as formas de produção de *C-dots* com o uso de resíduos agroindustriais existentes na literatura;
- Avaliar as características apresentadas pelos *C-dots* analisado para potencial uso em células fotovoltaicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

A muito tempo a matriz energética mundial vem evoluindo e sofrendo transformações. Essas mudanças foram evidenciadas a partir da Revolução Industrial, onde se usava carvão e combustíveis fósseis como fontes de energia e houve o aumento da demanda energética devido ao aumento populacional, como pode-se observar na Figura 1.

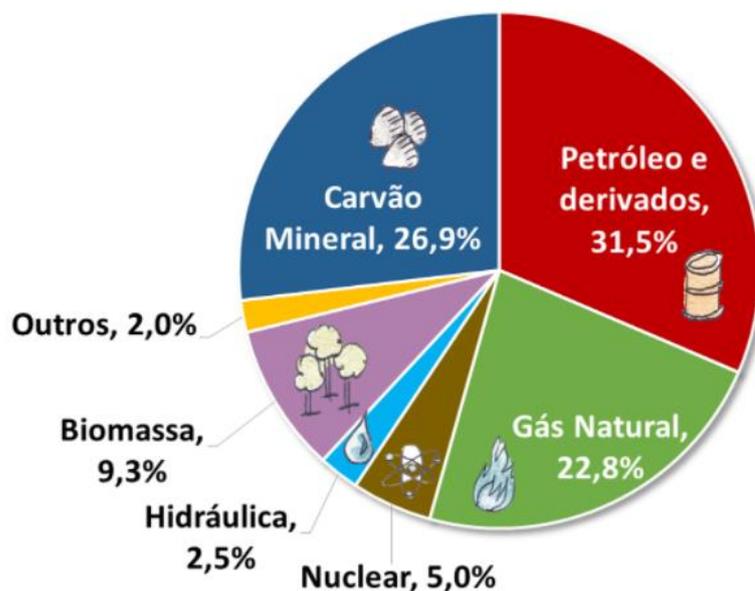
Figura 1 - Demanda energética mundial ao longo dos anos e crescimento populacional.



Fonte: Nogueira e Cardoso, 2007.

Dessa forma, como mostrado na Figura 2, o atual sistema de energia do mundo baseia-se, principalmente, nos usos de petróleo e seus derivados, gás natural e carvão, o que indica que o cenário não mudou muito com o passar dos anos, onde segundo dados do trabalho de Nogueira e Cardoso (2007), em 2007 havia predominância do uso das mesmas fontes para produção de energia.

Figura 2 – Produção de energia no mundo.



Fonte: EPE, 2021.

Sendo assim, ainda é predominante o uso de combustíveis fósseis para produção de energia, o qual acarreta em impactos ao meio ambiente e provoca mudanças climáticas, como emissões de gases do efeito estufa e intensificação do aquecimento global o que gera outros problemas, além de estar próximo do seu fim (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p. 35).

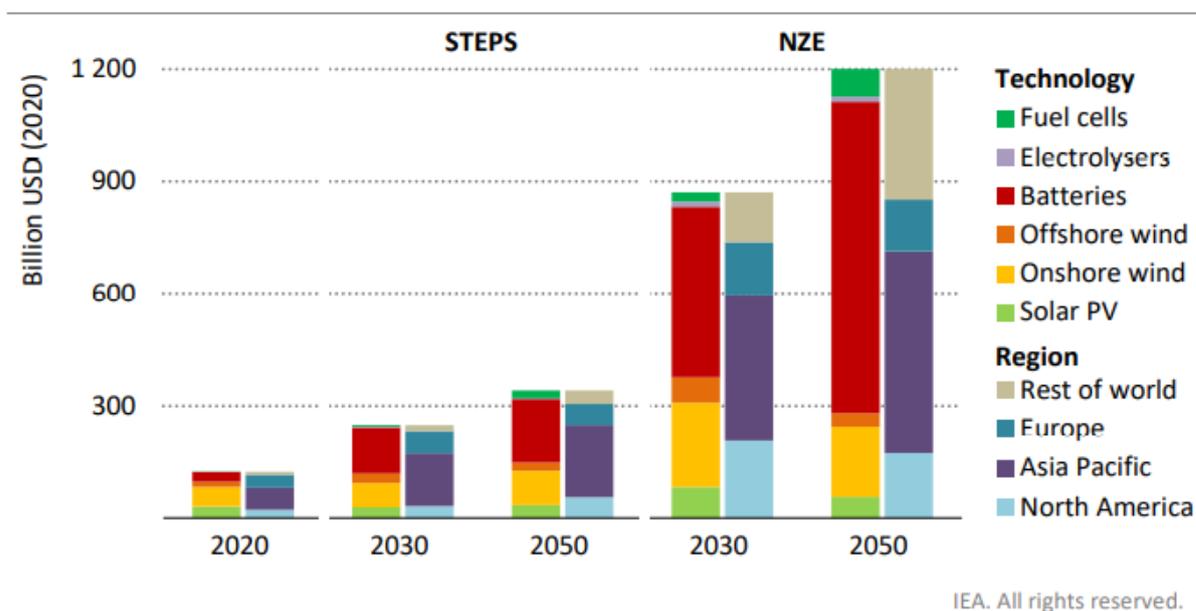
Pensando nisso, segundo Barros (2007),

Face ao acelerado crescimento do consumo mundial de energia associado às incertezas quanto ao suprimento das necessidades futuras, pesquisas por novas fontes energéticas são complementadas por outras que objetivam o seu melhor aproveitamento através de diferentes tecnologias, o que pode adiar no tempo a previsão de crises energéticas, pelo menos nas próximas décadas (BARROS, 2007, p. 49).

Dessa forma, deve-se levar em consideração que apesar das fontes alternativas de energia possuírem, no geral, custos mais elevados de produção do que as geradas por combustíveis fósseis (BARROS, 2007, p. 49), os impactos gerados por essas implicarão na redução dos efeitos causados pelo efeito estufa e aquecimento global. Além disso, elas estão disponíveis naturalmente na natureza e são capazes de suprir a atual demanda mundial de energia.

Sabendo disso, a meta global até 2050 é que as emissões líquidas de gás carbônico (CO₂) no setor energético sejam de zero, sendo que até 2030 espera-se que o investimento anual em tecnologias limpas de produção energia seja de 4 trilhões de dólares (IEA, 2021, p. 27). Dessa forma, segundo a *International Energy Agency* (2021), no ano de 2020, mesmo com o avanço da pandemia de COVID-19 por todo o mundo, o panorama energético sofreu mudanças, com acréscimos nos usos da energia solar e eólica, sendo essas originárias de fontes renováveis. Essas mudanças foram alavancadas por maiores incentivos políticos e tecnológicos, o que abriu oportunidades no mercado de tecnologias limpas de energia e aumentou a competitividade energética internacional e entre empresas do setor, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Previsão do mercado de tecnologias de produção de energia limpa no mundo até 2050.



Fonte: International Energy Agency (IEA), 2021.

3.1.1 Competitividade e o Setor Energético

Há muito tempo já se tem o conhecimento entre a relação intrínseca entre o setor energético e o desenvolvimento de um país e a qualidade de vida de sua

população. Além disso, as indústrias produtoras de energia servem como apoio a outros setores (BARROS, 2007, p. 51). Tudo isso, torna a energia um fator de competitividade e disputas ao redor do mundo. Como exemplos, tem-se datado a guerra entre o Iraque e Síria desde 2011 para obter o controle da produção de petróleo na região e a 1ª Guerra do Golfo ocorrida em 1991, onde o foco também foi o controle de regiões produtoras de petróleo.

Entretanto, a crescente preocupação com o uso de combustíveis fósseis e outras fontes não renováveis para produção de energia vem crescendo ano após ano, fazendo com que a matriz energética mundial venha passando por mudanças na busca por fontes limpas e renováveis de energia. Dessa forma, segundo Tolmasquim (2012), a “[...] sustentabilidade econômica de um país é a sua capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção, com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis”. Sendo assim, devido à essas mudanças, países com acesso a fontes limpas e renováveis de energia obtêm destaque competitivo com relação aos demais (TOLMASQUIM, GUERREIRO e GORINI, 2007, p. 47).

Neste cenário, a *International Energy Agency* (2021) estima que, até 2050, 1,2 trilhões de dólares serão investidos em energia eólica, solar, células de combustíveis e outras formas sustentáveis de produção de energia no mundo. Dessa forma, o Brasil toma um lugar de destaque com enorme potencial de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p. 40), as quais correspondem a 48% da matriz energética do país, segundo dados publicados pelo Departamento de Informações e Estudos Energéticos do Ministério de Minas e Energia (Governo do Brasil, 2021). Com isso, a maior parte da energia é produzida através de hidrelétricas e, atualmente, a produção por eólicas e painéis solares correspondem a 10,9% e 2%, respectivamente, segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (Governo do Brasil, 2021).

3.1.2 Matriz Energética Brasileira

É notável o potencial energético brasileiro, com abundância de recursos hídricos, biomassa e um vasto território nacional com potencial eólico e solar. Contudo, foi durante o século XX que o Brasil passou por um rápido crescimento

econômico e populacional, conseqüentemente a demanda de energia aumentou, como apresentado na Figura 5 (TOLMASQUIM, GUERREIRO e GORINI, 2007, p. 48).

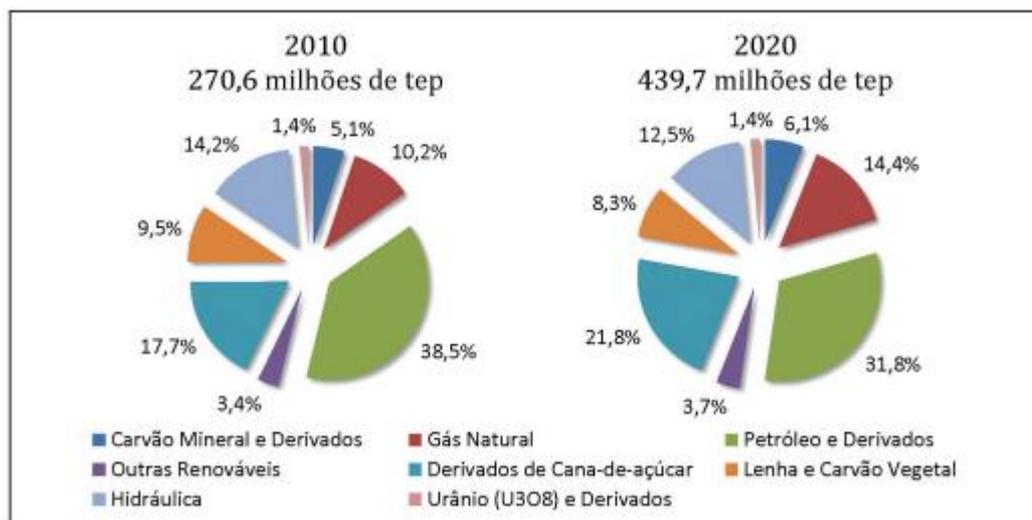
Figura 4 – Consumo total de energia no Brasil ao longo dos anos.



Fonte: EPE, 2022.

