

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Ingridi dos Santos Kremer

NANOGERADOR DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL: USO DE
FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS FOTOELÉTRICA E
HIGROELÉTRICA

Cachoeira do Sul, RS
2023

Ingridi Dos Santos Kremer

**NANOGERADOR DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL: USO DE FONTES
DE ENERGIAS RENOVÁVEIS FOTOELÉTRICA E HIGROELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de **Engenheira
Eletricista**.

ORIENTADOR: Prof. Jocenir Boita

COORIENTADORA: Prof.^a Silvana Maldaner

Cachoeira do Sul, RS

2023

Ingridi Dos Santos Kremer

**NANOGERADOR DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL: USO DE FONTES DE
ENERGIAS RENOVÁVEIS FOTOELÉTRICA E HIGROELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de **Engenheira
Eletricista**.

Aprovado em 11 de julho de 2023:

Jocenir Boita, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Criciéle Castro Martins, Dra. (UFSM)

Rafael Domingues Della Pace, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar esse trabalho de conclusão de curso a todas as pessoas que de uma forma ou outra me auxiliaram, durante toda minha graduação.

Agradecer a Deus, pelo dom da vida, por me dar oportunidade, força de vontade para superar todos os desafios.

A minha família, principalmente aos meus pais, Mari Dos Santos Kremer e Paulo Deomar Kremer por fazer esse sonho possível, pela educação que me deram e por me ensinar a ser uma pessoa de bom coração e nunca passar por cima de ninguém, pois sempre temos algo a aprender. Ao meu namorado, Marcelo de Ramos Grenzel, obrigada por todo apoio, paciência e compreensão.

Agradecer a orientação e a inspiração que recebi ao longo dessa jornada, as quais foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional. Obrigada professor Jocenir Boita, por esses 5 anos de orientação, obrigada pela dedicação e paciência, o senhor foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e do meu crescimento.

Agradeço também a professora Silvana Maldaner, por todas as horas de Google Meet, me auxiliando na parte teórica do TCC, e por todo apoio e carinho.

Gostaria também de agradecer a banca examinadora, professora Criciéle Castro Martins e professor Rafael Domingues Della Pace, por dedicarem seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho e fornecer valiosas sugestões e contribuições para o seu aprimoramento.

Agradeço aos meus colegas de turma e amigos, em especial aos amigos do grupo Cozinheiros Universitários do Júlio de Castilho: Andressa Barbieri, Arthur Cordeiro, Cesar Pacheco, Everton Conzatti, Gustavo Steffen, João Gabriel Avellar, Emanuelle Maia, Murilo Lucher e Vinicius Conzzati, obrigada amigos por todo apoio, suporte em Cachoeira do Sul, por todas as janta, vocês foram essenciais.

Agradecer também ao melhor laboratório da UFSM, o LSCnano, por todo conhecimento que adquiri durante os 5 anos de trabalhos realizados, as minhas colegas de laboratório Maria Cecília Caldeira e Eloisa da Rosa por todo apoio, suporte e troca que tivemos no laboratório.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento. Sem o apoio e contribuição de cada um, este trabalho não teria sido possível. Vocês fizeram parte de uma etapa importante da minha vida acadêmica e serei eternamente grata por isso.

RESUMO

NANOGERADOR DE ELETRICIDADE SUSTENTÁVEL: USO DE FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS FOTOELÉTRICA E HIGROELÉTRICA

AUTORA: Ingridi Dos Santos Kremer

ORIENTADOR: Jocenir Boita

COORIENTADORA: Silvana Maldaner

Nos últimos anos, devido ao aumento no consumo de energia elétrica mundial, a geração de energia sustentável tornou-se o foco de diversas investigações científicas. Neste contexto, a eletrônica e a eletricidade transformaram-se na base para o desenvolvimento tecnológico de novos mecanismos e produtos associados à geração de energia. Sendo válido ressaltar, que, atualmente, busca-se por princípios básicos desenvolver novas formas de geração de energia. Neste cenário, este projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) buscará propor uma nova tecnologia para geração de energia baseada no emprego de resíduos industriais e agroindustriais. O resíduo de água e cinza de casca de arroz são alguns dos exemplos de resíduos que serão utilizados neste estudo. O aproveitamento de tais remanescentes de produção está correlacionado ao uso com materiais suportados para a inserção de partículas de Ferro. Através das partículas a base de Ferro desta pretende-se construir um artefato de cimento que funcione como um gerador de energia. O nanomaterial final confeccionado, por se tratar de um artefato de cimento contendo nanoestruturas, servirá como um nanogerador de eletricidade. A resposta do dispositivo será avaliada com base no uso de luz e água, podendo vir a se tornar uma nova tecnologia de geração de energia baseada no uso de luz solar e de precipitação. Desta forma, a presente proposta de pesquisa direcionada ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), possui extrema importância no campo de geração de eletricidade.

Palavras-chave: Nanogerador. Higroeletricidade. Energia fotovoltaica, Ferro.

ABSTRACT

SUSTAINABLE NANOGENERATOR FOR ELECTRICITY: USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES PHOTOELECTRIC AND HYGROELECTRIC

AUTHOR: Ingridi Dos Santos Kremer

ADVISOR: Jocenir Boita

CO-ADVISOR: Silvana Maldaner

In recent years, due to the increase in worldwide electricity consumption, sustainable power generation has become the focus of several scientific investigations. In this context, electronics and electricity have become the basis for the technological development of new mechanisms and products associated with power generation. It is worth noting that, currently, the basic principles are being sought to develop new forms of energy generation. In this scenario, this project will propose a new technology for energy generation based on the use of industrial and agro-industrial residues. Agate residue and rice husk ash are some of the examples of residues that will be used in this study. The use of such production residues is correlated to the use of supported materials for the insertion of iron particles. Through these iron-based particles, the intention is to build a cement artifact that functions as an energy generator. The final manufactured nanomaterial, a cement artifact containing nanostructures, will serve as a nanogenerator of electricity. The response of the device will be evaluated based on the use of light and water, and it may become a new energy generation technology based on the use of sunlight and precipitation. Thus, the present research proposal directed to the Course Conclusion Paper (TCC), has extreme importance in the field of electricity generation.

Keywords: Nanogenerator. Hygroelectricity. Photovoltaic energy, Iron.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Higrogerador proposto por Galembeck e colaboradores.....	18
Figura 2.2 – Higrogerador proposto por Moreira.....	20
Figura 2.3 – Resíduo de pó da pedra ágata.....	22
Figura 2.4 – Resíduo da cinza de casca de arroz.....	23
Figura 3.1 – Fluxograma metodologia.....	24
Figura 3.2 – Nanopartículas de Ferro.....	26
Figura 3.3 – Nanogerador finalizado.....	27
Figura 3.4 – Difração de raios X conforme a lei de Bragg.....	29
Figura 3.5 – Volume de interação: localização dos sinais emitidos pela amostra.....	31
Figura 3.6 – Protótipo de ensaios com e sem a presença de luz.....	32
Figura 3.7 – (a) Caixa fechada sem o acionamento da lâmpada. (b) Com o acionamento da lâmpada.....	33
Figura 3.8 – (a) Caixa fechada sem acionamento da lâmpada com amostra imersa em água. (b) Amostra imersa em água com incidência luminosa.....	33
Figura 4.1 – Difração de raios X do resíduo de cinza de casca de arroz comparado a base de dados ICSD, com estrutura de cristobalita.....	35
Figura 4.2 – Difração de raios X do resíduo de ágata comparado a base de dados ICSD, com estrutura de quartzo.....	36
Figura 4.3 – Difração de raios X da amostra de ferro sem material suporte (resíduos).....	37
Figura 4.4 – DRX do nanogerador com resíduo de RCCA.....	38
Figura 4.5 – DRX do nanogerador com resíduo de RAG.....	38
Figura 4.6 – Medida de microscopia de varredura do resíduo de RCCA.....	39
Figura 4.7 – Medida de microscopia de varredura do resíduo de RAG.....	40
Figura 4.8 – Micrografia da amostra de ferro sem material suporte.....	41
Figura 4.9 – Micrografia do nanogerador com o resíduo de RCCA.....	42
Figura 4.10 – Micrografia do nanogerador com o resíduo de RAG.....	42

Figura 4.11 – Ensaio de incidência luminosa no nanogerador de RCCA com a caixa fechada, com luz e sem luz.....	43
Figura 4.12 – Ensaio de incidência luminosa no nanogerador de RAG com a caixa fechada, com luz e sem luz.....	44
Figura 4.15 – Imersão do nanogerador de RCCA em água e incidência luminosa.....	45
Figura 4.14 – Imersão do nanogerador de RAG em água e incidência luminosa.....	46
Figura 5.1 – Carregamento da bateria de 1,2 V.....	47
Figura 5.2 – Curva de carregamento da bateria de 1,2 V.....	48
Figura 5.3 – Carregamento de duas baterias em série com o nanogerador de RCCA.....	49
Figura 5.4 – Curva de carregamento da bateria de 2,4 V.....	49
Figura 5.5 – Carregamento da bateria de 9V.....	50
Figura 5.6 – Curva de carregamento da bateria de 9 V.....	51
Figura 5.7 – Carregamento de bateria de 1,2 V.....	52
Figura 5.7 – Carregamento de bateria de 1,2 V.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fontes de energia.....	14
Tabela 3.1 – Proporção de massa para a construção da nanopartícula.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL E BRASILEIRA.....	13
2.2 FONTES DE ENERGIA.....	13
2.2.1 Fontes renováveis de energia.....	14
2.3 NANOTECNOLOGIA.....	16
2.3.1 Nanotecnologia e suas Aplicabilidades.....	16
2.4 HIGROELETRICIDADE.....	18
2.5 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS.....	21
2.5.1 Emprego do pó da pedra ágata.....	21
2.5.2 Emprego da cinza de casca de arroz.....	22
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 PREPARAÇÃO DE PARTÍCULAS A BASE DE FERRO.....	25
3.2 CONFECÇÃO DO NANOGERADOR.....	26
3.3 CARACTERIZAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	27
3.3.1 Difração de Raios X (DRX).....	28
3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	30
3.3.3 Medidas de Diferença de Potencial (ddp).....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	35
4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	39
4.3 MEDIDAS DE DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP).....	43
5 APLICAÇÃO DOS NANOGERADORES: CARREGAMENTO DE BATERIAS... 47	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica no cenário atual global possui uma enorme importância, por ser utilizada nas mais diversas atividades, desde as mais básicas até as mais avançadas. Entretanto, devido ao aumento da demanda é observada uma carência no cenário energético, quando se trata de fontes renováveis de energia, visto que o mundo já mostra sinais da falta de oferta.

Na América do Sul, tendo o Brasil como exemplo, a crise mais notável ocorre na geração de energia via uso de usinas hidrelétricas, sendo a maior fonte de geração de eletricidade no país, a qual ocorre devido à escassez de chuvas. Já na China, uma das maiores potências mundiais, a maior matriz energética se concentra no carvão, neste caso a problemática está relacionada à escassez deste recurso, e, além disso, se trata de uma fonte não renovável de energia (PORTAL SOLAR, 2022).

Ademais, considerando os impactos ambientais associados a estes diferentes tipos de geração de energia não renováveis e as metas do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU), lançado em 2015, ficou estabelecido que, é preciso aumentar as fontes renováveis na matriz energética global e manter elevada a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional, visando às dimensões econômica, social e ambiental (COLOMBO et al., 2021).

Diante o exposto, é evidente a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas de geração de energia elétrica, as quais foram propostas, a fim de atingir os objetivos da ONU até 2030. Neste sentido é primordial o aumento da diversificação da matriz elétrica com o uso de fontes alternativas renováveis e de baixo impacto ambiental.

Dessa forma, este estudo apresenta a possibilidade de uma nova alternativa sustentável, de baixo custo e ambientalmente correta, de geração de eletricidade, baseada na reutilização de resíduos industriais e agroindustriais. Como resíduos industriais temos o pó da pedra ágata (AG) já como resíduo agroindustrial cinza de casca de arroz (CCA). Estes resíduos, foram submetidos a processos envolvendo o uso de nanotecnologia, aplicados em fundamentos de energia fotovoltaica e higróelétrica. A partir dos resultados deste estudo, torna-se evidente as possíveis mudanças no modo de geração de energia elétrica, quando comparado com os processos de geração de energia atuais.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem por objetivo, desenvolver um novo material denominado de Nanogerador de Eletricidade, capaz de gerar energia utilizando as fontes de energia fotoelétrica e higroeletrica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentre os objetivos específicos, ressalta-se:

- Utilização de partículas de Ferro;
- Reaproveitamento de resíduos, bem como pó da pedra ágata e cinza da casca de arroz;
- Confecção do nanogerador;
- Realizar ensaios para validar o nanogerador;
- Otimizar sistema a ser desenvolvido, controlando as variáveis do processo para fins de resultados mais reais e aplicáveis no campo de geração de eletricidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será realizada uma revisão da literatura de temas relacionados ao estudo apresentado, utilizando as mais diversas bases de dados disponíveis para o desenvolvimento do trabalho. Neste tópico, serão abordados os seguintes assuntos: matriz elétrica mundial e brasileira, fontes de energias, nanotecnologia e suas aplicações na engenharia elétrica, higroneletricidade e resíduos.