Dessa forma, a eletricidade está cada dia mais presente na vida da população, como nos automóveis, iluminação residencial e pública, em sistemas de aquecimento e refrigeração, ambientes industriais e entre outros, onde o acesso a energia é um fator condicionante de bem-estar e qualidade de vida. Além disso, outro fator condicionante é a qualidade do meio ambiente, a qual se mostra afetada por mudanças climáticas e por intervenções humanas. Sendo assim, é imprescindível que ocorram mudanças na forma de produção e consumo de energia para que essas corroborem para a sustentabilidade do meio ambiente. Uma forma de se fazer isso, é a substituição de fontes não renováveis de energia por outras renováveis, sendo que em 2010 a participação do petróleo e derivados na matriz energética brasileira era de 38,5% e estimou-se que em 2020 cairia para 31,8% (TOLMASQUIM, 2012, p. 250), como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Matriz energética brasileira nos anos de 2010 e 2020.

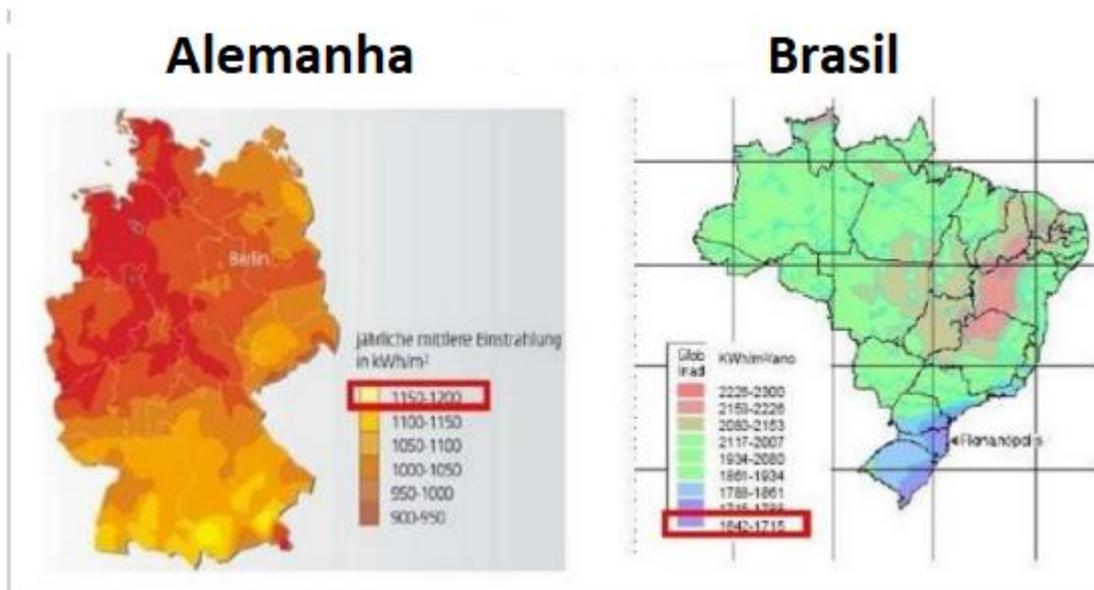


Fonte: TOLMASQUIM, 2012.

Isso indica que, assim como em outros países, o Brasil vem sofrendo mudanças na sua matriz energética, investindo em novas formas limpas e renováveis de produção de energia, além da hidráulica que é predominante em grande parte do país. Sendo assim, dentre as fontes renováveis, a energia eólica e fotovoltaica mostram-se capazes de suprir parte da demanda nacional. Com enfoque na energia fotovoltaica, o Brasil apresenta condições favoráveis para produção solar de energia, possuindo um grande território e climas ideais para isso, sendo que a região Nordeste é a que mais se destaca (RELLA, 2017, p. 31). Dessa forma, no ano de 2021, o mês de setembro representou o mês de maior produção de energia solar com 1006 MW (ONS, 2021), contudo a produção ainda é baixa se comparada a produção de outras formas de energia.

Comparando-se a produção solar brasileira com a alemã, que atualmente encontra-se acima do Brasil no ranking mundial, verifica-se que o Brasil ainda não usufrui da sua capacidade, onde os locais com menor irradiação no país apresentam um potencial 40% maior que os locais de maior insolação na Alemanha, como mostrado na Figura 6 (RELLA, 2017, p. 32).

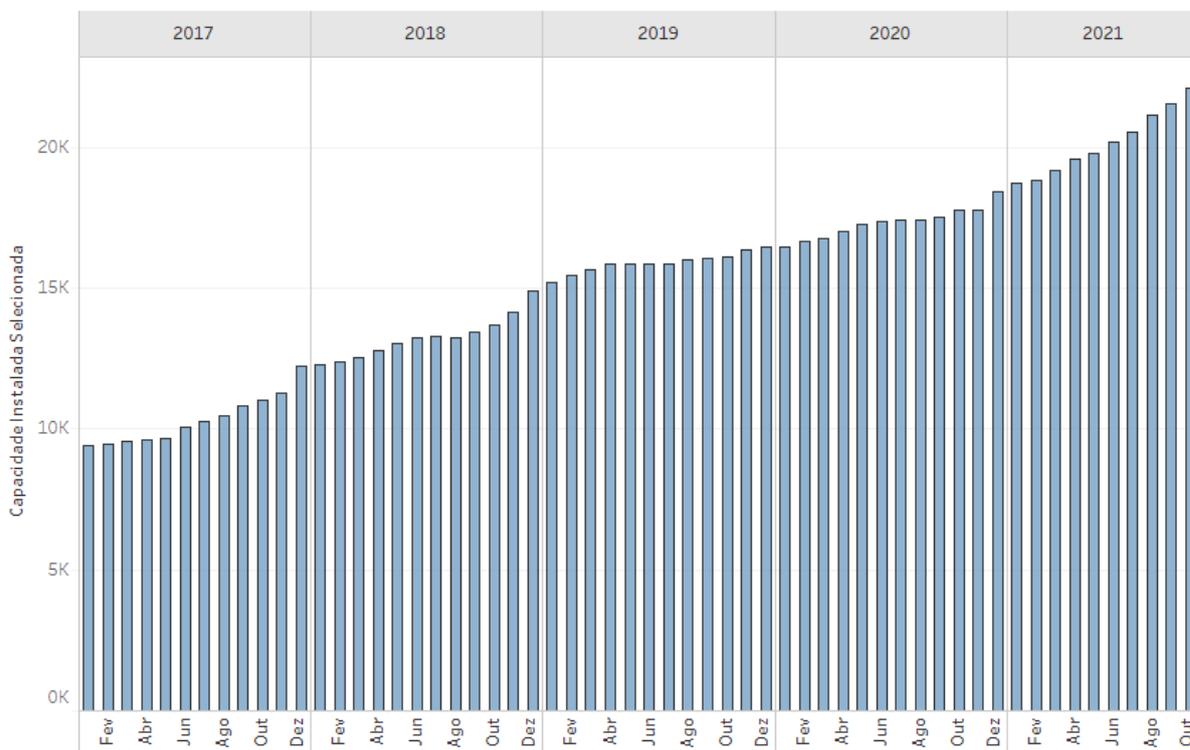
Figura 6 – Comparativo entre a insolação no território alemão e brasileiro.



Fonte: RELLA, 2017 (adaptado).

Entretanto, com maiores incentivos fiscais e pesquisas, as capacidades instaladas de eólicas e energia solar estão aumentando ao longo dos anos, como verificado na Figura 7. Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2021), somente na região Sul, no mês de setembro, a geração eólica e solar atendeu mais de 25% da carga por 60,14% do tempo, indicando a mudança de panorama no país.

Figura 7 – Capacidade instalada de usinas eólicas e fotovoltaicas entre 2017 e 2021.

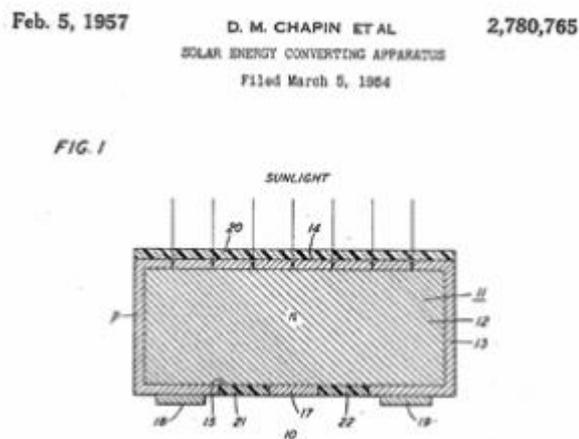


Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), 2021.

3.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Em 1839, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico utilizando uma célula eletroquímica, constituída de dois eletrodos de prata e um eletrólito líquido, os quais, quando submetidos à luz, geravam uma diferença de potencial capaz de gerar corrente elétrica. Em seguida, em 1880, Charles Fritts em Nova Iorque, desenvolveu e ajudou na instalação dos primeiros painéis solares em telhados. Já em 1954, Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolveram e publicaram um artigo a respeito de células solares feitas de junções p-n de silício, vista na Figura 8, com eficiência de 4,5%, alavancando os estudos para obter-se maiores eficiências de conversão.

Figura 8 – Primeira célula solar desenvolvida por Daryl Chapin e colaboradores.



Fonte: BRITO e SILVA, 2006.

O efeito fotovoltaico converte energia solar em eletricidade através da diferença de potencial elétrica entre dois terminais, a qual gera um par elétron-lacuna devido à absorção de um fóton. Dessa forma, a célula fotovoltaica consiste em um dispositivo que produz tensão e corrente elétrica sob efeito de uma iluminação, convertendo a radiação em energia elétrica (LIMA et al, 2019).

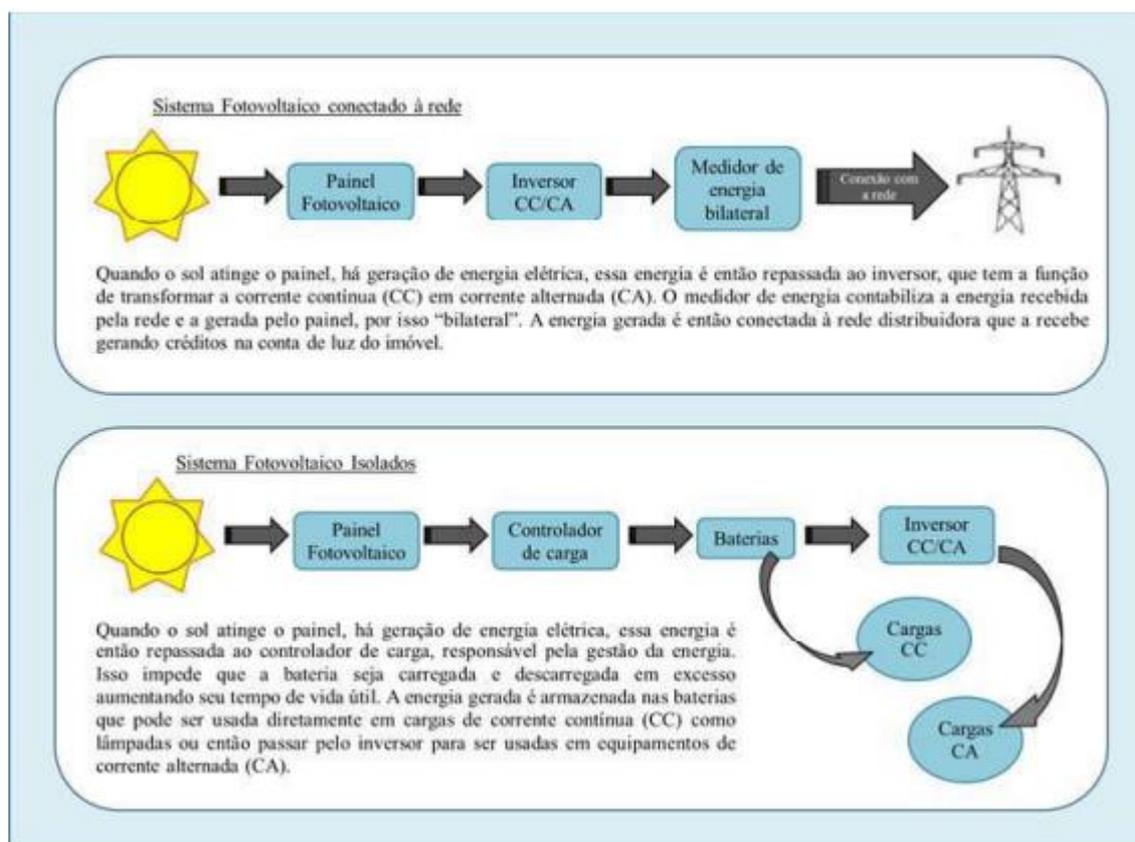
A radiação solar é uma importante fonte de energia renovável devido ao fato de não possuir emissões que causem problemas ambientais e de vir de uma fonte inesgotável, o sol. Além disso, seus equipamentos e dispositivos tem uma longa vida útil e não necessitam de muita manutenção (BRITO e SILVA, 2006). Consequentemente, segundo Lima et al (2019), a conversão fotovoltaica é aplicada em “satélites, naves espaciais, antenas repetidoras de sinal e regiões remotas do planeta sem acesso às redes de energia elétrica convencionais” e entre outros usos.

Dessa forma, o material mais utilizado na construção das células solares é o silício, devido à sua relativa abundância, ao fato de não ser tóxico, ser um óxido passivante, possuir um baixo coeficiente de segregação de metais e entre outras características (BRITO e SILVA, 2006). Contudo, é necessário a construção de células mais espessas quando se utiliza o silício, o que aumenta o custo por área construída e, também, utiliza muita matéria-prima reduzindo-se os estoques existentes do material (BRITO e SILVA, 2006). Isso fez com que as pesquisas a respeito do uso de outros materiais se intensificassem, procurando outros com eficiência igual ou superior a atingida pelo silício cristalino (máximo de 25%).

Define-se a eficiência ou rendimento de conversão como o quociente da potência da luz que incide na superfície da célula pela potência elétrica disponível aos seus terminais, sendo limitada a um valor máximo (cerca de 32,9%) por fatores termodinâmicos e pelos elementos estruturais da célula (BRITO e SILVA, 2006). Atualmente, tem-se datado que o recorde de rendimento é de 29,15% com uma célula de perovskita e silício. Devido à baixa eficiência é necessário grandes área de painéis instaladas para se atingir uma eficiência maior, o que faz com que muitos países e pessoas optem por outras formas de produção de energia mais econômicas.

Outro fator que é obstáculo ao uso, é o fato de em períodos noturnos não haver produção de energia e em dia com pouca iluminação a eficiência diminuir. Entretanto, uma forma de evitar esses problemas é ligar o sistema fotovoltaico a rede elétrica ou a baterias, como ilustrado na Figura 9 (MACHADO e MIRANDA, 2015, p. 128).

Figura 9 – Esquemas de um sistema fotovoltaico.



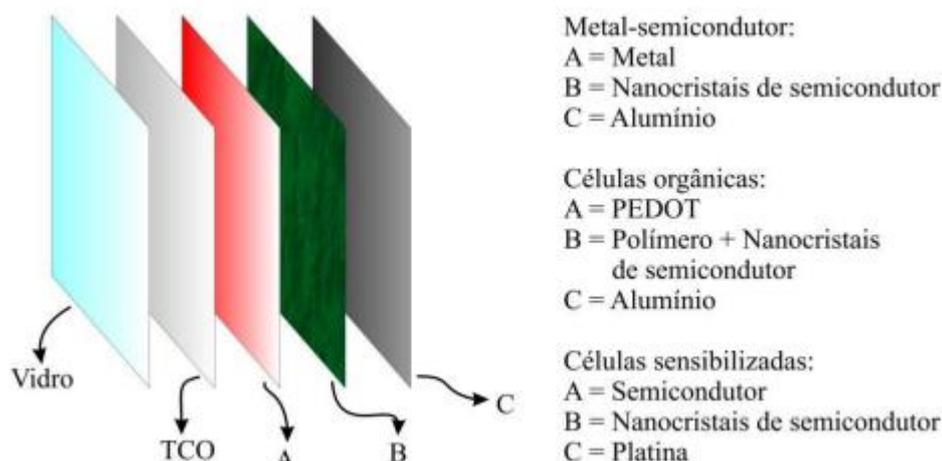
Fonte: MACHADO e MIRANDA, 2015.

Sendo assim, como apontado anteriormente, os estudos a respeito da utilização de novos materiais para construção de células fotovoltaicas alinhados a busca de maiores eficiência intensifica-se ao longo dos anos, abrindo novos mercados e panoramas para o sistema fotovoltaico. Com isso, as células são divididas em três tipos: de 1ª geração, constituídas de silício e com alto custo, de 2ª geração, com menor custo, mas eficiência menor e utilizando alguns materiais tóxicos e dificilmente encontrados na natureza, e de 3ª geração, constituídas pelas tecnologias emergentes e em fase de pesquisas no mercado para obter-se eficiência e menor custo. No último cenário encontram-se as células orgânicas, as sensibilizadas por corante (*dye-sensitized solar cell* – DSSC) e baseadas em pontos quânticos (MACHADO e MIRANDA, 2015, p. 128).

Tratando-se das células solares baseadas em pontos quânticos (*quantum dots solar cells*), segundo Machado e Miranda (2015, p. 137-139), essas subdividem-se em três categorias, que podem ser vistas na Figura 10:

- Metal-semicondutor: o efeito fotovoltaico ocorre na interface entre o metal e os nanopontos ou nanocristais. Exemplos: TiO₂/Au, CdS/Au, PbS/ITO, etc.
- Células orgânicas: o efeito fotovoltaico ocorre na interface entre o polímero e os nanopontos ou nanocristais. Exemplo: poli(3-hexiltiofeno)/CdS.
- Células solares sensibilizadas por pontos quânticos: o efeito fotovoltaico ocorre na interface entre um semicondutor e os nanopontos ou nanocristais.

Figura 10 – Células baseadas em pontos quânticos.



Fonte: MACHADO e MIRANDA, 2015.

Outra definição para as células de 3ª geração, dada por Vitoreti et al (2017, p. 436), é que “todos os sistemas fotovoltaicos que podem, potencialmente, gerar eficiências de conversão de energia para além do limite de Shockley e Queisser são denominados de terceira geração”. Ou seja, o limite termodinâmico de Shockley e Queisser baseia-se no fato que os fótons com energia abaixo da energia de banda proibida (*bandgap*) não são absorvidos e os que possuem energia acima do *bandgap* tem parte da energia dissipada na forma de calor, o que limita a eficiência máxima das células solares em cerca de 32,9% (VITORETI et al, 2017, p. 437).

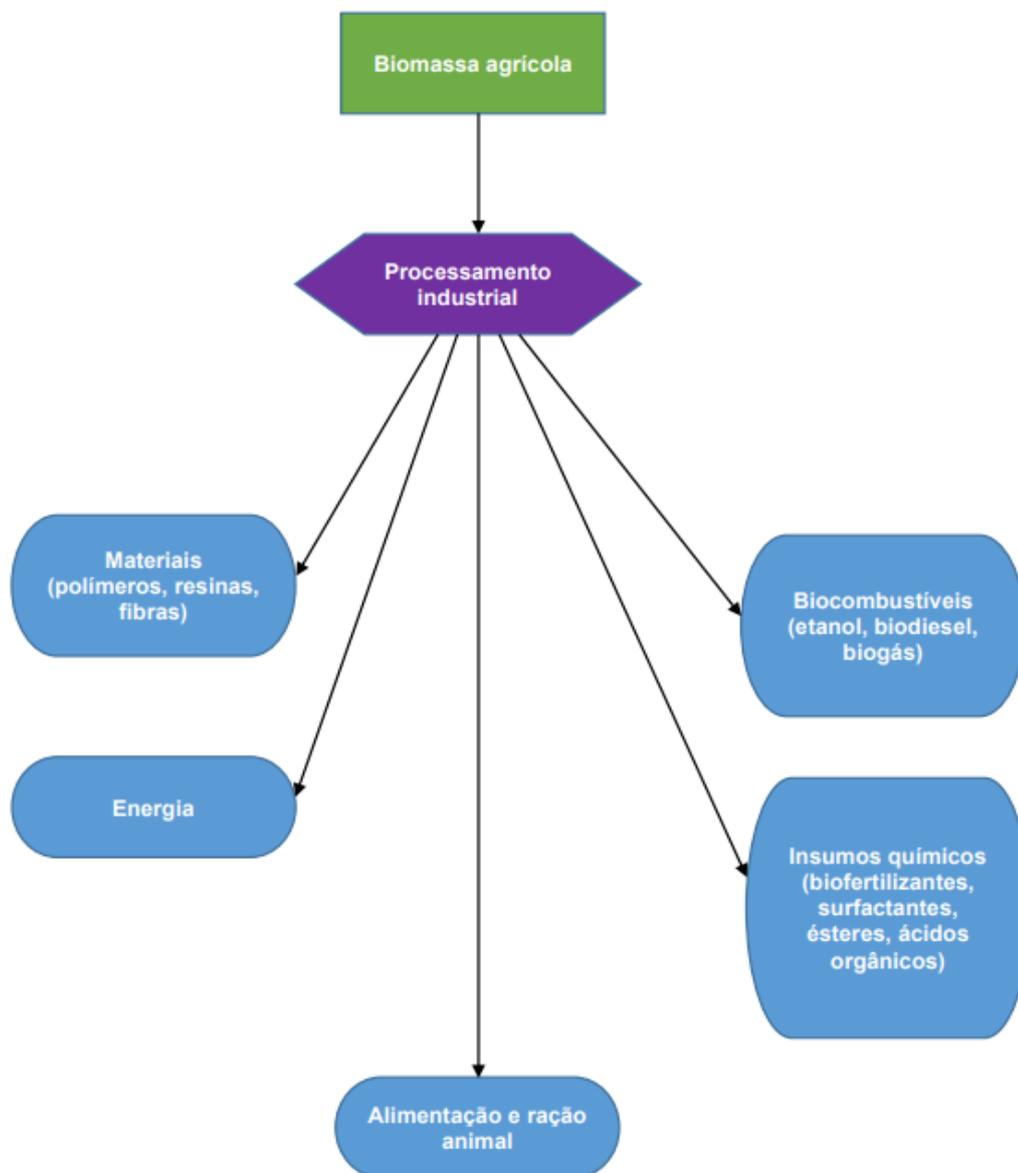
Neste cenário, muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos nesta área a fim de obter maior eficiência associada a menores custos, como exemplo, o trabalho de Hsu et al (2012), onde desenvolveu-se nanopontos de carbono utilizando borra de café para análise de suas propriedades fotoluminescentes, concluindo-se que uma das possíveis aplicações seria na produção de células solares de 3ª geração.