2.1 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL E BRASILEIRA

A matriz elétrica é o conjunto de todas as fontes de energia disponíveis para a produção de eletricidade (ENERGÉTICA et al., 2021). Estas fontes, podem ser renováveis ou não renováveis. Em termos mundiais, a matriz elétrica possui cerca de 73,51% de fontes não renováveis, dentre as quais destacam-se o petróleo, o gás natural e o carvão. Outrossim, a menor parcela dessa matriz, é composta por fontes renováveis de energia (International Energy Agency, 2021). No Brasil, a matriz elétrica é composta majoritariamente de fontes renováveis de energia, correspondendo a 84,76% de sua matriz energética total (ENERGÉTICA et al., 2021), sendo que 65,2% são provenientes da geração hidrelétrica. Sendo válido destacar, que o sul do Brasil segue o panorama brasileiro, com 71,1% de geração hidráulica (dado obtido no dia 16 de maio de 2022) e 21,5% distribuídos entre a geração eólica e térmica (ONS, 2022).

2.2 FONTES DE ENERGIA

As fontes de energia podem ser divididas em dois grandes grupos: fontes renováveis e fontes não renováveis. Entende-se por fontes de energia renováveis aquelas que vêm de recursos naturais capazes de se regenerar (Portal Solar, 2022). Já as fontes não renováveis são as fontes de energia esgotáveis, também conhecidas como recursos naturais finitos (VIANA; TAVARES; LIMA, 2015). A Tabela 2.1 apresenta as fontes de energia renováveis e não renováveis.

Tabela 2.1 – Fontes de energia.

Fontes Renováveis	Fontes Não Renováveis
Energia solar fotovoltaica	Petróleo
Energia eólica	
Biomassa	Carvão mineral
Energia geotérmica	
Energia maremotriz	Energia nuclear
Energia hidroelétrica	
	Gás natural

Fonte: Autora, (2023).

Adiante, nas próximas seções, pode-se encontrar uma breve discussão referente as fontes de energia renováveis destacadas na Tabela 2.1

2.2.1 Fontes renováveis de energia

A partir do quadro apresentado anteriormente (Tabela 2.1), as fontes de energias renováveis exercem um papel fundamental. A energia solar fotovoltaica é caracterizada pela conversão de energia solar em eletricidade (BRITO; SILVA, 2006), realizada através da utilização de células fotovoltaicas. A célula fotovoltaica é comumente formada por materiais semicondutores à base de silício (ZILLES, 2012). Dessa maneira, é a célula fotovoltaica que produz uma pequena corrente elétrica, sendo posteriormente recolhida por um circuito (MENDES, 2011). Vale ressaltar, que o número de células influencia diretamente na corrente e tensão produzida pelo sistema. Assim, o processo de geração engloba tanto a absorção de luz solar, quanto a transformação de corrente contínua em corrente alternada e, desta forma, a

eletricidade gerada pode ser utilizada localmente ou integrada à rede elétrica a qual está inserida (Associação Brasileira de Energia Solar fotovoltaica 2022).

Em contraste com a energia solar fotovoltaica, a energia eólica é a produção de eletricidade através da força do vento. Para utilização dessa força, é empregada uma turbina eólica, que também é conhecida como aerogerador (CASTRO; RENOVÁVEIS; DESCENTRALIZADA, 2004). É no rotor destes aerogeradores que ocorre a transformação de energia cinética dos ventos em mecânica e, posteriormente, a transformação em energia elétrica. Em suma, o processo de geração através da energia eólica pode ser descrita da seguinte forma: com a força do vento, as hélices giram e, assim, se movimentam impulsionando uma força mecânica para o eixo das turbinas, produzindo eletricidade (MAIA, 2011).

Já a biomassa pode ser descrita, como a produção de eletricidade através do aproveitamento de resíduos. Estes resíduos podem ser classificados como rejeito animal, vegetal e urbanos. Sendo válido ressaltar que, cada resíduo possui um potencial energético distinto (GOLDEMBERG, 2009). No processo de geração por biomassa, existem quatro formas de gerar energia: pirólise, gaseificação, combustão e co-combustão. Estes processos ocorrem através da queima da biomassa, e consistem no aproveitamento da energia gerada pelo gás, liberado neste processo que, possibilita a movimentação da turbina. Deste modo, é possível considerar a turbina a gás uma máquina térmica, que aproveita a energia liberada na queima da biomassa. Por consequência, a turbina é conectada a um gerador de eletricidade, ocorrendo, dessa forma, a geração simultânea de energia elétrica (SALES; ANDRADE; LORA, 2006).

Ademais, além dos tipos de geração de energia já descritos e mais utilizados, pode-se citar a energia geotérmica que é a energia térmica advinda do interior da Terra. Esse tipo de geração ocorre nas reservas geotérmicas do planeta, áreas que possuem temperaturas acima de 150 °C e podem ser empregadas para geração de energia elétrica (DUQUE, 2011). Assim, dessa forma, a geração de energia é realizada através do aproveitamento do vapor da água, que faz a turbina girar. Este movimento ocasiona energia mecânica, que será posteriormente transformada em energia elétrica nos geradores.

Além disso, também não tão conhecida, a energia maremotriz ou energia das marés é a energia proveniente das altas e baixas das marés (LIMA et al., 2018). O aproveitamento elétrico ocorre através da construção de barragens. Nestes locais, são instaladas turbinas para aproveitar a variação das marés. Basicamente, nesse tipo de geração o que ocorre é uma transformação de energia cinética em energia mecânica, a qual é convertida em seguida em energia elétrica (SOUSA et al., 2018).

Por fim, e não menos importante, pode-se citar que a energia hidroelétrica é a geração que utiliza a força da água, e semelhante a outros sistemas de geração, no sistema hidroelétrico ocorre a conversão de energia cinética das águas em energia elétrica (CANALES; BELUCO; MENDES, 2015). Nas centrais hidroelétricas, existem barragens que são sistemas de reservatório de água que tem como finalidade a obtenção da maior queda de água possível visando maximizar a força da água sobre a turbina (HUNT; FREITAS; JUNIOR, 2016). Estas turbinas são responsáveis por transformar a energia cinética da água em energia mecânica, por meio de um gerador, responsável pela produção de energia elétrica. Desta forma, após o processo de geração de energia elétrica, a água utilizada volta para o rio, através do canal de fuga (ALVES, 2010).

2.3 NANOTECNOLOGIA

A primeira menção à nanotecnologia ou nanociência, como também é chamada, foi realizada pelo físico Richard Feynman, em 1959. Feynman acreditava que o homem conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas e, assim, construir estruturas de dimensões nanométricas. Em 1974, Norio Taniguchi criou o termo utilizado hoje, a nanotecnologia (TOMA, 2016).

A nanotecnologia engloba a manipulação da matéria, trabalha, portanto, com escalas reduzidas a átomos e moléculas. Esta área da ciência apresenta como unidade de medida o nanômetro, o qual representa 10^{-9} m e vem apresentando avanços tecnológicos significativos (FERREIRA; RANGEL, 2009), principalmente associados ao desenvolvimento de componentes eletrônicos. A nanotecnologia envolve a manipulação de materiais, de modo que as nanopartículas são desenvolvidas e manipuladas para melhorar as aplicações tecnológicas existentes ou criar novas tecnologias (FERREIRA et al., 2005; SILVA, 2008; SCHEEREN et al., 2003). Já é de conhecimento amplo que as nanopartículas, por possuírem seu tamanho reduzido, podem ficar dispersas no ambiente, podendo entrar em contato com o tecido celular de qualquer espécie (YU et al., 2018).

2.3.1 Nanotecnologia e suas Aplicabilidades

A nanotecnologia aplicada à engenharia elétrica representa a promessa da construção de nanomáquinas, as quais poderão facilitar tarefas do dia a dia no futuro (TAN; JALIL, 2012).

Atualmente, muitas tecnologias, como as presentes nos televisores com telas LCD, OLED, COLEDs, E-Waste, são provenientes da nanoeletrônica. Por conseguinte, com o aprimoramento da nanoeletrônica, será possível o desenvolvimento de novos produtos. Nessa perspectiva, entre as vantagens de se usar essa tecnologia, podem ser citadas a flexibilidade mecânica dos componentes, seus tamanhos, menor massa e maior biocompatibilidade. Sendo uma das possíveis aplicações da nanoeletrônica a aplicação em circuitos integrados. Sendo válido ressaltar, que esses, são uma combinação de vários outros elementos eletrônicos como: resistores, transistores, diodos e capacitores, presentes em quase todos os equipamentos eletrônicos existentes (GOPINATH et al., 2019).

Outra aplicação da nanotecnologia são os nanotubos de carbono. Estes componentes, quando comparados com metais, como o cobre, possuem uma condutividade elétrica cinco vezes maior e capacidade de conduzir corrente elétrica mil vezes maior (KIM et al., 2016). Além disso, a sua aplicação mútua na engenharia elétrica e medicina proporcionou a criação de um nanorrobô de DNA que combate o câncer, através da liberação de medicação diretamente na célula doente (ZHAO et al., 2012).

No que se refere a catálise, ressaltamos a sua aplicabilidade para a produção de energia, adjunto com nanopartículas, proporcionando assim um catalisador de maior eficiência para o sistema de geração de energia como células de combustíveis eletroquímicos. Pode-se citar como exemplo, nanopartículas de platina são frequentemente usadas como catalisadores para melhorar a eficiência da reação de oxidação do hidrogênio nas células de combustível (ZHANG et al., 2013).

As células solares fotovoltaicas vêm sendo atualizadas de maneira exponencial, de modo que, as células de terceira geração possuem uma maior eficiência e são de baixo custo, isso se ao processo de sua fabricadas utilizarem nanopartículas. Os nanomateriais com pontos quânticos, nanofios e filmes finos de materiais semicondutores são utilizados para melhorar a absorção do comprimento de onda e a eficiência de conversão de energia nas células fotovoltaicas (HAGFELDT et al., 2010).

As turbinas eólicas também estão utilizando nanotecnologia para melhorar a eficiência. Isso é realizado através do revestimento das pás das turbinas, o que faz reduzir o atrito com o ar, melhorando assim a aerodinâmica e aumentando a eficiência da conversão de energia cinética em energia elétrica (SUN et al., 2013)

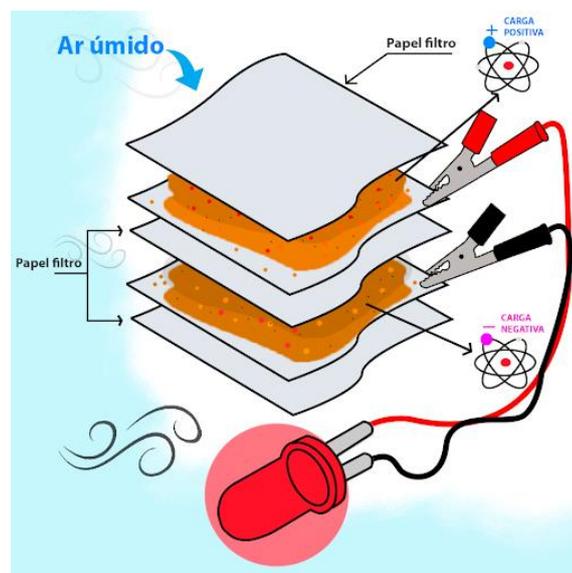
Burgo, Galembeck e Pollack (2016) concluíram ser possível desenvolver um equipamento capaz de gerar eletricidade e armazená-la por meio de nanotecnologia. Os autores

acreditam que uma das aplicações será o desenvolvimento de novos supercapacitores e baterias recarregáveis (BURGO; GALEMBECK; POLLACK, 2016).

2.4 HIGROELETRICIDADE

A higroeletricidade é uma fonte que emprega umidade relativa, vapor da água ou água para geração de energia (GALEMBECK et al., 2010). Este processo de geração foi utilizado por Galembeck e pesquisadores, que devolveram o primeiro higrogerador. O dispositivo desenvolvido pelos autores é composto por folhas de alumínio e folhas de aço inox, intercaladas por papel filtro (isolante) (DUCATI; SIMOES; GALEMBECK, 2010), conforme representado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Higrogerador proposto por Galembeck e colaboradores



Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2020).

O dispositivo apresentado na Figura 2.1 é o primeiro gerador baseado na higroeletricidade (DUCATI; SIMOES; GALEMBECK, 2010; GALEMBECK; BURGO, 2017). Esse dispositivo possui uma diferença de potencial elétrico entre as duas chapas metálicas quando ambas são submetidas a uma alta umidade, obtendo, assim, vários ciclos de carregamento e curto-circuito. A tensão máxima obtida quando se carrega um capacitor de $3,3 \mu\text{F}$ foi de $0,8 \text{ V}$ (DUCATI; SIMOES; GALEMBECK, 2010; GALEMBECK; BURGO, 2017).

Em resumo, os metais presentes no dispositivo fazem a captação das cargas elétricas e se energizam por adsorção de íons de água. Para confirmação desses resultados, Galembeck et. al. (2017) realizou um segundo experimento empregando partículas de sílica. Os resultados obtidos foram semelhantes, ou seja, as mudanças na umidade do ar proporcionam um acúmulo de cargas (DUCATI; SIMOES; GALEMBECK, 2010; GALEMBECK; BURGO, 2017).