3.3 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Desde os primórdios da vida humana, a atividade agropecuária é uma das principais atividades socioeconômicas. Segundo Vaz Junior (2020, p. 7), do Embrapa, estima-se que “a produção agrícola mundial seja da ordem de 7,26 Gt, e que o volume de resíduos secos de biomassa vegetal atinja o equivalente a 140 Gt”. Somando-se a isso, segundo Rosa et al (2011, p. 99), de 20 a 30% das safras no Brasil são desperdiçadas. Nesse aspecto, o Brasil apresenta grande volume de produção agroindustrial, juntamente com a China, Estados Unidos e Índia, fato que coloca o agronegócio como uma das principais fontes de riqueza e que corrobora para geração de resíduos sólidos e líquidos.

Contudo, o que poderia vir a se tornar um grave problema ambiental, se tornou uma forma paralela de renda, onde tais resíduos são reaproveitados como biocombustíveis, bioenergia, biopolímeros e entre outras formas, como mostrado na Figura 11, graças ao avanço e incentivo tecnológico na formação de uma economia circular que gera benefícios para a sociedade.

Figura 11 – Formas de reaproveitamento dos resíduos agroindustriais.



Fonte: VAZ JÚNIOR, 2020.

Como dito, a bioenergia é uma forma de se reaproveitar os resíduos gerados, dentre elas destaca-se a energia solar, a qual vem aumentando seu uso em todo o mundo e mostrando-se uma alternativa eficaz para suprir a demanda energética mundial e que diminui os impactos ambientais.

Dessa forma, células solares com maior eficiência e menores custos associados vem sendo desenvolvidas. Com isso, tem-se as células solares de 3ª geração que, segundo Machado e Miranda (2015, p. 135), compreendem aquelas

correspondentes a tecnologias emergentes e ainda em estudo, tendo as sensibilizadas por corantes (DSSC – *dye sensitized solar cell*), as orgânicas e as baseadas em pontos quânticos (*quantum dots*).

3.4 PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO

Foi na década de 80, que os primeiros pontos quânticos foram sintetizados, utilizando precursores metálicos e calcogenetos. Em seguida, na década de 90, Murray e sua equipe sintetizaram nanocristais coloidais e Rogach e colaboradores obtiveram os pontos quânticos dispersos em água, sendo posteriormente suas eficiências aumentadas e buscando-se novas formulações e rotas de menor custo (VITORETI et al, 2017, p. 438).

Define-se pontos quânticos como semicondutores nanocristalinos com diâmetros na casa de nanômetros (entre 1 a 10 nm), onde se observa o efeito de confinamento quântico, sendo considerados como materiais zero dimensional e materiais intermediários entre átomos, moléculas e corpos massivos (VITORETI et al, 2017, p. 437). Conseqüentemente, um número menor de átomos estão presentes nesses materiais, fazendo com que suas propriedades ópticas sejam estritamente dependentes dos tamanhos das partículas, alcançando níveis discretos de energia e *bandgap* maiores (VITORETI et al, 2017, p. 437).

Entre suas propriedades, segundo Vitoreti et al (2017), pode-se destacar “[...] a fotoluminescência dependente do tamanho, ampla absorção de luz, alta intensidade de luminescência e boa estabilidade química”. Com isso, são muito utilizados em equipamentos optoeletrônicos, em células solares e para aplicações na medicina (MACHADO, 2015, p. 1307).

Sendo assim, com os avanços nas pesquisas, os pontos quânticos de carbono, também conhecidos como *carbon dots*, *carbon nanodots*, *carbon quantum dots* ou *C-dots*, foram acidentalmente descobertos em 2004, possuindo alguns nanômetros de diâmetro e propriedades elétricas e ópticas interessantes para diversas aplicações tecnológicas.

Comparando-se os pontos quânticos de carbono com os pontos quânticos tradicionais, os primeiros apresentam rotas sintéticas de menor custo, com boa

estabilidade coloidal, abundância de elementos que podem ser aplicados e com baixa toxicidade ambiental e biológica. Devido a isso, entre as áreas de aplicações mais utilizadas estão os sistemas fotovoltaicos, sensores e fotocatalise (MACHADO, 2015, p. 1309).

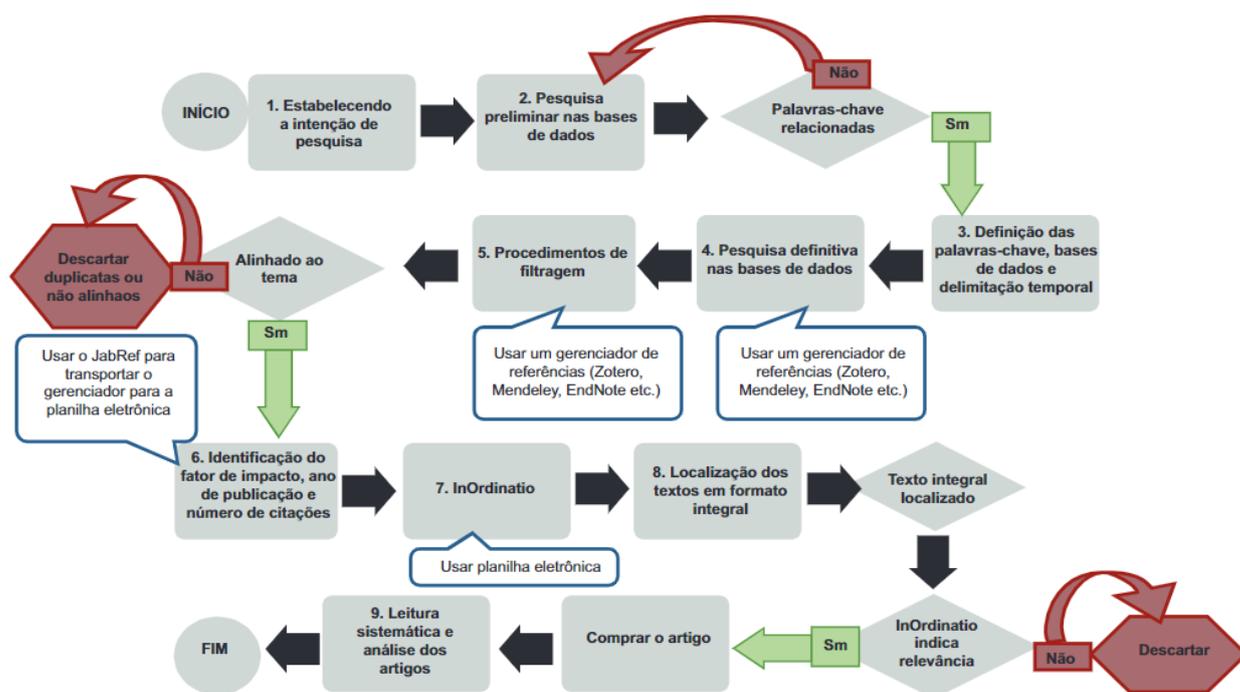
Dessa forma, aplicando-se em células solares, uma célula solar sensibilizada por pontos quânticos é formada por uma camada de vidro condutor transparente (fotoanodo), onde deposita-se um contraeletrodo, com uma camada de ponto quântico adsorvida ao semicondutor e um eletrólito redox (VITORETI et al, 2017, p. 439). Tendo como precursor o químico Grätzel, os pontos quânticos foram usados em células solares, primeiramente, utilizando-se da sensibilização por corantes. A partir de então, o uso de outros materiais está sendo estudado visando o aumento da eficiência e diminuição dos custos associados na confecção de sistemas fotovoltaicos.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão da literatura existente na forma de teses, dissertações, artigos em revista e outros meios publicados em meio eletrônico. Dessa forma, utilizando-se da metodologia Methodi Ordinatio, foi realizado um levantamento sobre o tema em questão, para compreensão e entendimento do mesmo, para, após isso, avaliar o potencial uso em células solares.

Segundo Pagani, Kovaleski e Resende (2017, p. 168), o Methodi Ordinatio leva em consideração três fatores: fator de impacto da publicação, número de citações e ano de publicação. A metodologia auxilia na escolha dos trabalhos relevantes ao tema em questão, consistindo de nove etapas, como descrito nas Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Etapas do Methodi Ordinatio.



Fonte: PAGANI, KOVALESKI e RESENDE, 2017.

Figura 13 - Características da metodologia.

Methodi Ordinatio (2015)	Realista Normativa: O tomador de decisão decide por meio da racionalidade, isto é, operando de acordo com os princípios que a razão mesma cria e que são consistentes com a realidade como ela é aceita por um ser racional, desprovido de emoções (Lacerda et al., 2015). O pesquisador delega as decisões a um modelo universal no qual artigos são relevantes.	Oferece uma estratégia para busca e coleta de trabalhos sobre um tema específico. Trabalhos não alinhados ou não relevantes são filtrados e descartados. A leitura sistemática é realizada após a identificação da relevância científica pela equação InOrdinatio. Relevância científica é definida pela equação InOrdinatio, que emprega três fatores: número de citação, ano de publicação e fator de impacto (Pagani et al., 2015)
--------------------------	---	---

Fonte: PAGANI, KOVALESKI e RESENDE, 2017.

Para isso, foi utilizado o gerenciador de referência Zotero e, além disso, utilizou-se a plataforma do Google Acadêmico devido à confiança e abrangência alcançada para a busca de trabalhos que fizeram uso de resíduos agroindustriais na sintetização de pontos quânticos de carbono, com a delimitação temporal de 2011 a 2022. Sendo assim, pesquisou-se com o uso das palavras-chave: *quantum dots* (e suas variações), resíduo agroindustrial e célula solar, pesquisando por elas sozinhas ou em conjunto.

Com isso, foram selecionados 16 trabalhos, apresentados no Quadro 1, para uso do Methodi Ordinatio e estudo do atual estado da literatura com relação ao assunto. Após isso, usando a ferramenta do gráfico de Pareto, selecionou-se os artigos a serem estudados quanto ao seu conteúdo e possível desdobramento para uso em células solares.

Quadro 1 - Lista de artigos selecionados e autoria.

(continua)

Título	Autoria
Preparação e caracterização de nanoestruturas de carbono por método hidrotérmico a partir de biomassa	Gabriela Borin Barin (2011)
Síntese de nanopartículas de carbono funcionalizadas com cobre e óleo essencial de cravo-da-índia (<i>Syzygium aromaticum</i> L) e seus efeitos antimicrobianos	Luana Maria Magalhães de Souza Brandão (2020)
Propriedades ópticas de membranas à base de polímeros naturais e nanopartículas de carbono	Laís Galvão Caetano (2016)
Síntese de nanopartículas de carbono luminescentes e sua aplicação em membranas	Lídia Caroline Goedel (2019)
An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat	Rafael Souza da Costa et al (2018)
Bioinspired carbon dots: from rose petals to tunable emissive nanodots	Vinay Sharma, Sandip K. Singh e Shaikh M. Mobin (2019)

Quadro 1 – Lista de artigos selecionados e autoria.**(conclusão)**

Título	Autoria
Enhanced photoluminescence and characterization of multicolor carbon dots using plant soot as a carbon source	Mingqian Tan et al (2013)
Green synthesis of carbon nanodots from agro-industrial residues	Allan Jr. Gonçalves Afonso et al (2022)
Investigação de propriedades eletroquímicas de pontos quânticos de carbono obtidos a partir da biomassa de cana-de-açúcar	Carlos Vinicius Costa Martins (2021)
Luminescent carbon dots obtained from cellulose	Débora Rosa da Silva Souza et al (2018)
Nanopontos de carbono a partir de resíduos industriais do processamento do azeite	Diogo Alexandre Cartaxo Sousa (2018)
Pontos quânticos de carbono a partir de quitosana: principais vias de síntese e aplicações	Bruno Peixoto de Oliveira (2020)
Propriedades ópticas de C-DOTS produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira	Carime Vitória da Silva Rodrigues (2016)
Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade	Anderlâne Bezerra dos Santos et al (2020)
Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable	Carlos Daniel Ríos Quintero (2021)
Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation	Massimo Varisco et al (2017)

Fonte: Autoria propria, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA METHODI ORDINATIO

Como definido anteriormente, a intenção da presente pesquisa é estudar a produção de nanopontos de carbono (*C-dots*) a partir de resíduos agroindustriais para uso em células fotovoltaicas através da revisão das atuais literaturas existentes com a utilização do Methodi Ordinatio. Sendo assim, pesquisando na plataforma do Google Acadêmico, com a delimitação de tempo de 2011 a 2022 e usando as palavras-chave “*quantum dots*” (e suas variações), “resíduo agroindustrial” e “célula solar”, pesquisando por elas sozinhas ou em conjunto, foram selecionados 16 artigos compatíveis com o objetivo, apresentados no Quadro 1.

Depois disso, foi levantado o fator de impacto, número de citações e ano de publicação dos artigos selecionados. Com o gerenciador de referências Zotero foi possível extrair diretamente as informações de ano de publicação e local de publicação dos trabalhos, como mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Exemplo de extração das informações dos artigos pelo Zotero.

The screenshot displays the Zotero interface. On the left, a list of articles is shown with columns for Title and Creator. The selected article is 'An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat' by Souza da Costa et al. The right pane shows the following details:

- Item Type: Journal Article
- Title: An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat
- Author: Souza da Costa, Rafael
- Author: Ferreira da Cunha, William
- Author: Simenremis Pereira, Nizamara
- Author: Marti Ceschin, Artemis
- (...) Abstract: Peat, an organic compound easily found in the soil (easy to acquire), has more than 50% elemental carb...
- Publication: Materials
- Volume: 11
- Issue: 9
- Pages: 1492
- Date: 2018/9
- Series: y m
- Series Title
- Series Text
- Journal Abbr
- Language: en
- DOI: 10.3390/ma11091492
- ISSN: 1996-1944
- Short Title
- URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/9/1492>
- Accessed: 8/30/2022, 6:10:33 PM
- Archive
- Loc. in Archive
- Library Catalog: www.mdpi.com
- Call Number
- Rights: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>
- Extra Number: 9
- Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute
- Date Added: 8/30/2022, 6:10:33 PM
- Modified: 8/30/2022, 6:10:33 PM

Fonte: Autoria própria, 2022.

Com o uso da ferramenta *Cited by* do Google Acadêmico, extraiu-se a informação de número de citações dos artigos. Para o fator de impacto, utilizou-se o site do *Academic Accelerator* a parte do *Impact of Journal* para procurar os fatores de impacto dos jornais onde foram publicados os artigos e aqueles que não foram encontrados, procurou-se nos sites das próprias revistas ou jornais. No Quadro 2 são apresentados os resultados obtidos.

Quadro 2 - Artigo, local e ano de publicação, número de citações e fator de impacto.

(continua)

Título	Local de publicação	Ano de publicação	Número de citações	Fator de Impacto
Luminescent carbon dots obtained from cellulose	Materials Chemistry and Physics	2018	93	4,094
Green synthesis of carbon nanodots from agro-industrial residues	Springerlink	2022	4	1,917
Enhanced photoluminescence and characterization of multicolor carbon dots using plant soot as a carbon source	Talanta	2013	94	6,057
Bioinspired carbon dots: from rose petals to tunable emissive nanodots	Nanoscale Advances	2019	29	5,598
Investigação de propriedades eletroquímicas de pontos quânticos de carbono obtidos a partir da biomassa de cana-de-açúcar	Repositório instituto federal goiano	2021	0	0
Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable	Repository EIA	2021	0	0
Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade	Scientia Plena	2020	0	0,7
Pontos quânticos de carbono a partir de quitosana: principais vias de síntese e aplicações	Revista coleta científica	2020	0	0
Síntese de nanopartículas de carbono funcionalizadas com cobre e óleo essencial de cravo-da-índia (<i>Syzygium aromaticum</i> L) e seus efeitos antimicrobianos	Repositório UNB	2020	0	0

Quadro 2 – Artigo, local e ano de publicação, número de citações e fator de impacto. (conclusão)

Título	Local de publicação	Ano de publicação	Número de citações	Fator de impacto
An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat	MDPI - Materials	2018	10	3,057
Síntese de nanopartículas de carbono luminescentes e sua aplicação em membranas	Repositório UFRGS	2019	0	0
Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation	Royal Society Open Science	2017	38	2,963
Nanopontos de carbono a partir de resíduos industriais do processamento do azeite	Repositório instituto superior de engenharia de lisboa	2018	0	0
Propriedades ópticas de C-DOTS produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira	Repositório UNB	2016	1	0
Propriedades ópticas de membranas à base de polímeros naturais e nanopartículas de carbono	Repositório UNESP	2016	0	0
Preparação e caracterização de nanoestruturas de carbono por método hidrotérmico a partir de biomassa	Repositório UFS	2011	1	0

Fonte: Autoria própria, 2022.

Então, os dados foram passados para uma planilha do Excel para o cálculo do InOrdinatio, utilizando a seguinte fórmula:

Equação 1 – Fórmula para cálculo do InOrdinatio

$$InOrdinatio = \left(\frac{FI}{1000}\right) + NC + (alfa \times (10 - IA))$$

Fonte: BATISTA e HELAL, 2021.

onde,

- FI = fator de impacto;

- NC = número de citações;
- Alfa = coeficiente definido pelo autor do trabalho, sendo, nesse caso, variável entre 1 e 10 de acordo com a idade do artigo;
- IA = idade do artigo, sendo igual ao ano de publicação menos o ano atual (2022).

Para o alfa, foi considerado igual a 1 para os artigos de 2011 e 2012, 2 para artigos de 2013, 3 para 2014 e assim sucessivamente até o alfa igual a 10 para 2022. Logo, os resultados dos cálculos juntamente com o ranking dos artigos selecionados está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo do InOrdinatio e priorização dos artigos.

(continua)

	InOrdinatio	Ranking
Artigos
Luminescent carbon dots obtained from cellulose	129,00	1
Green synthesis of carbon nanodots from agro-industrial residues	104,00	2
Enhanced photoluminescence and characterization of multicolor carbon dots using plant soot as a carbon source	96,01	3
Investigação de propriedades eletroquímicas de pontos quânticos de carbono obtidos a partir da biomassa de cana-de-açúcar	81,00	4
Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable	81,00	5

Tabela 1 – Cálculo do InOrdinatio e priorização dos artigos.

(continua)

	InOrdinatio	Ranking
Artigos
Bioinspired carbon dots: from rose petals to tunable emissive nanodots	78,01	6
Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade	64,00	7
Pontos quânticos de carbono a partir de quitosana: principais vias de síntese e aplicações	64,00	8
Síntese de nanopartículas de carbono funcionalizadas com cobre e óleo essencial de cravo-da-índia (<i>Syzygium aromaticum</i> L) e seus efeitos antimicrobianos	64,00	9
Síntese de nanopartículas de carbono luminescentes e sua aplicação em membranas	49,00	10
An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat	46,00	11
Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation	38,00	12
Nanopontos de carbono a partir de resíduos industriais do processamento do azeite	36,00	13

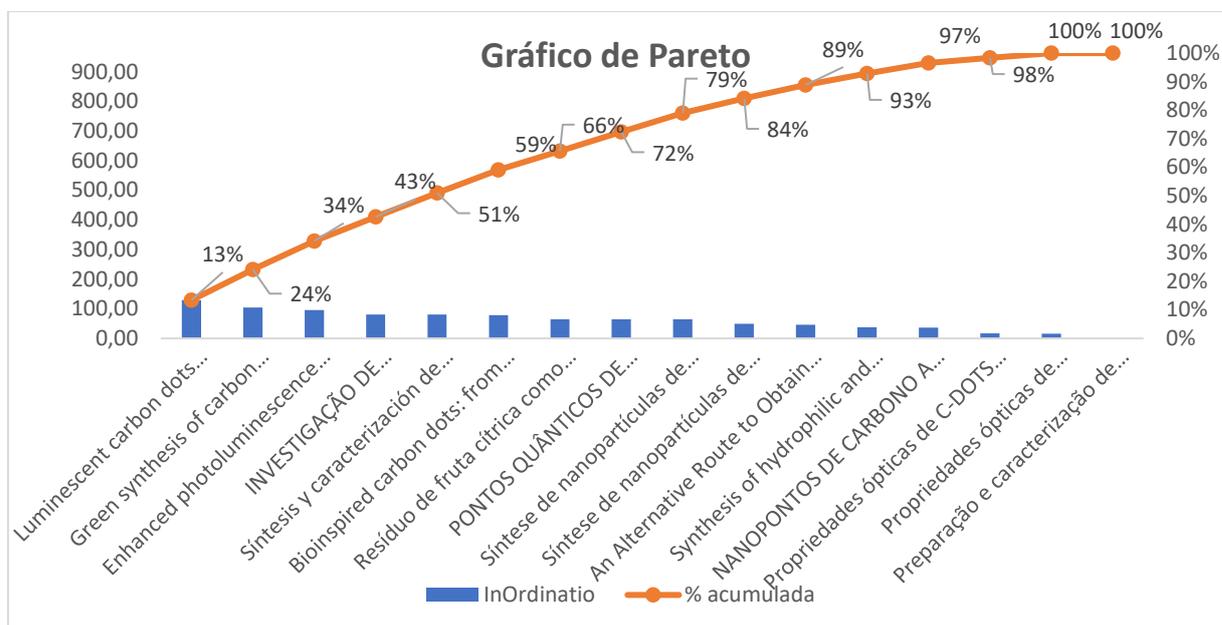
Tabela 1 – Cálculo do InOrdinatio e priorização dos artigos.**(conclusão)**

	InOrdinatio	Ranking
Artigos
Propriedades ópticas de C-DOTS produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira	17,00	14
Propriedades ópticas de membranas à base de polímeros naturais e nanopartículas de carbono	16,00	15
Preparação e caracterização de nanoestruturas de carbono por método hidrotérmico a partir de biomassa	0,00	16

Fonte: Autoria própria, 2022.