Zhao et. al. (2016) desenvolveram um dispositivo higroelétrico à base de estruturas tridimensionais de Óxido de Grafeno. Quando o dispositivo absorve umidade em sua superfície tem-se, por consequência, uma tensão elétrica. Em uma umidade de 75% o sistema apresentou tensão de 0,26 V, e ao ligar quatro dispositivos em série e expor eles à umidade de 80%, foi possível acender um LED (ZHAO et al., 2016).

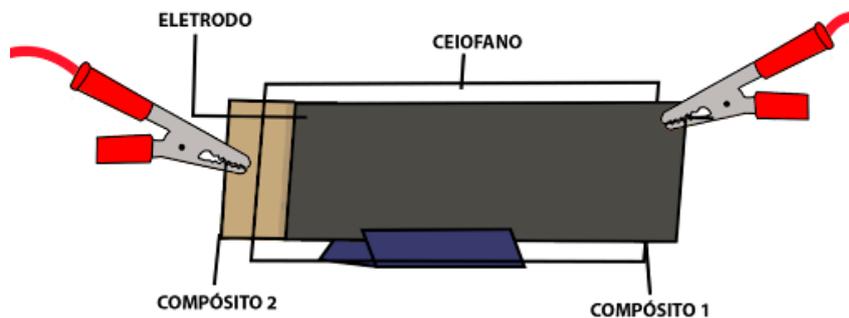
Liang et al. (2017) desenvolveram fibras baseadas em grafeno para a geração de energia, através da umidade do ar, onde obteve uma tensão de 0,4 V e uma corrente de $0,21 W/cm^2$ e $0,7 \mu A/cm^2$. Ao ligar 3 dispositivos em série se obteve uma tensão de 0,9 V, já quando ligado em paralelo se teve uma corrente de $3 \mu A$ (LIANG et al., 2017).

Nie et al. (2018) desenvolveram uma técnica de eletrodeposição de nanofios de polipirrol dopados com gradiente de íons de sódio, para a criação de um gerador higroelétrico. Onde se teve os seguintes resultados: quando o gerador foi exposto a uma umidade de 80% obteve-se uma tensão de 80 mV e a corrente de 0,45 nA. Ao se unir vários foi possível alcançar uma corrente de aproximadamente 140 nA e a tensão manteve-se constante (NIE et al., 2018).

Liu et al. (2020) desenvolveram um dispositivo baseado em nanofios de uma proteína extraída de um micróbio, através da aplicação desse dispositivo desenvolvido se obteve uma corrente de $17 \mu A/cm^2$ e tensão de 0,5 V, quando o dispositivo era submetido a uma umidade ambiente (LIU et al., 2020).

Moreira et al. (2020), trabalharam no desenvolvimento de um gerador higroelétrico para a captação de energia baseado em nanoestruturas. Neste trabalho, Moreira et al. (2020) utilizaram nanopartículas de Sulfato de Ferro III ($Fe_2(SO_4)_3$) e Hidróxido de Sódio (NaOH). Estes nanocompósitos foram depositados sobre uma superfície de grafite e construiu-se o higrogerador representado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Higrogerador proposto por Moreira.



Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2020).

Segundo Moreira et al. (2020) o nanogerador apresentou tensão de aproximadamente 500 mV.

Guoping Ren et. al. (2021), propuseram um higrogerador a base de filme facilmente preparado de célula inteira a *Geobacter sulfurreducens* (GS) e um eletrodo de óxido de índio e estanho de baixo custo. O higrogerador apresentou uma tensão em circuito aberto de 0,3 V, corrente 0,3 A com uma densidade de potência de $2,5 \text{ W/cm}^2$ que durou mais de 2160 h (GOUPING REN et al., 2021).

Qichang Hu et al (2023), propôs um gerador higroelétrico híbrido, o qual gera energia elétrica através da absorção de água e da energia fotovoltaica, o qual recebe como nome o de hidroelétrico-fotovoltaico (HPG). O HEG foi construído utilizando Biofilme *Geobacter Sulfurreducens* (Ge, Nitreto de Carbono (CN)) e Bio-nano. O gerador em questão apresentou uma densidade de potência de aproximadamente 122 mW/m^2 . Segundo os autores, o HPG apresentou-se estável em várias variações climáticas, e que a junção do efeito higroelétrico e o efeito fotovoltaico, pode melhorar o rendimento do gerador, além de também trazer um novo produto ao mercado (HU et al., 2023).

Rezende et al. (2009) concluíram que a água presente na atmosfera contribui para o acúmulo e dissipação de cargas, funcionando como fonte e sumidouro. O modelo baseado na adsorção de íons de água permite explicar parcialmente os fenômenos envolvidos na eletrização de interfaces sólido-líquido e sólido-vapor (GALEMBECK; BURGO, 2017; MOREIRA et al., 2020).

Neste sentido, é importante compreender os fenômenos envolvidos na eletrização de interfaces sólido-líquido e sólido-vapor. Nestas duas interfaces, o fenômeno físico é semelhante. Por exemplo, na interface sólido-líquido, a adsorção dos íons sobre a superfície sólida provoca um acúmulo de cargas no material. Em função deste aumento de cargas desbalanceadas (excesso de cargas positivas ou negativas), essa interface torna-se carregada e pode ser denominada como uma dupla camada elétrica. A dupla camada elétrica é formada quando o material é condutor ou semicondutor. O mesmo processo ocorre na interface sólido-vapor (MOREIRA et al., 2020).

2.5 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Nesta seção serão apresentados os resíduos empregados na construção do nanogerador, como: pó da pedra ágata e cinza da casca de arroz.

2.5.1 Emprego do pó da pedra ágata

O pó de pedra ágata é um resíduo industrial resultante do processo de extração e lapidação pedra preciosa ágata, é gerado um resíduo que traz como nome pó da pedra ágata (RAG). O RAG é uma variedade de quartzo microcristalino usado para a fabricação de joias e objetos decorativos (BELLO et al., 2013). Na Figura 2.3 é apresentado o resíduo do pó da pedra ágata (RAG)

Figura 2.3 – Resíduo de pó da pedra ágata.



Fonte: Autora (2023).

O pó da pedra ágata consiste em partículas finas, as quais resultam do processo de corte para a lapidação da pedra e o polimento da mesma. Essas partículas podem variar o tamanho, dependendo do processo específico utilizado. O pó de pedra ágata é considerado um resíduo industrial, pois não tem valor comercial direto como a lapidação da pedra (BELLO et al., 2013). Assim como qualquer outro resíduo industrial, a gestão adequada do Pó de ágata é importante para minimizar os impactos ambientais, onde o resíduo pode ser reciclado ou reutilizado em processos como mistura com resinas na produção de materiais de revestimento ou como componentes em produtos de construção civil.

2.5.2 Emprego da cinza de casca de arroz

O resíduo de cinza da casca de arroz é proveniente do processo de queima da casca de arroz (RCCA), sendo a (TÉCNICAS, 2004) o RCCA é classificado como um resíduo de classe IIA, isto refere-se que o RCCA não é nocivo à saúde humana e também não agride o meio ambiente. A Figura 4 apresenta o resíduo de cinza da casca de arroz (RCCA) A Figura 2.4 apresenta o resíduo da cinza da casca de arroz.

Figura 2.4 – Resíduo da cinza de casca de arroz.



Fonte: Autora (2023).

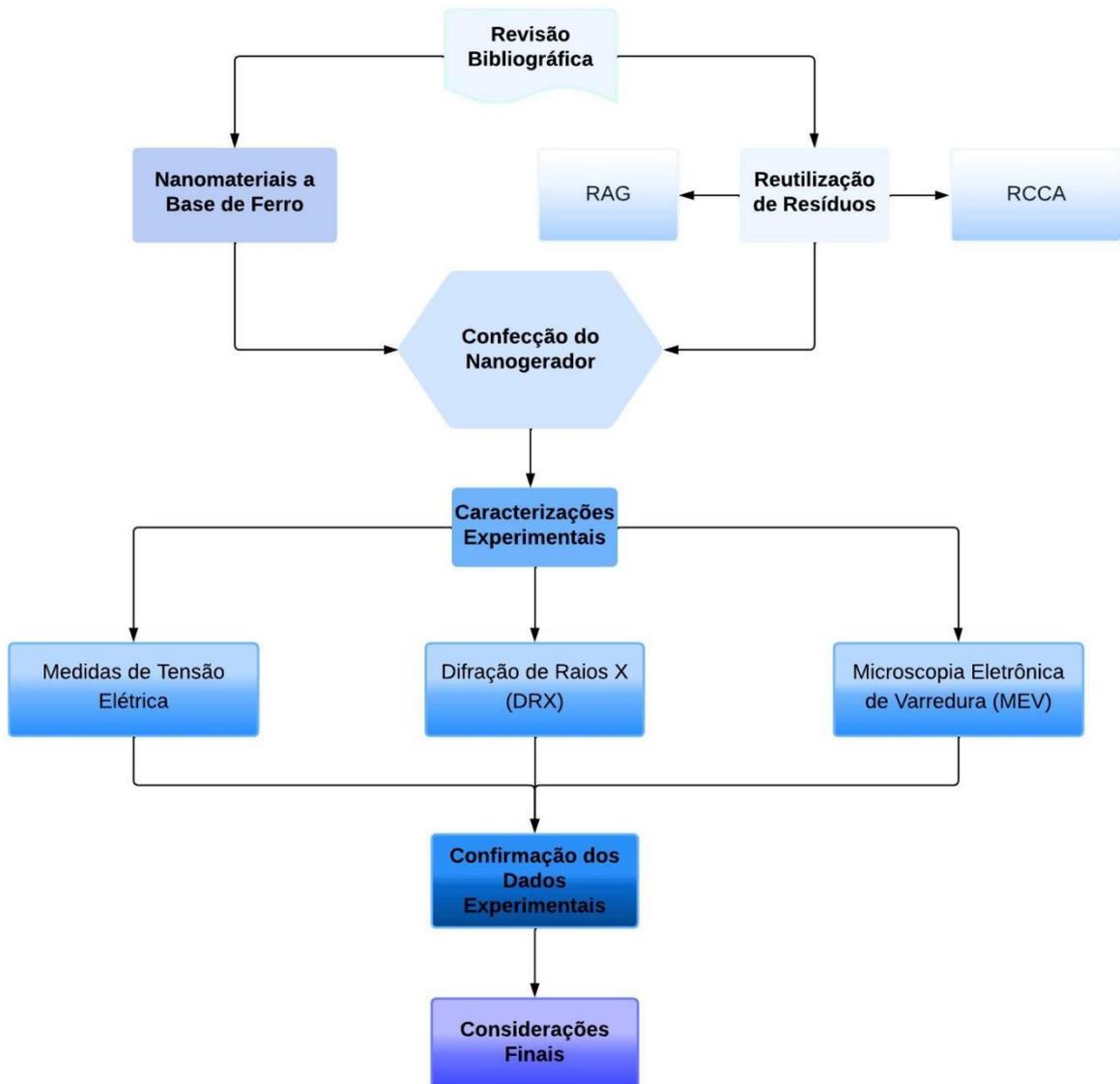
A cinza de casca de arroz é um resíduo rico em sílica, a qual apresenta aproximadamente 90% de sílica em sua estrutura (ISAIA et al., 2017). Segundo Moayedi et al. (2019), a cinza possui alto conteúdo pozolânico. O material pozolânico refere-se a substâncias naturais ou artificiais que, quando combinadas com cimento, conseguem melhorar as propriedades do concreto. Ressalta-se que o seu alto teor de sílica também pode ser utilizado como substituta para estabilizadores tradicionais como cimento e cal (MOAYEDI HOSSEIN E AGHEL, 2019).

Ao adicionar o RCCA ao cimento, ocorre uma reação química chamada de reação pozolânica, essa reação forma compostos adicionais como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, o que faz com que a mistura fique mais resistente e com maior durabilidade. Além disso, O RCCA, possui características pozolânicas que permitem reduzir a quantidade de cimento necessária, o que pode resultar em uma redução nas emissões de carbono associadas à produção de cimento (POUEY, 2006).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, é feita uma exposição detalhada da metodologia utilizada durante todo o trabalho. O objetivo é criar uma nova fonte de geração de energia elétrica. Um nanogerador híbrido, por meio do uso de higroneletricidade e fotoeletricidade, utilizando de conceitos e práticas de uso da nanotecnologia na confecção de amostras a base de ferro, suportadas em resíduos de (RCCA e RAG). Para melhor entendimento a seguir é apresentado um fluxograma pela Figura 3.1 onde apresenta o caminho adotado para a confecção deste trabalho.

Figura 3.1 – Fluxograma metodologia



Fonte: Autora, (2023).

3.1 PREPARAÇÃO DE PARTÍCULAS A BASE DE FERRO

A confecção de amostras a base de Ferro foi realizada no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCNano), da Universidade Federal de Santa Maria campus Cachoeira do Sul. Para a preparação das amostras, foi necessário a utilização de instrumentação e equipamentos adequados para o desenvolvimento da síntese química. Abaixo segue a descrição dos equipamentos que foram utilizados:

- Balança analítica da marca Ura - Ua 220: utilizada para pesagem de reagentes com precisão de quatro casa decimais;
- Agitador magnético com aquecimento: utilizado para agitação das nanopartículas, e aquecimento, possuindo a capacidade de variar de temperatura ambiente à 360 °C;
- Estufa de esterilização: utilizada para esterilização e secagem de instrumentação.