Após priorização dos artigos de acordo com o índice InOrdinatio, foi utilizado o gráfico de Pareto para selecionar aqueles que eram mais relevantes para estudo. Com isso, obteve-se a Figura 15.

Figura 15 - Gráfico de Pareto.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Logo, os artigos selecionados foram aqueles que correspondiam até 80% de porcentagem acumulada, obtendo-se um total de 9 artigos, sendo eles:

- Luminescent carbon dots obtained from cellulose (SOUZA et al, 2018);
- Green synthesis of carbon nanodots from agro-industrial residues (AFONSO et al, 2022);
- Enhanced photoluminescence and characterization of multicolor carbon dots using plant soot as a carbon source (TAN et al, 2013);
- Investigação de propriedades eletroquímicas de pontos quânticos de carbono obtidos a partir da biomassa de cana-de-açúcar (MARTINS, 2021);
- Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable (QUINTERO, 2021);
- Bioinspired carbon dots: from rose petals to tunable emissive nanodots (SHARMA, SINGH e MOBIN, 2019);
- Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade (SANTOS et al, 2020);
- Pontos quânticos de carbono a partir de quitosana: principais vias de síntese e aplicações (OLIVEIRA et al, 2020);

- Síntese de nanopartículas de carbono funcionalizadas com cobre e óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* L) e seus efeitos antimicrobianos (BRANDÃO, 2020).

Nota-se, que a definição correta das palavras-chave e de como será realizada a pesquisa e/ou levantamento dos artigos influencia na aplicação do método, já que fazer isso de maneira incorreta pode gerar perdas de dados já contidos na literatura.

5.2 COMPARANDO OS ARTIGOS

5.2.1 Resíduo Utilizado

De acordo com o objetivo do trabalho, foram selecionados artigos que utilizaram qualquer resíduo proveniente da agroindústria como matéria-prima para construção de *C-dots*. Como definição dada pelo Governo Federal do Brasil (2021),

A agroindústria é o ambiente físico equipado e preparado onde um conjunto de atividades relacionada à transformação de matérias-primas agropecuárias provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura são realizadas de forma sistemática. (GOVERNO FEDERAL, 2021).

Portanto, várias formas de resíduos podem ser geradas durante essas atividades, sendo de extrema importância o reaproveitamento dos mesmos para garantir o bem-estar do nosso meio ambiente e da vida. Sendo assim, no Quadro 3 são apresentadas os resíduos selecionados para confecção dos pontos de carbono.

Quadro 3 – Resíduos utilizados.

Autor(es) do Artigo	Resíduo
Souza et al (2018)	Polpa de madeira kraft de eucalipto
Afonso et al (2021)	<i>Lolium perenne</i> e bagaço de malte
Tan et al (2013)	Fuligem de planta
Martins (2021)	Biomassa de cana-de-açúcar
Quintero (2021)	Biocarvão de palma de óleo
Sharma, Singh e Mobin (2019)	Pétalas de rosa

Santos et al (2020)	Extrato do bagaço de limão
Oliveira et al (2020)	Quitosana
Brandão (2020)	Óleo essencial de cravo-da-índia

Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando os materiais utilizados, pode-se observar que todos são formas de resíduos que podem ser formados durante o processamento em uma agroindústria. Levando-se em consideração cada resíduo, foi feito um estudo da viabilidade de uso em *C-dots*, sendo apresentado um resumo no Quadro 4.

A polpa de madeira ou pasta de celulose é facilmente encontrada em todo mundo, sendo, por isso, uma matéria-prima de baixo custo e fácil acesso. É encontrada na madeira de árvores coníferas e folhosas (BIAZUS, HORA e LEITE, 2010, p. 313), sendo no artigo de Souza et al (2020, p. 3) usada a polpa de eucalipto. Quanto a produção no Brasi, o país é o quarto maior produtor mundial (GOMIDE, NETO e REGAZZI, 2010, p. 339), o que faz que a indústria de papel e celulose gere inúmeros resíduos, dentre eles, a cinza de caldeiras, resíduos celulósicos, cascas de madeira e entre outros. Além disso, a serralherias apresentam como principal resíduo cavacos e restos de madeiras que são importantes fontes de celulose. Por isso, o uso da celulose ou resíduo celulósico para fabricação de pontos de carbono apoia o reaproveitamento desses resíduos e diminui os impactos ambientais que podem ser causados pelos mesmos.

Quanto ao trabalho de Afonso et al (2021), foi utilizado *Lolium perenne* e bagaço de malte do processo de fabricação de cervejas. Segundo os autores, 85% dos resíduos gerados em cervejarias corresponde a bagaço de malte e o *Lolium perenne* é facilmente encontrado no meio de cultivos e considerado uma “praga”. Portanto, ambos os resíduos escolhidos são boas fontes de carboidratos e proteínas o que facilita a confecção de pontos de carbonos. Além disso, devido à grande geração, no caso do bagaço de malte, e desenvolvimento, no caso do azevém, o seu reaproveitamento reduz os impactos ambientais, corroborando para o menor uso de pesticidas em agriculturas, causando menos danos ao solo, menor quantidade de matéria orgânica depositada de forma incorreta, etc.

Já no trabalho de Tan et al (2013), utilizou-se a fuligem de plantas queimadas como matéria-prima para a fabricação dos pontos de carbono. Segundo os autores, em outros trabalhos já foi utilizada a fuligem de vela, contudo, os *C-dots* preparados

exibiram comportamentos fluorescentes menos intensos se comparado com os feitos com fuligem de plantas. Dessa forma, levando-se em consideração que a fuligem de plantas é formada em muitos processos agroindustriais devido à queima das mesmas, por exemplo em caldeiras, ou que é realizada a queima de áreas para agricultura ou pecuária, o uso desse reduz a deposição de forma inadequada no meio ambiente.

No caso da biomassa de cana-de-açúcar, utilizada no artigo de Martins (2021), ela é um resíduo gerado na indústria sucroalcooleira. A maior parte do resíduo gerado é reutilizado na queima para produção energética, entretanto, devido à queima, gases precursores do efeito estufa e aquecimento global são liberados. Por isso, a reutilização para produção de pontos de carbono se mostra uma alternativa ambientalmente amigável, limpa e de baixo custo (MARTINS, 2021, p. 3).

Quanto ao trabalho de Quintero (2021) foi utilizado o biocarvão de palma de óleo que foi obtido como resíduo agroindustrial. O biocarvão ou *biochar* é uma forma de reaproveitamento de biomassa agroindustrial, já que é produzido através da pirólise da biomassa (REZENDE et al, 2011, p. 426). Assim como a biomassa de cana-de-açúcar, a biomassa de palma de óleo apresenta também grande teor de matéria orgânica, possibilitando o uso na produção de *C-dots*.

Já o uso de pétalas de rosa, como exposto por Sharma, Singh e Mobin (2019) que usaram a espécie *Rosa indica*, é viável por a floricultura ser um mercado em expansão não só no Brasil, mas em todo o mundo. As pétalas das flores é um dos principais resíduos gerados, sendo assim, acessíveis, de baixo custo e uma fonte limpa. Quanto ao bagaço de limão, o qual Santos et al (2020) extraiu o resíduo carbonáceo, é um resíduo frequentemente gerado, já que o limão é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo sua casca o principal resíduo. Logo, essa é uma boa fonte de compostos necessários para produção dos pontos de carbono, corroborando para o uso integral da fruta.

No caso da quitosana usada em Oliveira et al (2020), é uma matéria-prima de baixo custo e ampla disponibilidade. Facilmente encontrada e descartada na indústria pesqueira, o uso da quitosana como precursor corrobora para o reuso de recursos ambientais e diminuição dos impactos a natureza pela sua deposição e produção de poluentes (OLIVEIRA et al, 2020, p. 1). Quanto ao óleo essencial de cravo da Índia utilizado por Brandão (2020), ele apresenta atividade óptica, índice de refração e baixa estabilidade na presença de luz como características (AFFONSO et al, 2012, p.149), sendo uma boa alternativa na construção de *quantum dots*.

Quadro 4 - Resumo da viabilidade de uso dos resíduos selecionados nos artigos.

Resíduo	Viabilidade de uso em pontos de carbono
Polpa de eucalipto	<ul style="list-style-type: none"> - Brasil é o quarto maior produtor mundial; - Inúmeros resíduos gerados; - Facilmente encontrada e de baixo custo.
<i>Lolium perenne</i> e bagaço de malte	<ul style="list-style-type: none"> - Grande geração dos resíduos; - Baixo custo e facilmente encontrados; - Grande teor de matéria orgânica para produção de pontos de carbono.
Fuligem de plantas	<ul style="list-style-type: none"> - Muitos processos agroindustriais envolvem a queimada de plantas; - Características físico-químicas dos pontos de carbono melhores; - Baixo custo e de fácil acesso.
Biomassa de cana-de-açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Resíduo gerado na indústria sucroalcooleira; - Boa fonte de matéria orgânica para produção de <i>C-dots</i>; - Uma alternativa viável para evitar a queima que gera outros problemas ambientais.
Biocarvão de palma de óleo	<ul style="list-style-type: none"> - Resíduo agroindustrial com grande teor de matéria orgânica; - Alternativa de baixo custo e fácil acesso.
Pétalas de rosa	<ul style="list-style-type: none"> - Floricultura é um mercado em expansão, sendo as pétalas o principal resíduo gerado; - Acessível, baixo custo e de fonte limpa.
Extrato de bagaço de limão	<ul style="list-style-type: none"> - Limão é uma das frutas mais consumidas do mundo; - Cascas são o principal resíduo; - Boa fonte de compostos necessários para produção de <i>C-dots</i>.
Quitosana	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo e fácil acessibilidade; - Resíduo da indústria pesqueira;
Óleo essencial de cravo da Índia	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil acesso e muito produzido; - Apresenta características químicas que o tornam viável na construção de pontos de carbono.

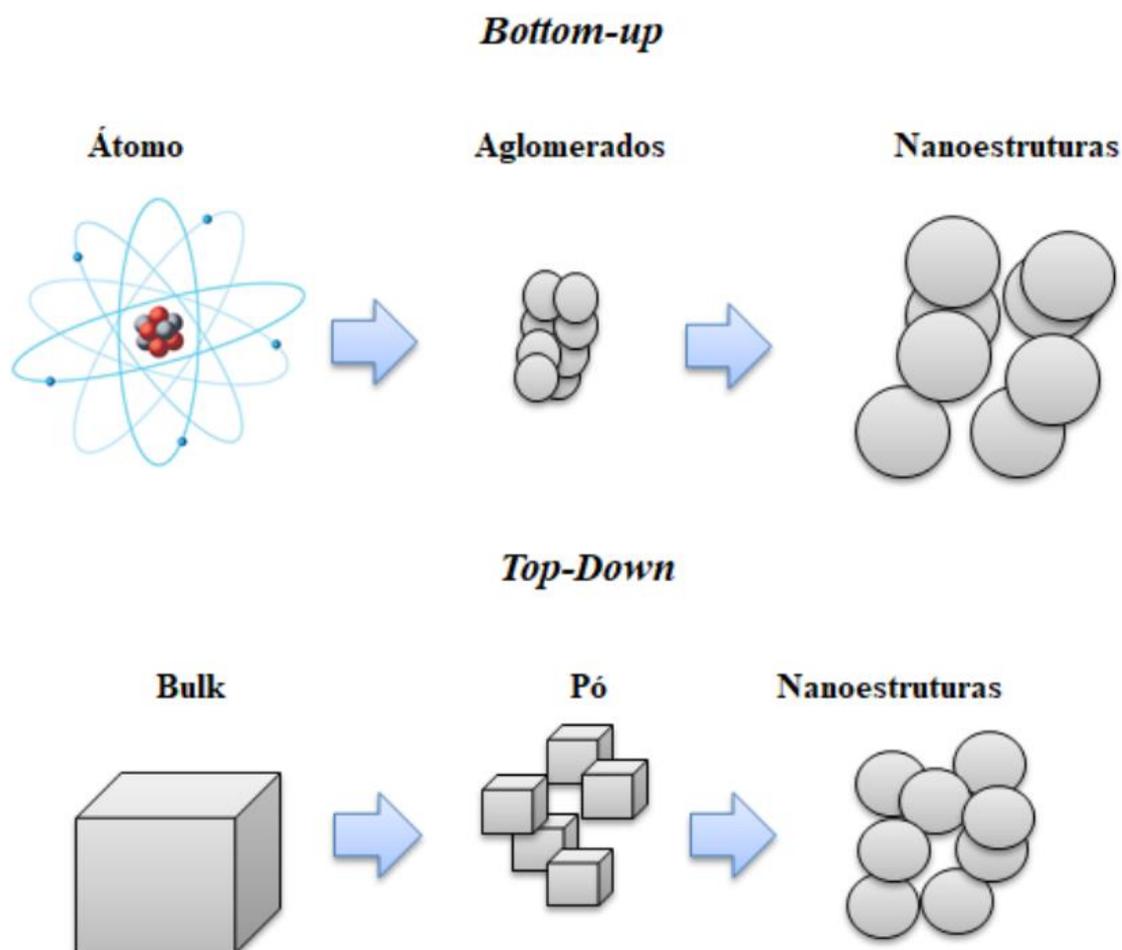
Fonte: Autoria própria, 2022.

Dessa forma, analisando-se os precursores utilizados, nota-se que a uma ampla variedade de matérias-primas oriundas da agroindústria que podem ser usadas na fabricação de pontos de carbono para diferentes finalidades. Aquelos considerados resíduos agroindustriais tomam destaque pelo quesito ambiental envolvido no seu reaproveitamento e diminuição dos impactos causados, além de serem rotas de baixo custo, oriundas de fontes naturais e de fácil acesso. Outro ponto em comum que vale ressaltar, é o teor de matéria orgânica, características naturais dos substratos, que auxilia na formação dos *C-dots*.

5.2.2 Rota de Síntese para Fabricação dos *C-dots*

De maneira geral, há duas classificações para produção de *C-dots*: *bottom-up* e *top-down*. O primeiro consiste na organização intermolecular por acoplamento, ou seja, a união entre duas ou mais substâncias para a formação de outra maior. Já o segundo consiste na utilização de substâncias macroscópicas para formação de substâncias nanométricas por processos físicos e/ou químicos (MARTINS, 2021, p. 8). Dessa forma, na Figura 16 é apresentado um resumo ilustrado das rotas de síntese.

Figura 16 - Rota de síntese bottom-up e top-down.



Fonte: MARTINS, 2021.

Sendo assim, na abordagem *bottom-up*, devido à utilização de partículas atômicas, são comumente utilizados compostos como glicose, ácido cítrico, frutose e entre outros, já na abordagem *top-down*, onde se utiliza partículas maiores, as fontes de carbono são variadas, abrindo espaço para criatividade dos pesquisadores. Nesse caso, destacam-se o uso de biomassas provenientes da indústria agrícola, já que incentiva a economia circular, onde um resíduo passa a ser visto como matéria-prima de valor para outro processo, além de diminuir os impactos ambientais causados pela incorreta deposição na natureza.

Logo, nesse trabalho foram investigados e levantados os trabalhos, cujos precursores usados foram resíduos provenientes da agroindústria, onde a rota de síntese varia entre a *bottom-up* e a *top-down*, apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Rotas de síntese dos C-dots pela abordagem top-down.

Autoria	Precursor	Rota de síntese
Souza et al (2018)	Polpa de madeira kraft de eucalipto	Oxidação de pontos de carbono de carboidratos
Afonso et al (2021)	<i>Lolium perenne</i> e bagaço de malte	Hidrotérmica
Tan et al (2013)	Fuligem de planta	Refluxo da fuligem de planta em ácido nítrico
Martins (2021)	Biomassa de cana-de-açúcar	Pirólise
Quintero (2021)	Biocarvão de palma de óleo	Micro-ondas
Sharma, Singh e Mobin (2019)	Pétalas de rosa	Hidrotérmica
Santos et al (2020)	Extrato do bagaço de limão	Hidrotérmica
Oliveira et al (2020)	Quitosana	Hidrotérmica, micro-ondas e carbonização
Brandão (2020)	Óleo essencial de cravo-da-índia	Reator a pressão e temperatura constantes

Fonte: Autoria própria, 2022.

Além disso, outros reagentes foram utilizados em conjunto, como por exemplo o cobre, ácido sulfúrico, ácido nítrico e entre outros para atingir as características finais desejadas pelos autores. Desse modo, analisando-se os dados apresentados, observa-se que o método de síntese mais escolhido foi o hidrotérmico, seguido de micro-ondas e o restante apresentado no Quadro 5. Outro ponto que vale ressaltar, é

que em todos os trabalhos os precursores escolhidos foram previamente tratados para obtenção de partículas menores, como exposto no método *top-down*, para em seguida sintetizar as nanopartículas. Sendo assim, os casos em que o tratamento prévio resultou em partículas atômicas, como ácido cítrico, carboidratos, etc, a abordagem para síntese dos pontos de carbono foi a *bottom-up*, mostrando que ambas as abordagens podem ser utilizadas de forma isolada ou em conjunto.

O método hidrotérmico ou hidrotermal, mais usado dentre os trabalhos escolhidos, permite a utilização de baixas temperaturas de reação e calcinação, onde a morfologia e tamanho das partículas obtidas pode ser controlado (MISSO, 2016, p. 9), ganhando destaque na produção de *C-dots*, já que o tamanho das partículas influencia fortemente nas características finais obtidas. Contudo, comparando-se com a síntese através de micro-ondas (segunda mais utilizada), o método hidrotérmico não apresenta grande rendimento quântico se comparado a mesma. Por isso, é de extrema importância a avaliação da estrutura química do precursor utilizado e a finalidade do trabalho na escolha do método de síntese, já que diferentes características finais podem ser obtidas.

5.2.3 Avaliação das Características dos *C-dots* Obtidos

Como dito anteriormente, diferentes rotas de síntese chegam em diferentes características para as nanopartículas produzidas. Além disso, os precursores escolhidos também influenciam no resultado final. Dentre as características dos pontos de carbono, destacam-se o tamanho pequeno das partículas (inferior a 10 nm), alta estabilidade coloidal, biocompatibilidade e fotoluminescência (MARTINS, 2021, p. 7). Dessa forma, analisou-se os resultados obtidos das análises pós síntese dos nanopontos de carbono a fim de comparar e evidenciar aqueles mais viáveis, como apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Características das nanopartículas.

Precursor	Tamanho da nanopartícula	Estrutura	Banda de energia	Absorção óptica na região do UV	Fotoluminescência	Rendimento quântico
Polpa de madeira kraft de eucalipto (Souza et al, 2018)	~ 2 nm	Estrutura cristalina com uma distância interplanar de 0,29 nm e maior de presença de ácidos carboxílicos	- 1580 cm ⁻¹ (<i>G band</i>); - 1340 cm ⁻¹ (<i>D band</i>); - Grau de grafitação $\alpha = 0,46$.	~ 500 nm	Pico máximo na região azul/verde (de 450 a 550 nm) com excitação em comprimentos de onda de 320 e 480 nm	1,2%
<i>Lolium perenne</i> e bagaço de malte (Afonso et al, 2021)	- <i>Lolium perenne</i> : entre 5,11 e 10,18 nm; - Bagaço de malte: entre 18,93 e 22,85 nm.	Estrutura quase esférica	- <i>D band</i> : 1350 cm ⁻¹ ; - <i>G band</i> : 1600 cm ⁻¹ .	Máximo em 270 nm	- 360 nm: luz azul; - 495 nm: luz verde; - 543 nm: luz vermelha.	-
Fuligem de planta (Tan et al, 2013)	~3,1 nm	Estrutura quase esférica e partículas fotoestáveis	-	430 nm quando excitado em 320 nm	Máxima emissão em 422 nm	0,72%
Biomassa de cana-de-açúcar (Martins, 2021)	~2,8 nm	Estrutura quase esférica, com distribuição de partículas homogêneas	- <i>D band</i> : 1329 cm ⁻¹ ; - <i>G band</i> : 1589 cm ⁻¹ ; - Grau de grafitação $\alpha = 1,38$.	Bandas de absorção em 280 e 350 nm	Máxima emissão em 522 nm	-
Biocarvão de palma de óleo (Quintero, 2021)	-	Alta estabilidade de coloidal	-	-	Máxima emissão em 388 nm	-
Pétalas de rosa (Sharma, Singh e Mobin, 2019)	~4,51 nm	Partículas esféricas	-	Picos de absorção em 281 e 320 nm	Máxima emissão em 397 nm	9,6%
Extrato do bagaço de limão (Santos et al, 2020)	~4,91 nm	Distribuição monodispersa das partículas	-	Picos de absorção em 230 e 286 nm	Máxima emissão em 445 nm	-

Fonte: Autoria própria, 2022.

No caso da quitosana, estudada por Oliveira et al (2020), foi realizado um estudo do seu uso em *C-dots* pelos autores. Com isso, concluiu-se que devido à presença de nitrogênio em sua estrutura as principais características apresentadas pelos nanopontos de carbono são maior fotoluminescência e melhor biocompatibilidade. Já o trabalho de Brandão (2020), onde usa-se óleo essencial de cravo-da-índia juntamente com o cobre, os resultados das análises apresentados não são relevantes a fim de comparação, já que foram realizadas análises da atividade microbiana o que não é apresentado em nenhum dos outros trabalhos.

Observando os dados expostos no Quadro 6, nota-se que apenas as partículas produzidas no trabalho de Afonso et al (2021) não apresentam o tamanho característico de nanopontos de carbono, o qual é inferior a 10 nm. Contudo, elas apresentam outras características relevantes como fotoluminescência, absorção ótica de energia e banda de energia. Já as outras partículas sintetizadas nos outros trabalhos, todas apresentaram características condizentes a *C-dots*, mostrando-se serem alternativas viáveis, mais econômicas e com rotas sintéticas verdes, devido ao uso de um resíduo da agroindústria.