Assim como os equipamentos citados, também foram utilizados alguns utensílios de instrumentação, como: beakers de 50 ml, espátulas, pinça, micropipeta de 1 ml, barras magnéticas, copos plásticos de 200 ml e fio de cobre de 4 mm².

Foram utilizados reagentes químicos os quais são a base da formação das amostras contendo ferro.

A receita utilizada neste trabalho foi originada através da patente depositada pelo grupo anteriormente (BR 102016006952-1) e também foram motivados pelo fator segurança, visto que não apresentam toxicidade.

Para a elaboração da amostra contendo ferro, foi necessário a realização das pesagens de reagentes separadamente nas respectivas dosagens conforme pode ser observado na tabela 3.1 .

Tabela 3.1 – Proporção de massa para a construção da nanopartícula.

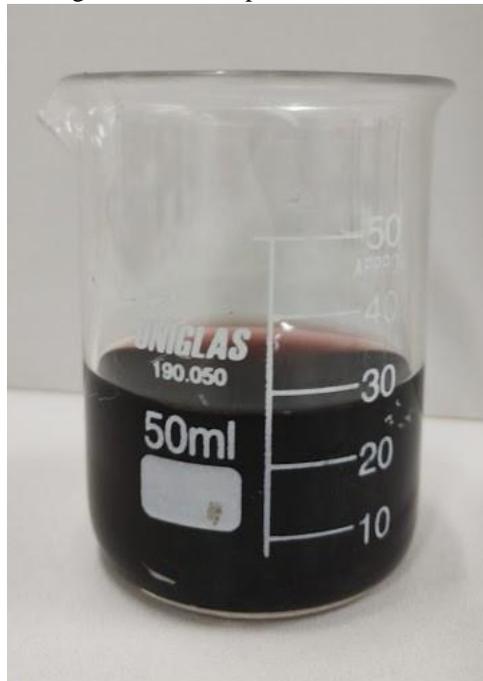
Ordem de mistura	Reagentes	Massa (mol)	Quantidade de água (mol)
(I)	Sulfato Ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)	0,004	0,222
(II)	Citrato de Sódio ($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$)	0,02	0,222
(III)	Polivinilpirrolidona (C_6H_9NO)	0,007	0,222
(IV)	Ácido Ascórbico ($C_6H_8O_6$)	0,006	0,444

Fonte: Autora, (2023).

O processo de mistura dos reagentes ocorre na seguinte ordem: (II) \rightarrow (I), (III) \rightarrow (I, II) e (IV) \rightarrow (I, II, III). Em seguida é realizado o processo de mistura. Após esse processo de mistura a amostra é deixada em agitação por 30 minutos, onde após esse tempo é removida a barra magnética e deixada em repouso coberta com Parafilm por mais 90 minutos.

Este processo de mistura deve ser respeitado a fim de obter partículas à base de ferro. A partir dos resultados visuais e de comportamento da amostra líquida, percebe-se uma solução coloidal de cor escura (preta), sem a formação de precipitado e impossível de extrair via centrifugação em centrífuga de 4500 rpm. Isso mostra indícios de formação de nanopartículas (NPs) na ordem de alguns nanômetros, embora não se tenha medidas de microscopia de transmissão, este resultado lúdico mostra uma tendência a formação estável de nanopartículas, mesmo após semanas de sua preparação. Na Figura 3.2 é mostrado uma imagem real da amostra após o tempo de formação.

Figura 3.2 – Nanopartículas de Ferro.



Fonte: Autora, (2023).

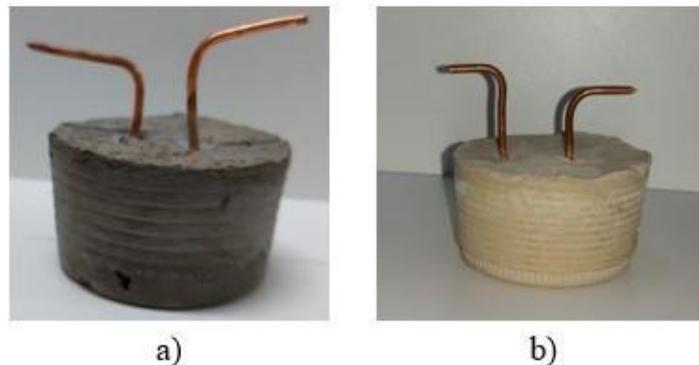
3.2 CONFECÇÃO DO NANOGERADOR

Nesta etapa são utilizados os resíduos de cinza de casca de arroz (RCCA) e pó de pedra ágata (RGA), adicionado ao carbonato de cálcio (cimento). As dosagens (resíduo + cimento)

utilizada é na escala 1/1, com quantidades sendo 15 g/15 g (RCCA/cimento) e 35 g/35 g (RAG/cimento). Ao definir a quantidade utilizada de cada um dos elementos, eles são homogeneizados, formando uma mistura única para receber a solução de NPs de ferro. Na sequência, são preparados dois pedaços de fio de cobre, que possuem 10 cm de comprimento, e uma bitola de 4 mm². Os fios; possuem a função de serem utilizados como eletrodos do nanogerador, para que se consiga realizar as medidas de tensão. Em seguida, com os fios cortados, a mistura é colocada em um recipiente plástico, o qual serve como forma para a fabricação do gerador.

Posteriormente a isso é misturado à solução coloidal de NPs de ferro na mistura de pós-realizada anteriormente e homogeneizada até obter uma pasta homogênea e consequentemente colocado os dois eletrodos de fio de cobre na pasta deixando-a em repouso por um tempo de 3 a 5 dias. A figura 3.3 mostra uma imagem real do nanogerador pronto para as caracterizações experimentais.

Figura 3.3 – Nanogerador finalizado. a) o nanogerador a base de RCCA, e em b) tem-se o nanogerador a base de RAG.



Fonte: Autora, (2023).

3.3 CARACTERIZAÇÕES EXPERIMENTAIS

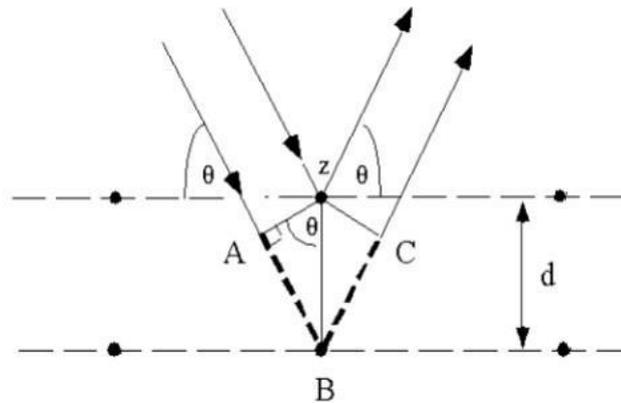
Em seguida, será apresentado as técnicas de caracterização aplicadas no presente trabalho, sendo elas: difração de raio X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as medidas de diferença de potencial (ddp).

3.3.1 Difração de Raios X (DRX)

A difração de raios X corresponde a uma das mais importantes técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, policristalinos e amorfos. Esta técnica de caracterização fornece aplicações em diversos campos do conhecimento, como na Física, ciências de materiais, engenharias, geociências, dentre outros. Ao incidirem em um material, os raios X podem ser espalhados elasticamente (sem perda de energia) pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X após a colisão com o elétron, acaba mudando sua trajetória, mantendo a mesma fase e energia do fóton incidente. Conforme a Física ondulatória, é possível afirmar que a onda eletromagnética é instantaneamente absorvida pelo elétron e reemitida, onde cada elétron atua como centro de emissão de raios X na própria amostra (ZACHARIASEN, 1945). Uma vez que os átomos que geram este espalhamento estiverem arranjados de maneira sistemática, ou seja, em uma estrutura cristalina, separada por distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas, e que os efeitos de difração de raios X podem ser observados em vários ângulos

Considerando dois ou mais planos de uma estrutura cristalina, as condições para haver a ocorrência de difração de raios X, através de interferências construtivas e destrutivas ou em uma mesma fase, dependerão da diferença de caminho percorrida pelos raios X e do comprimento de onda da radiação incidente (figura 3.4). Segundo a equação descrita abaixo, a condição satisfaz à lei de Bragg, onde corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente, n corresponde a um número inteiro (ordem de difração), d corresponde à distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índices de Miller) da estrutura cristalina, e corresponde ao ângulo de incidência dos raios X (medido entre os feixes incidentes e os planos cristalinos) (CHAIKIN PAUL LUBENSKY, 1995).

Figura 3.4 – Difração de raios X conforme a lei de Bragg



Fonte: (MEDEIROS, 2020)

A Figura 3.4 apresenta a derivação da Lei de Bragg usando a geometria da reflexão e aplicando na trigonometria. O feixe inferior deve viajar a distância extra ($AB + BC$) para continuar viajando paralelo e adjacente ao feixe superior. Já lei de Bragg é expressa pela equação (3.1):

$$n\lambda = 2d\sin(\theta) \quad (3.1)$$

Onde n é o número inteiro (conhecido por ordem de difração), λ é o comprimento de onda da radiação, d a distância entre os planos cristalinos e θ o ângulo de incidência da radiação aos planos cristalinos (HU et al., 2023).

A intensidade das difrações, dependem entre outros fatores, do número de elétrons existentes no átomo envolvido. A intensidade difratada é dependente, entre outros fatores, do número de elétrons no átomo. A distribuição dos átomos no espaço ocorre de tal forma que os inúmeros planos de uma estrutura cristalina possuem diferentes densidades de átomos ou elétrons, resultando em intensidades difratadas distintas para os diversos planos cristalinos.

Com o uso da equação para a intensidade de um feixe difratado, pode-se obter uma relação entre a largura à meia altura do pico de difração e o tamanho da partícula, através da equação de Debye-Scherrer, a qual relaciona essas grandezas. A equação 3.2 apresenta o modelo de partículas esféricas.

$$D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (3.2)$$

Onde:

- D : diâmetro médio das partículas;
- K : constante que depende da forma das partículas (esfera = 0,94);
- λ : comprimento de onda do feixe de raios X;
- θ : ângulo de difração;
- β : largura a meia altura do pico de difração.

O tamanho de grão pode ser avaliado a partir equação 3.2, apresentando resultados satisfatórios como quando considerada para cálculos de primeira aproximação para o tamanho médio de uma partícula. Para obter uma maior precisão no tamanho médio de materiais cristalinos, se recorre a refinamento Rietveld (WEST, 2022). O método Rietveld permite o refinamento da estrutura cristalina, análise quantitativa das fases, tamanho e determinação de orientação preferencial. O método de refinamento Rietveld está baseado em mínimos quadrados, o qual permite a simulação teórica de dados experimentais a partir de estruturas cristalinas bem definidas.

As medidas de difração de raios X foram realizadas no departamento de Física da UFSM, no Laboratório De Magnetismo E Materiais Magnéticos (LMMM). Foi utilizado um difratômetro Bruker D8 Advance, com goniômetro na geometria Bragg Brentano (-2θ), com tubo de raios X de cobre contendo um detector de Linx Eye contendo tiras de silício. Para a emissão de raios X com um comprimento de onda característico do alvo foi o Cu k de comprimento de onda de 1,54 Å, com tensão de 40kV e corrente elétrica de 40 mA. As amostras foram analisadas na forma de pó, com 2θ (5 - 90°). A identificação dos dados foi realizada através da plataforma do programa Crystallographica Search-Match, inserindo dados da base ICSD.

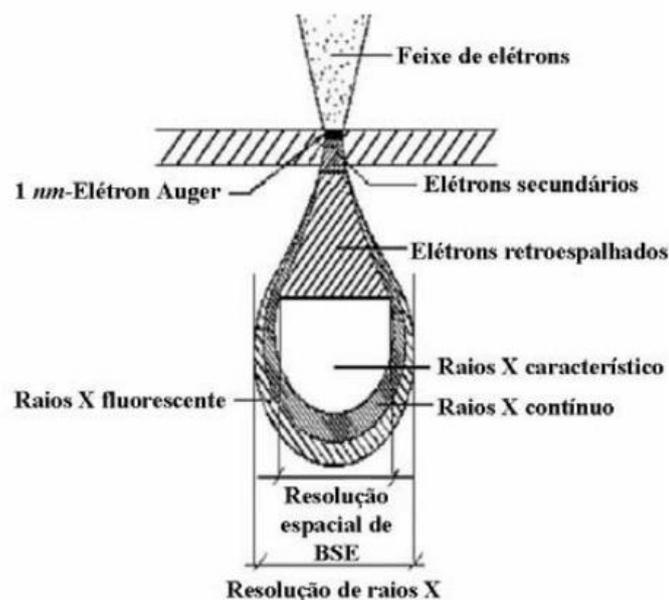
3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica de caracterização que permite a obtenção de análise morfológica e as características microestruturais de materiais sólidos. A imagem formada possui aparência tridimensional em função da grande profundidade de campo. Bobinas de deflexão auxiliam o feixe a ser guiado, varrendo a superfície da amostra por meio de uma malha retangular, onde o sinal da imagem é um resultado da interação do feixe de elétrons incidentes com a superfície da amostra. Este tipo de equipamento necessita de uma

fonte de elétrons, geralmente utilizada no tungstênio (W) na forma de filamento. Uma alta tensão é aplicada entre o filamento e o ânodo, correspondente na faixa de 1 a 50 kV, fazendo com o feixe de elétrons seja acelerado em direção ao alvo. Além do feixe de elétrons, este precisa ser focalizado na amostra, o qual ocorre através do uso de um conjunto de lentes eletromagnéticas até um tamanho (spot size) próximo a 4. A formação da imagem ocorre através da amplificação da corrente de elétrons secundários emitidos pela amostra (BOITA, 2010).

A resolução da imagem formada dos elétrons secundários, encontram-se na faixa dos 50 eV, configurando as imagens uma alta resolução lateral, algo próximo de 5 nm. O caminho livre médio inelástico corresponde a 2 a 20 nm. Já os elétrons retroespalhados produzidos possuem uma energia na faixa de 50 eV até o valor da energia do elétron primário, e não são utilizados para geração da imagem. Na Figura 3.5 é apresentado o volume de interação, e a localização dos sinais emitidos pelas amostra.

Figura 3.5 – Volume de interação.



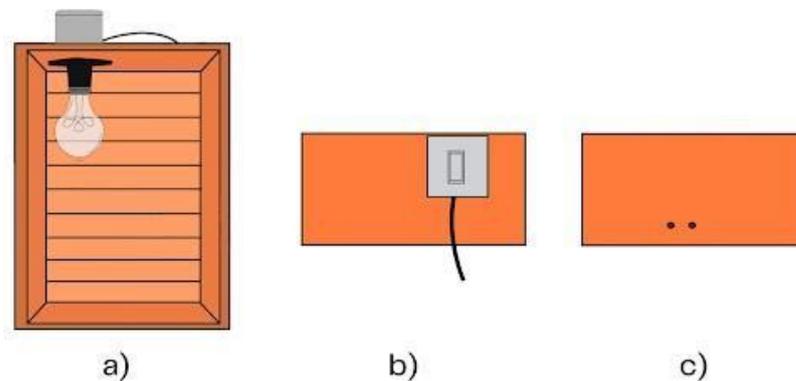
Fonte: Apud Dedavid (2007) de Boita (2010)

As imagens de microscopia foram realizadas no Laboratório de Microscopia (MEV) da UFSM, modelo JEOL 6360, 20 kV. As amostras estavam na forma de pó, metalizadas com ouro para a realização de varreduras em imagem.

3.3.3 Medidas de Diferença de Potencial (ddp)

Para a realização das medidas de diferença de potencial (tensão), foi necessário a utilização de um Multímetro de bancada da marca minipa MDM -8145A, com função de aquisição de dados em tempo real. Para efeitos de ausência de luz, foi utilizado um protótipo confeccionado no laboratório, mostrado na figura 3.6.

Figura 3.6 – Protótipo de ensaios com e sem a presença de luz. a) apresenta a vista frontal, em b) a superior e em c) a lateral



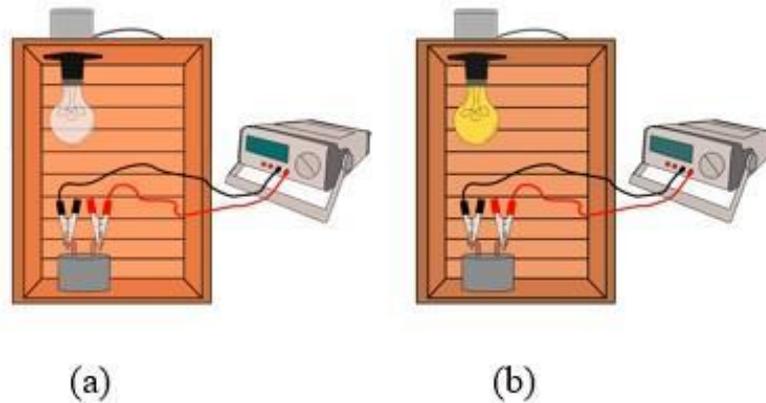
Fonte: autora, (2023)

Os ensaios do nanogerador compreenderam a utilização com luz, sem luz, com luz e água. Estes ensaios foram realizados com o objetivo de comparar a incidência de fótons na superfície da amostra. Desta forma, foi utilizada uma lâmpada de 70 W para assim se verificar as características fotovoltaicas do nanogerador. Os testes, foram realizados, durante o período de 1h30 min, sendo descritos abaixo:

- Ensaio de incidência luminosa;
- Ensaio de imersão na água e incidência luminosa.

O primeiro ensaio realizado foi o de influência luminosa, para analisar a tensão apresentada na ausência e presença da luz. As medidas foram realizadas conforme o protótipo apresentado na Figura 3.7, com tempo de duração de 90 minutos, sendo 60 minutos com a luz desligada e a caixa totalmente no escuro contendo a amostra, após esse tempo a lâmpada foi acionada por mais 30 minutos, a fim de identificar as mudanças ocorridas em termos de diferença de potencial.

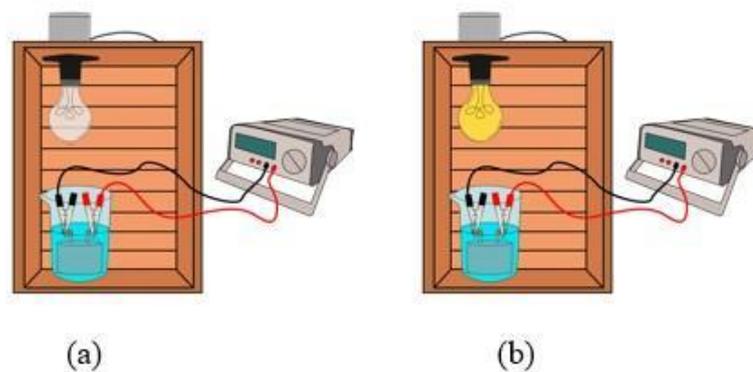
Figura 3.7 – (a) Caixa fechada sem o acionamento da lâmpada. (b) Com o acionamento da lâmpada.



Fonte: Autora (2023)

Na segunda leva de ensaios acerca da tensão gerada, foi realizada a imersão da amostra em água, para conferir o efeito em termos da diferença de potencial. O tempo foi o mesmo do ensaio anterior, de 90 minutos, seguindo o mesmo padrão de medidas realizadas anteriormente. O mecanismo de ensaio realizado está mostrado na figura 3.8.

Figura 3.8 – (a) Caixa fechada sem acionamento da lâmpada com amostra imersa em água. (b) Amostra imersa em água com incidência luminosa.



Fonte: Autora (2023)

Estes ensaios foram realizados a fim de verificar as propriedades fotoelétricas e higróelétricas e, desta forma validar o dispositivo confeccionado para futuras investigações pelo grupo com o intuito de melhorar as propriedades verificadas e explorar outras medidas elétricas. A consolidação dos resultados que serão apresentados ocorreu através do carregamento de

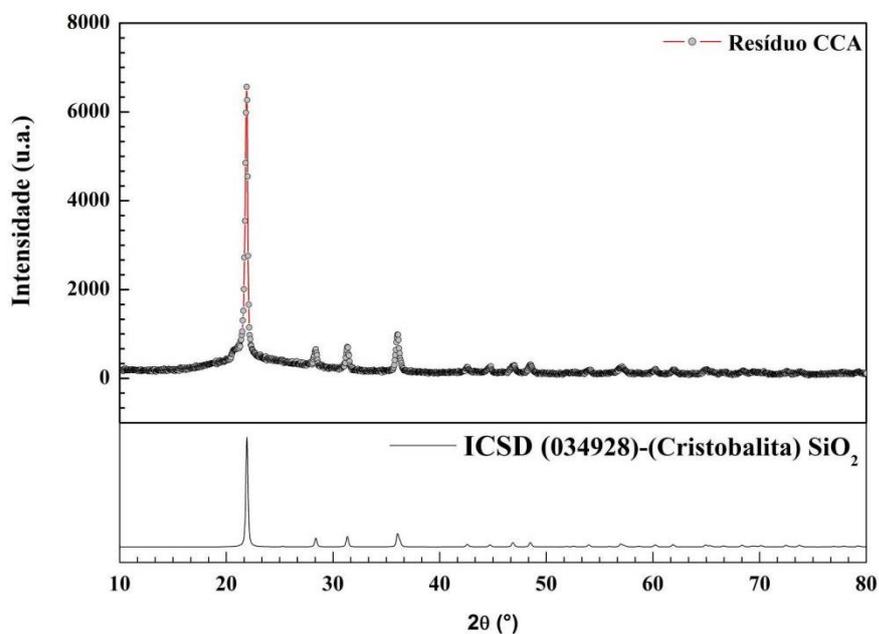
baterias recarregáveis de 1,2 V, 2,4 V e 9 V, expostas ao sol e submerso em água, ligado em série no sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

As medidas de difração de raios X foram realizadas para os resíduos de cinza de casca de arroz e pó de pedra ágata, amostras contendo ferro, ferro suportado em resíduo de cinza de casca de arroz e no resíduo de ágata. Inicialmente tem-se as medidas de DRX para os resíduos de cinza de casca de arroz e o resíduo de ágata, mostrados nas Figura 4.1 e 4.2.

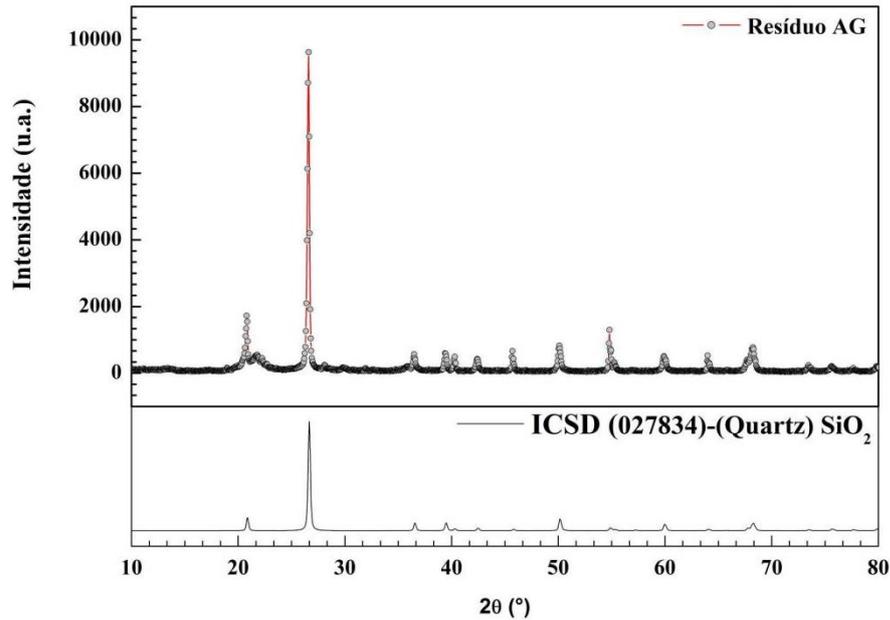
Figura 4.1 – Difração de raios X do resíduo de cinza de casca de arroz comparado a base de dados ICSD, com estrutura de cristobalita.



Fonte: Autora (2023)

Através do uso do programa Crystallographica Search-Match e da base de dados ICSD, foi possível identificar fases diferentes em ambos os resíduos. É notável a presença de SiO_2 em ambos os resíduos, mas em fases diferentes, ou seja, o arranjo atômico não é o mesmo. Na figura 4.1 (RCCA), tem-se a presença indiscutível de SiO_2 na fase de Cristobalita. Já a Figura 4.2 (RAG), tem-se a presença também de SiO_2 na fase de quartzo.

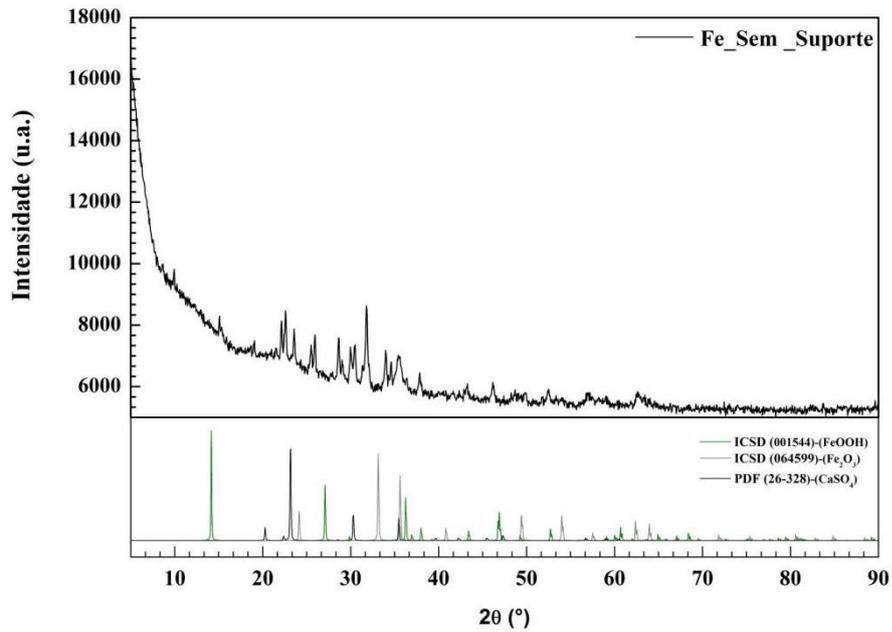
Figura 4.2 – Difração de raios X do resíduo de ágata comparado a base de dados ICSD, com estrutura de quartzo.