5.3 VIABILIDADE DE USO EM CÉLULAS SOLARES

Depois de evidenciados e estudados os *C-dots* obtidos nos artigos selecionados, o outro objetivo deste trabalho era estudar a viabilidade de uso das nanopartículas em células solares. Nesse sentido, os pontos quânticos de carbono podem ser aplicados em diversas áreas, como detectores químicos, em bioimagem, em fotocatalise, na conversão de energia e entre outras (QUINTERO, 2021, p. 15). Sendo assim, usar na conversão de energia, devido à sua atividade ótica, vem sendo uma boa alternativa, onde a energia solar encontra-se em ascensão no Brasil e no mundo. Com isso, busca-se a conversão de energia solar com maior eficiência e menores custos associados ao processo.

Dessa forma, apesar de nenhum dos trabalhos estudados ter como objetivo final o uso em células solares, as características apresentadas pelas nanopartículas demonstram seu potencial uso na conversão de energia solar. Como exemplos, as nanopartículas apresentam fotoluminescência, estabilidade coloidal, baixa

degradação ao longo do tempo, absorção ótica na região do ultravioleta (UV) e baixa toxicidade.

A fotoluminescência apresentada na forma de fluorescência pelas partículas é o fenômeno de emissão de energia na forma de fóton para partícula voltar ao seu estado fundamental. Essa é uma característica que depende do tamanho da partícula, onde tamanho menores, emitem comprimentos de onda menores de energia (QUINTERO, 2021, p. 16). Já absorção ótica permite que as partículas absorvam a luz e a convertam em energia. Ambas as características possibilitam o uso em células solares, já que é necessário a absorção da luz e conversão em energia e posterior emissão dela na forma de corrente de elétrica para produção da energia solar.

Quanto a estabilidade coloidal, baixa toxicidade e baixa degradação ao longo do tempo, permite a construção de células mais resistentes a danos provenientes da própria condição de uso, além de serem células com valor ambiental agregado devido ao uso de resíduos da agroindústria, diminuindo assim os danos ambientais associados e a chance de serem tóxicas ao meio ambiente.

Vale ressaltar que a associação dos *C-dots* sintetizados com algum semicondutor, como cobre, nióbio, platina, etc, potencializaria as características apresentadas e viabilizaria ainda mais o uso em células solares, como apresentado em outros estudos disponíveis na literatura.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma revisão sistemática da produção de nanopontos de carbono (*C-dots*) a partir de resíduos agroindustriais para uso em células fotovoltaicas por meio das literaturas existentes com o uso do Methodi Ordinatio. Com isso, foram selecionados 16 trabalhos, dos quais 9 mostraram-se relevantes de acordo com a metodologia e aplicação do Gráfico de Pareto.

Dessa forma, observou-se que diversas matérias-primas provenientes de resíduos agroindustriais podem ser utilizadas na sintetização dos nanopontos de carbono, como bagaço de malte, pétalas de rosa, biomassa de cana-de-açúcar, biocarvão de palma de óleo e entre outras. Além disso, várias são as rotas de síntese aplicáveis, onde a mais utilizada foi a hidrotérmica seguida do uso de micro-ondas. Quanto as características finais, todas as nanopartículas apresentaram características condizentes ao esperado de *C-dots*, como fotoluminescência, absorção ótica, tamanho inferior a 10 nm, estabilidade coloidal, baixa toxicidade, etc. Entretanto, as partículas feitas de bagaço de malte e *Lolium perenne* apresentaram tamanhos superiores a 10 nm.

Sendo assim, viabilizou-se o uso e possível desdobramento dos estudos para aplicação em células fotovoltaicas, já que os pontos quânticos de carbono estão cada vez mais em estudo por serem feitos de materiais mais econômicos, o que reduz o custo no processo de produção, e terem maior eficiência associada. Com isso, concluiu-se que as características apresentadas pelas nanopartículas permitem o uso em um sistema fotovoltaico, sendo que elas podem ser potenciabilizadas se associadas a um semicondutor, como exemplos, o cobre, o nióbio ou platina.

Portanto, o uso de resíduos agroindustriais para produção de *C-dots* mostrou-se viável por ser uma forma de reaproveitar os resíduos, diminuindo as consequências ambientais, como deposição incorreta e liberação de gases que agravam o efeito estufa e aquecimento solar, construindo nanopartículas com menor custo e rotas sintéticas verdes. Além disso, o uso em células solares, corrobora com um mercado em crescimento no Brasil e no mundo e que, dentre as formas de energia disponíveis, é uma forma de energia limpa e renovável.

Outro ponto que vale ressaltar é a respeito do uso da metodologia Methodi Ordinatio. Observou-se que ela é viável para categorização ou priorização dos dados, contudo ela limita a pesquisa, já que deve-se respeitar as palavras-chave escolhidas,

onde pode ser que ocorra perda de conteúdo. Portanto é importante escolher bem como será feita a pesquisa e qual o local e ferramentas usadas para essa pesquisa, evitando-se assim a perda de dados já contidos na literatura.

REFERÊNCIAS

AFONSO JR, A. et al. Green synthesis of carbon nanodots from agro-industrial residues. **Carbon Letters**, v. 32, n. 1, p. 131-141, 2022.

AFFONSO, R. S. et al. Aspectos Químicos e Biológicos do Óleo Essencial de Cravo da Índia. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro (RJ), v. 4, n. 2, p. 146-161, mai. 2012.

AZEVEDO, J. L. A Economia Circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. **Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2015.

BARIN, G. B. **Preparação e caracterização de nanoestruturas de carbono por método hidrotérmico a partir de biomassa**. 2011.

BARROS, E. V. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro (RJ), v. 9, n. 1, p. 47-56, jun. 2007.

BATISTA, L. F.; HELAL, D. H. **Percursos entre Educação e Inovação Social: Uma Revisão Sistemática**. 2021.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: celulose. **BNDS**, Brasil, set. 2010.

BRANDÃO, L. M. M. S. **Síntese de nanopartículas de carbono funcionalizadas com cobre e óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* L) e seus efeitos antimicrobianos**. 2020.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. **O instalador**, Lisboa, jul. 2006.

CAETANO, L. G. **Propriedades ópticas de membranas à base de polímeros naturais e nanopartículas de carbono**. 2016.

DE OLIVEIRA, B. P. et al. PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO A PARTIR DE QUITOSANA: PRINCIPAIS VIAS DE SÍNTESE E APLICAÇÕES. **Revista Coleta Científica**, v. 4, n. 7, p. 01-10, 2020.

DOS SANTOS, A. B. et al. Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade. **Scientia Plena**, v. 16, n. 2, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 18 out. 2022.

GOEDEL, L. C. **Síntese de nanopartículas de carbono luminescentes e sua aplicação em membranas**. 2019.

GOMIDE, J. L.; NETO, H. F.; REGAZZI, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

GOVERNO DO BRASIL. **Energia renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

GOVERNO FEDERAL. **O QUE É AGROINDÚSTRIA?** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroindustria/o-que-e-agroindustria#:~:text=A%20agroind%C3%BAstria%20%C3%A9%20o%20ambiente,s%C3%A3o%20realizadas%20de%20forma%20sistem%C3%A1tica.>>. Acesso em: 07 set. 2022.

HSU, P. et al. Synthesis and Analytical Applications of Photoluminescent Carbon Nanodots. **Green Chemistry**, Taiwan, v. 14, n. 4, p. 917-920, mar. 2012.

IEA (International Energy Agency). **World Energy Outlook 2021**. Paris, 2021.

LIMA, A. A. et al. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Curitiba (PR), v. 42, ago. 2019.

MACHADO, C. E. et al. Pontos Quânticos de Carbono: Síntese Química, Propriedades e Aplicações. **Revista Virtual de Química**, São João del-Rei (MG), v. 7, n. 4, p. 1306-1346, ago. 2015.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Niterói (RJ), v. 7, n. 1, p. p. 126-143, fev. 2015.

MARTINS, C. V. C. et al. **INVESTIGAÇÃO DE PROPRIEDADES ELETROQUÍMICAS DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO OBTIDOS A PARTIR DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR**. 2021.

MISSO, A. M. **Síntese e caracterização de fósforos a base de silicatos de cálcio e magnésio dopados com európio e disprósio**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.

NOGUEIRA, L. A. H.; CARDOSO, R. B. **Perspectivas da Matriz Energética mundial e no Brasil**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273773356_Perspectivas_da_Matriz_Energética_Mundial_e_do_Brasil>. Acesso em 21 de outubro de 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Dados de geração eólica e solar**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-de-gera%C3%A7%C3%A3o-e-%C3%B3lica-e-solar>>. Acesso em 03 nov. 2021.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, Brasília (DF), v. 46, n. 2, p. 161-187, maio/ago. 2017.

PIRES, N. R. **Nanopartículas fluorescentes de carbono a partir da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*)**. 2019. 100 f. Tese de Doutorado – Doutorado em Química, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.

QUINTERO, C. D. R. **Síntesis y caracterización de carbon-dots a partir de una fuente renovable.** 2021.

RELLA, R. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma (SC), v. 15, n. 1, p. 28-38, 2017.

REZENDE, E. I. P. et al. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual de Química**, Curitiba (PR), v. 3, n. 5, p. 426-433, nov. 2011.

RODRIGUES, C. V. S. **Propriedades ópticas de C-dots produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira.** 2016. 51 f. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Química, Instituto de Química da Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

ROSA, M. F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA**, Foz do Iguaçu (PR), p. 98-105, 2011.

SHARMA, V.; SINGH, S. K.; MOBIN, S. M. Bioinspired carbon dots: from rose petals to tunable emissive nanodots. **Nanoscale Advances**, v. 1, n. 4, p. 1290-1296, 2019.

SOUSA, D. A. C. **Nanopontos de carbono a partir de resíduos industriais do processamento do azeite: produção e aplicações.** 2018. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

SOUZA, D. R. S. et al. Luminescent carbon dots obtained from cellulose. **Materials Chemistry and Physics**, v. 203, p. 148-155, 2018.

SOUZA, R. C. et al. An Alternative Route to Obtain Carbon Quantum Dots from Photoluminescent Materials in Peat. **Materials**, v. 11, n. 9, p. 1492, 2018.

TAN, M. et al. Enhanced photoluminescence and characterization of multicolor carbon dots using plant soot as a carbon source. **Talanta**, v. 115, p. 950-956, 2013.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, Rio de Janeiro (RJ), v. 26, n. 74, p. 249-260, jan. 2012.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, v. 79, p. 47-69, 2007.

VARISCO, M. et al. Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation. **Royal Society open science**, v. 4, n. 12, p. 170900, 2017.

VAZ JÚNIOR, S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: Uma abordagem sustentável. **Embrapa Agroenergia**, doc. 31, 21. Ed., 26 p., 2019.

VITORETI, A. B. F. et al. Células solares sensibilizadas por pontos quânticos. **Química Nova**, São João del-Rei (MG), v. 40, n. 4, p. 436-446, nov. 2017.