Fonte: autora, (2023)

A partir do resultado para a amostra contendo ferro foi possível verificar junto a figura 4.3. Pode-se perceber a presença de duas fases de ferro distintas, sendo algo parcial de goetita e outra de hematita. Essa presença de óxidos ocorre após passagem por processo de secagem junto a forno mufla simples, fazendo com a amostra mude de fase em relação à fase líquida. A presença de CaSO_4 , ocorre devido aos reagentes utilizados na síntese, ficando ainda um resquício junto da amostra. Também é possível notar que a intensidade e a largura da meia altura dos picos relacionados às fases de ferro estão nos intensos e mais alargados, isso são características de amostra em tamanho reduzido, na ordem de nanômetros.

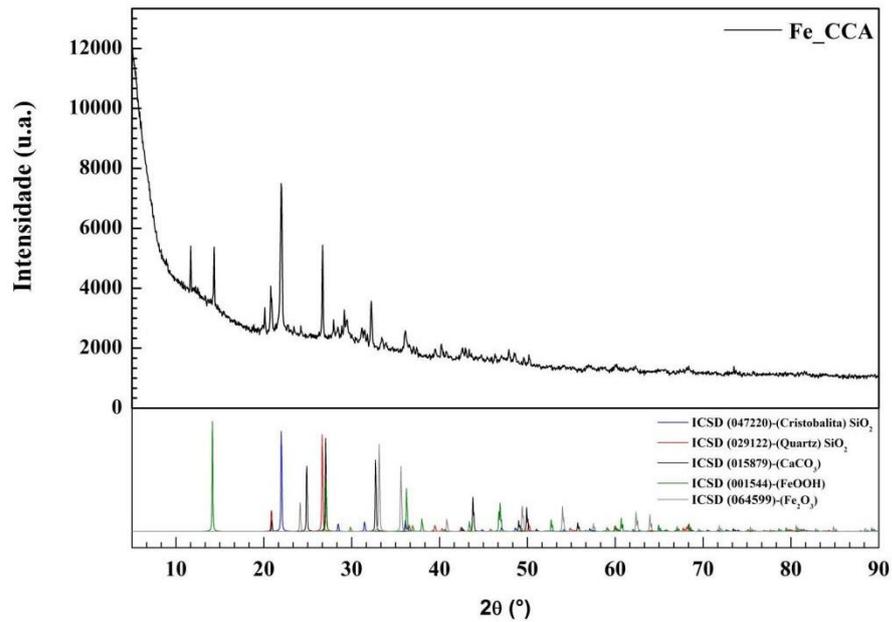
Figura 4.3 – Difração de raios X da amostra de ferro sem material suporte (resíduos).



Fonte: Autora (2023)

O DRX do nanogerador com resíduo de casca de arroz, apresenta a fase de cristobalita bem assinalado, junto de uma pequena contribuição de quartzo. Isso ocorre pela presença do carbonato de cálcio, fazendo com que haja uma reação química modificando a estrutura do resíduo de forma não muito significativa, mas podendo ser identificado na amostra. Na mistura ocorre um processo exotérmico, fazendo com que a amostra aqueça por alguns minutos, ocorre uma modificação parcialmente a fase de cristobalita para quartzo. A temperatura para se tornar cristobalita deve ser superior a 1400 °C. A presença das fases do ferro se mantém, intensificando e aparecendo a presença de carbonato de cálcio devido ao cimento.

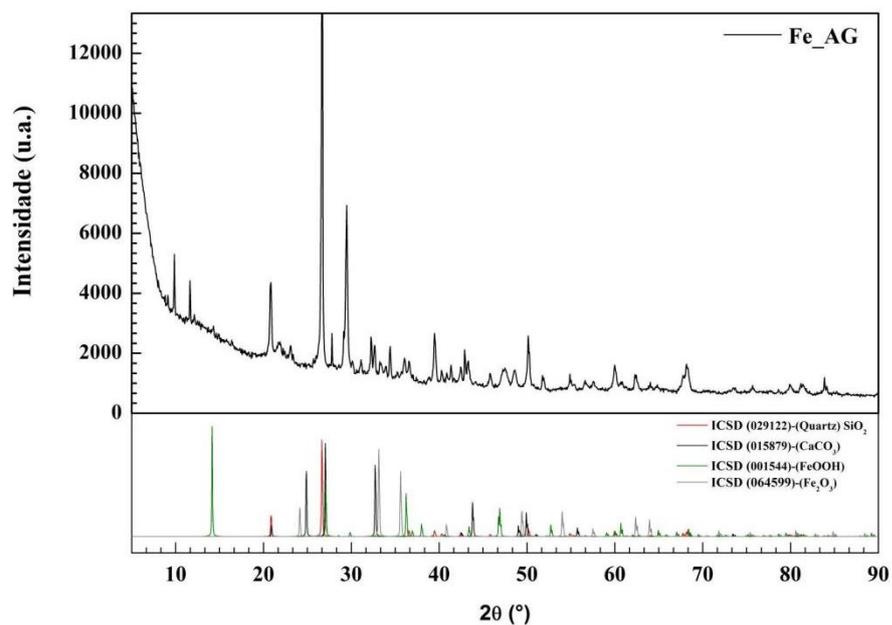
Figura 4.4 – DRX do nanogerador com resíduo de RCCA.



Fonte: Autora (2023)

Para a amostra de nanogerador a partir do resíduo de ágata, mostrado na figura 4.5, identificamos as fases do ferro, do carbonato de cálcio e apenas se manteve a fase de quartzo. A não modificação da estrutura, ocorre em função da temperatura para modificação do arranjo atômico ser muito alta, como mencionado anteriormente.

Figura 4.5 – DRX do nanogerador com resíduo de RAG.



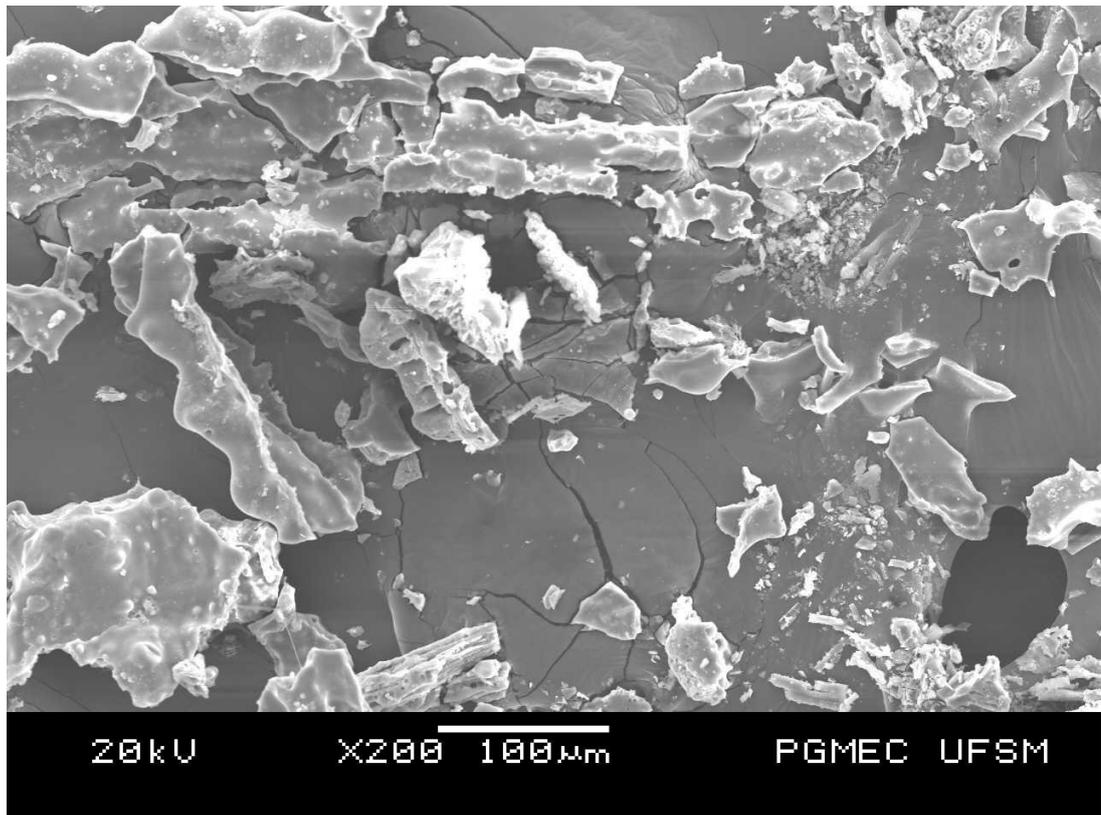
Fonte: Autora (2023)

4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As medidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foram realizadas com o intuito de se verificar a morfologia das amostras e, desta forma, demonstrar as diferenças.

As microscopias de varredura para o resíduo de cinza de casca de arroz, mostra uma forma de indefinida, com tamanho variável na ordem de alguns microns. É possível perceber pela Figura 4.6, que o resíduo possui uma forma porosa, com bastante espaços vazios.

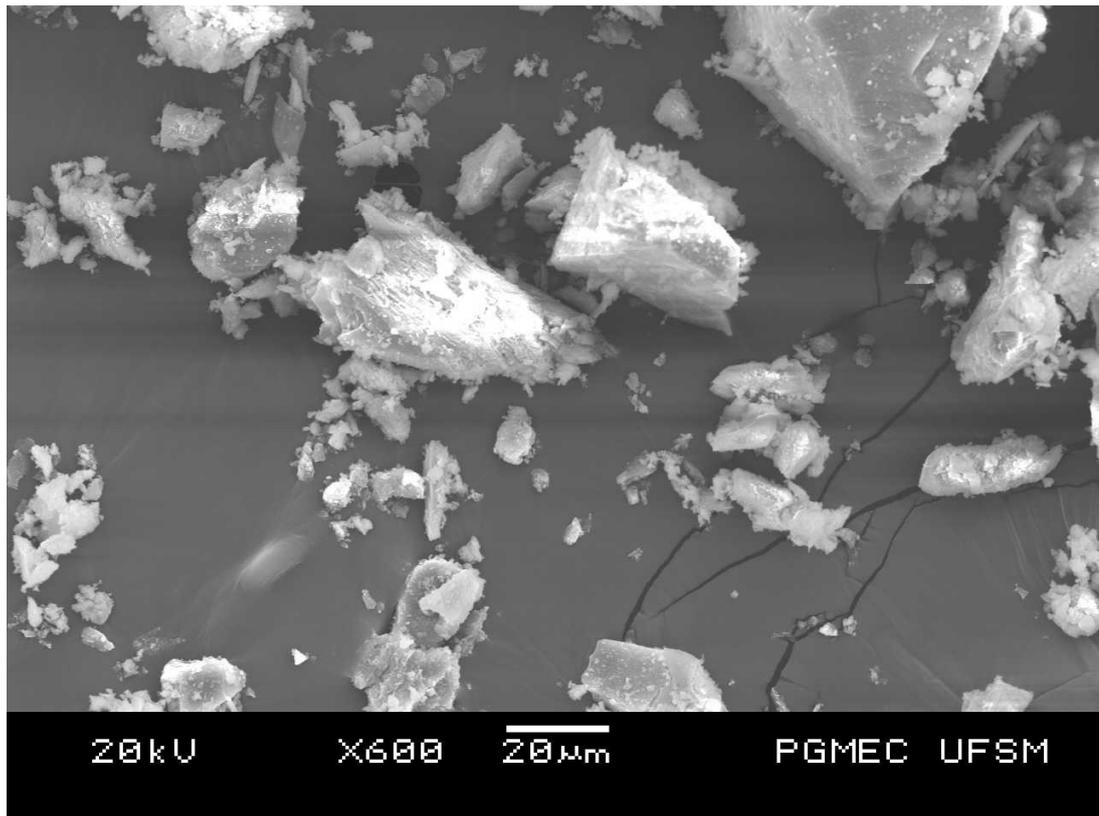
Figura 4.6 – Medida de microscopia de varredura do resíduo de RCCA.



Fonte: Autora (2023)

Para o resíduo de ágata, Figura 4.7, é possível perceber também uma forma indefinida através do alcance fornecido pelo microscópio com tamanho variável. No RAG não é possível perceber a porosidade existente em RCCA.

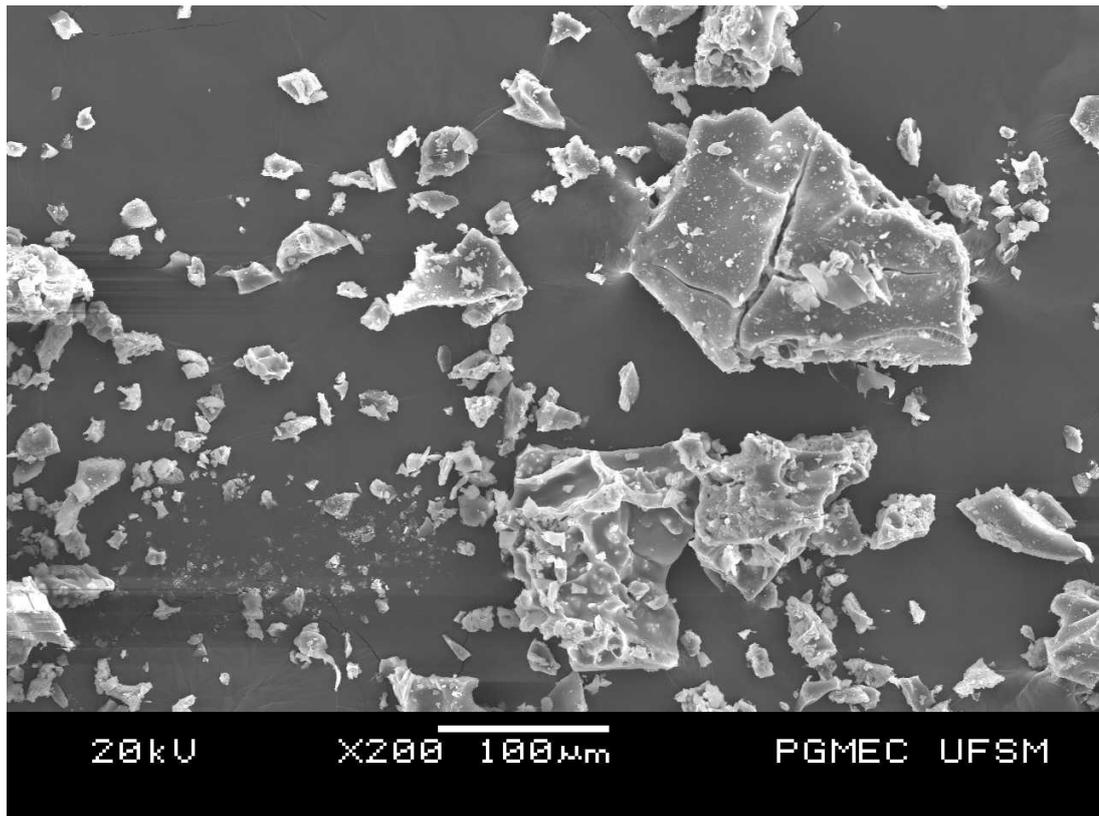
Figura 4.7 – Medida de microscopia de varredura do resíduo de RAG.



Fonte: autora, (2023)

Para a amostra de ferro puro, Figura 4.8, não foi muito diferente das demais, o que se destaca pela imagem é que possui uma distribuição de tamanho polidispersa, certamente com uma microscopia de maior alcance, poderíamos ver emaranhados de partículas com tamanho reduzido.

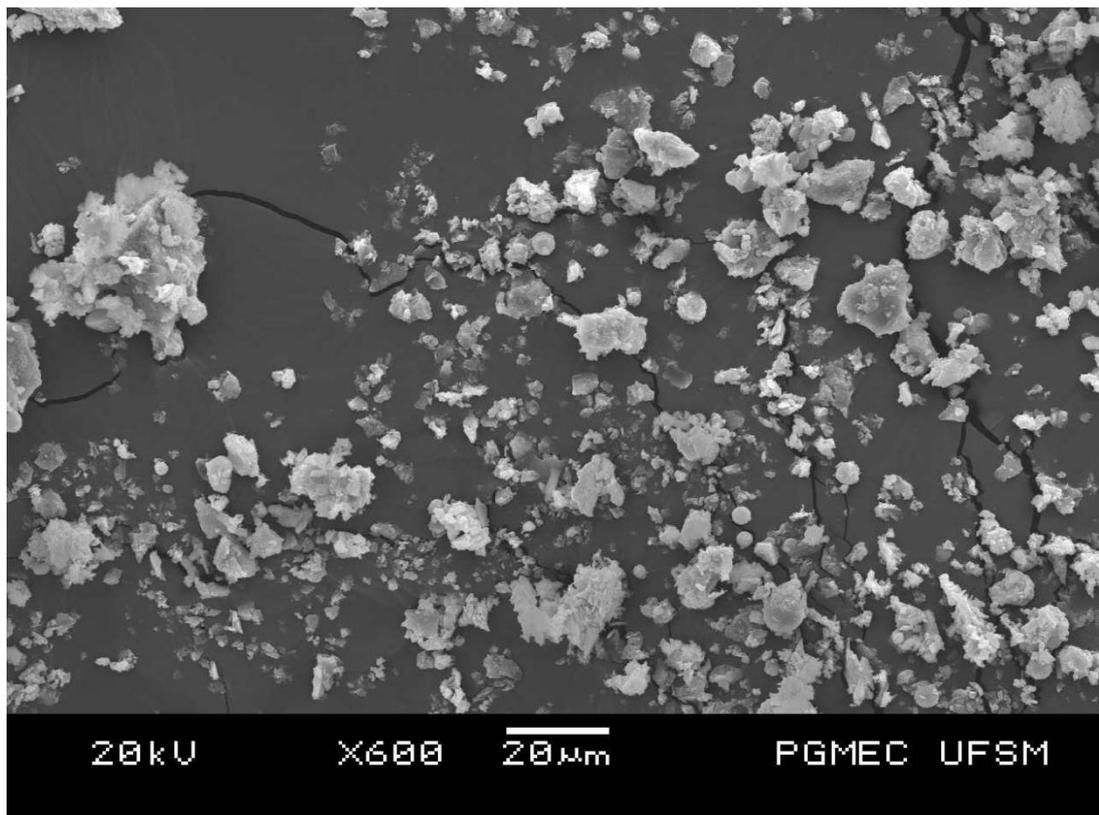
Figura 4.8 – Micrografia da amostra de ferro sem material suporte.



Fonte: Autora (2023)

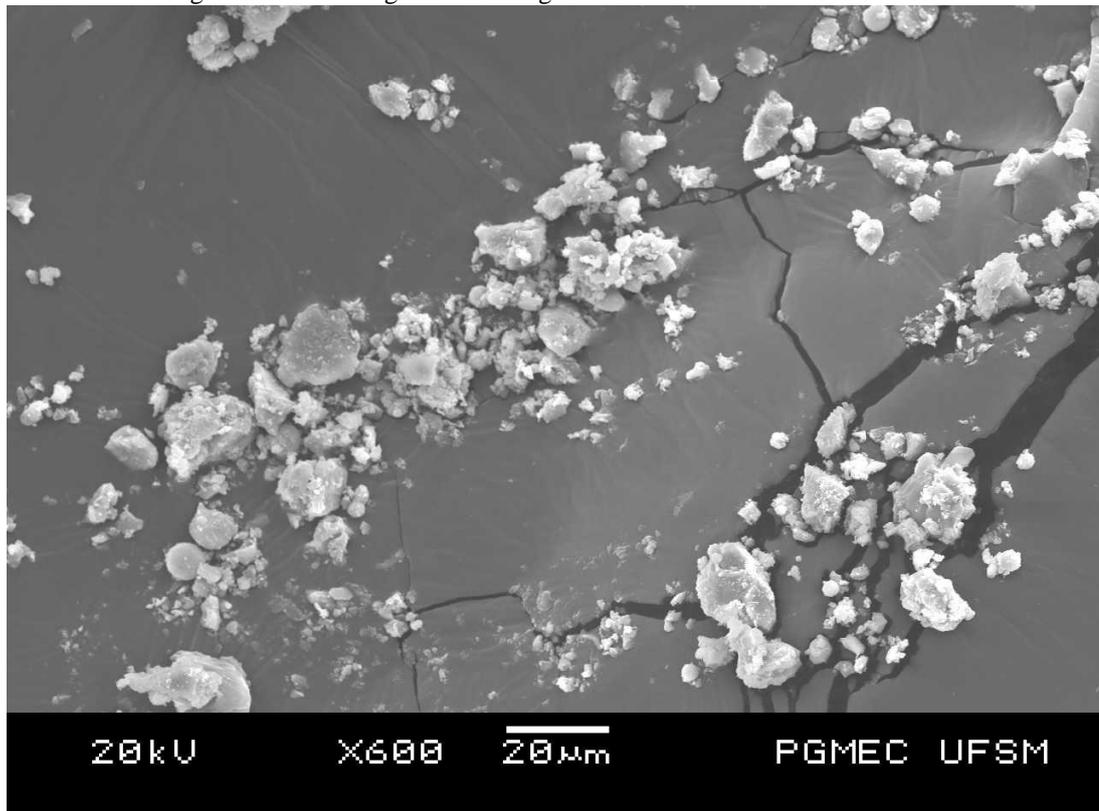
As Figuras 4.9 e 4.10 correspondem às medidas do nanogerador confeccionado a partir dos resíduos utilizados. Na figura 4.9, tem-se o nanogerador a partir do resíduo cinza de casca de arroz. É possível notar a formação de algo na superfície do resíduo, o que certamente corresponde a inserção das NPs de ferro. Já a Figura 4.10, na qual corresponde ao resíduo de ágata, nesta pode-se perceber algo bem distinto perceber algo bem distinto da Figura 4.9, isso se deve a não possuir a mesma porosidade evidente no resíduo de RCCA.

Figura 4.9 – Micrografia do nanogerador com o resíduo de RCCA.



Fonte: Autora (2023)

Figura 4.10 – Micrografia do nanogerador com o resíduo de RAG.



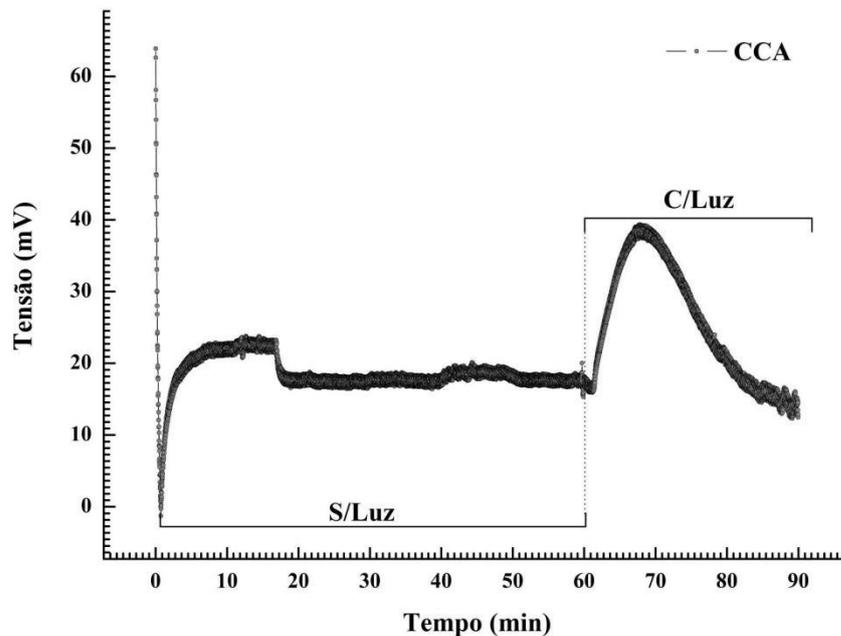
Fonte: Autora (2023)

4.3 MEDIDAS DE DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP)

As medidas envolvendo diferença de potencial (tensão elétrica), foram realizadas por dois tipos de ensaios, sendo a incidência luminosa e a imersão em água, para os nanogeradores confeccionados a partir dos resíduos de RCCA e RAG.

O primeiro ensaio realizado foi com o nanogerador a base de resíduo de cinza da casca de arroz, medindo a incidência luminosa com lâmpada incandescente de 70 W e a sua imersão em água. O ensaio teve duração de 90 minutos e pode ser verificado na Figura 4.11.

Figura 4.11 – Ensaio de incidência luminosa no nanogerador de RCCA com a caixa fechada, com luz e sem luz.

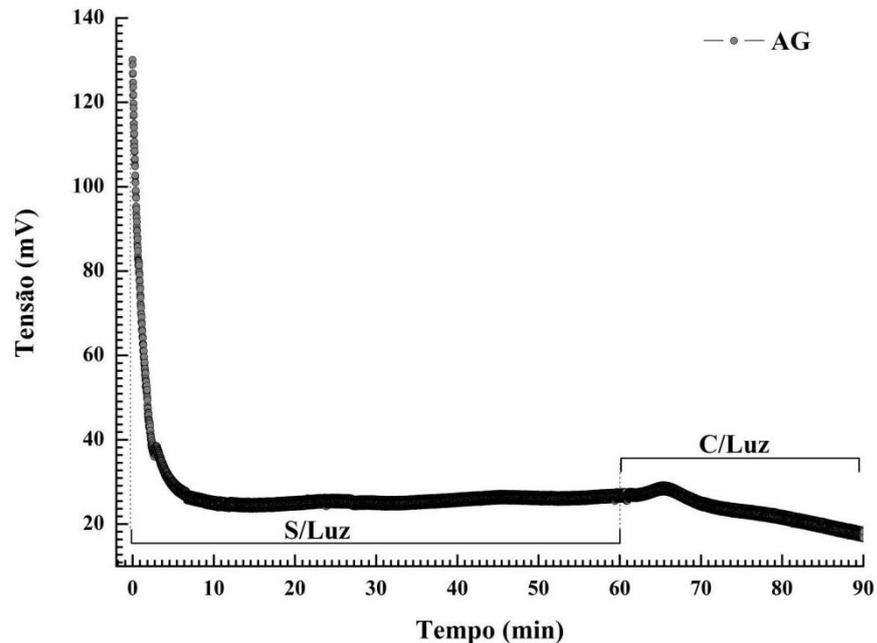


Fonte: Autora (2023)

Inicialmente o nanogerador ficou sob repouso na presença da luz de lâmpadas LED existentes no laboratório, e é notável uma queda de potencial ao colocá-lo na caixa fechada para a realização do ensaio. Após alguns instantes, o potencial cai a 0 V e oscila durante os primeiros 20 minutos sem a presença da luz. A partir de 20 minutos até 60 minutos permanece inalterado, com mínimas oscilações. Tanto a queda de potencial antes de colocá-lo na caixa até os primeiros 20 minutos, se deve ao fato de que os fótons incidentes na amostra estarem ainda realizando efeito de transferência de carga, gerando um sinal de tensão. Após o acionamento da lâmpada, ocorre um aumento considerável na tensão registrada de forma instantânea por cerca de 10 a 15 minutos até atingir seu pico máximo em torno de 40 mV, o dobro da medida inicial.

O próximo ensaio realizado, corresponde em fazer o mesmo procedimento anterior, mudando o nanogerador, agora confeccionado com resíduo de pó da pedra ágata. A Figura 4.12 apresenta o resultado obtido no teste anterior ao longo de 90 minutos.

Figura 4.12 – Ensaio de incidência luminosa no nanogerador de RAG com a caixa fechada, com luz e sem luz.



Fonte: autora, (2023)

O mesmo fenômeno observado nos primeiros instantes de medida, foi similar ao ocorrido com o nanogerador à base de RCCA, ao remover o nanogerador da presença de luz artificial e colocá-la na caixa opaca, ocorreu uma queda brusca de tensão permanecendo por cerca de 10 minutos. Após a queda, a medida se manteve estável até atingir 60 minutos, momento na qual foi acionada a lâmpada. Com o acionamento da lâmpada, ocorre um aumento significativo já nos primeiros minutos, cerca de 10 mV, mantendo-se o mesmo comportamento do nanogerador de RCCA.

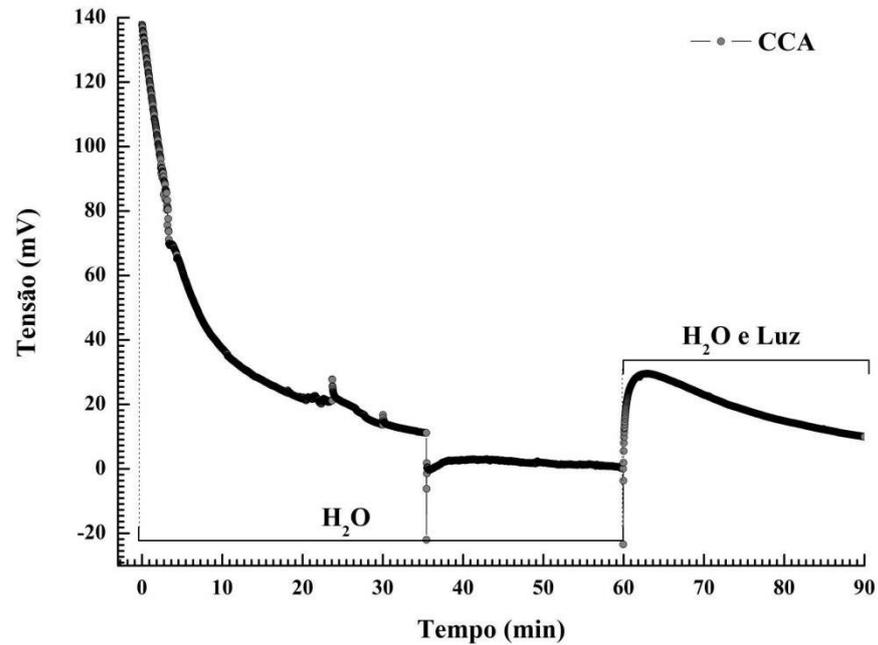
A outra etapa dos ensaios foi constituída de imersão total dos nanogeradores em água, inicialmente sem a incidência de luz em caixa fechada, sendo posteriormente acionada a lâmpada. O tempo de duração dos ensaios foi o mesmo da etapa anterior, 90 minutos.

Os resultados obtidos para o nanogerador de RCCA, estão apresentados na Figura 4.13. Através da curva registrada é possível observar a queda inicial, similar ao fato da enclausuração na caixa sem a presença de luz artificial. A queda é mais lenta durante os 60

minutos, após o acionamento da lâmpada, ocorre um aumento visível na curva, saindo de 0 mV até 40 mV.

Nesta etapa com a medida de verificação da higroeletricidade, o comportamento é similar ao da incidência luminosa, não se mostrando um bom candidato para uso com água, mas sim com luz.

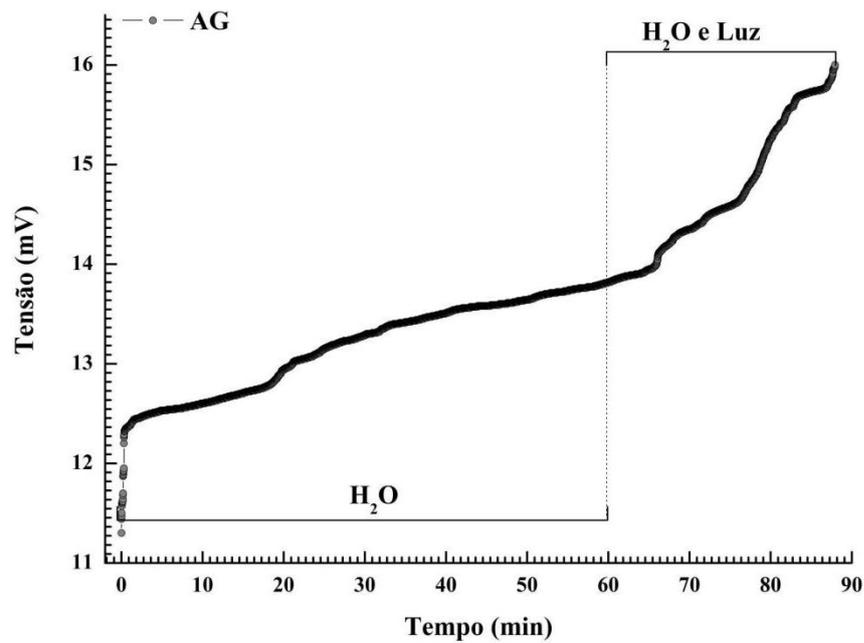
Figura 4.13: ensaio de imersão em água do RCCA e acionamento do feixe de luz.



Fonte: Autora (2023)

O resultado para o ensaio de RAG, mostrou ser superior quanto a geração de diferença de potencial, como mostrado na Figura 4.14. É possível ver um aumento da tensão a partir do momento de imersão em água tendo uma soma no potencial produzido após o acionamento da lâmpada.

Figura 4.14 – Imersão do nanogerador de RAG em água e incidência luminosa.



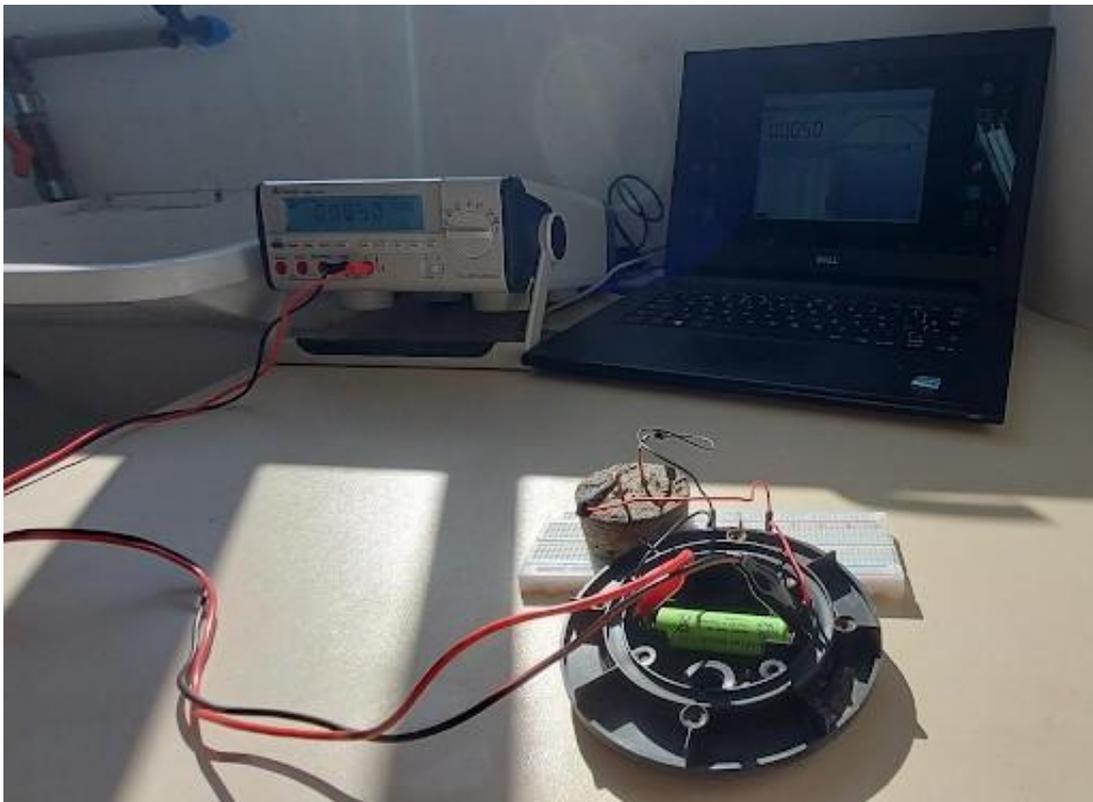
Fonte: Autora (2023)

Os resultados mostram que o nanogerador confeccionado com RCCA, possui melhor desempenho com incidência de luz. Isso se deve em função de que na presença da água, ocorre a deterioração do nanogerador, fazendo com que em um período longo de tempo, o nanogerador entra em colapso, ou seja, acaba se despedaçando. Já o nanogerador a base de RAG, possui pouca contribuição durante a incidência luminosa, embora menor, mas possui diferença de potencial gerada. Na imersão em água, podemos notar um aumento significativo, tendo também geração com a incidência luminosa.

5 APLICAÇÃO DOS NANOGERADORES: CARREGAMENTO DE BATERIAS

Visando colocar em prática a geração de potencial fornecido pelos nanogeradores, foi realizada a sua validação, mediante a carregamento de baterias, as quais são do modelo Ni - MH AA 800mAh 1,2 V e modelo Ni - MH 289mAh 9 V. A fim de facilitar as medidas, foi utilizada uma Protoboard, para conectar o nanogerador a bateria, suportes para baterias e multímetro de bancada para analisar-se o carregamento ao longo do tempo. Os ensaios foram realizados com a incidência da radiação solar, diretamente no nanogerador de RCCA e a imersão em água do nanogerador de RAG. Foi priorizada aqui a melhor potencialidade de ambos os nanogeradores, ou seja, o que de melhor foi alcançado de melhor resultado mostrado anteriormente. O ensaio com luz solar foi realizado no laboratório LSCNano, conforme Figura 5.1. O carregamento em tempo real foi satisfatório, como pode ser observado na Figura 5.2

Figura 5.1 – Carregamento da bateria de 1,2 V.

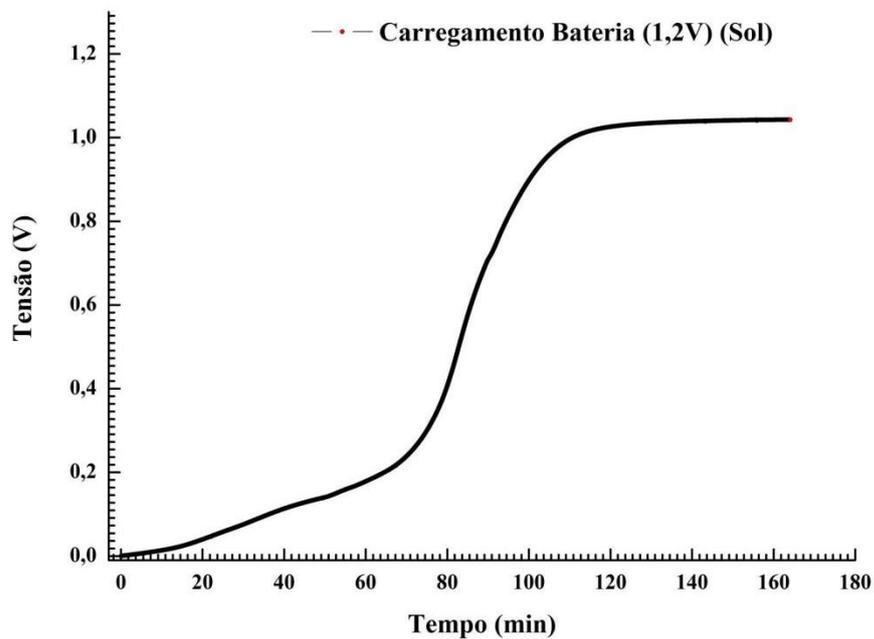


Fonte: Autora (2023)

O primeiro carregamento realizado, foi com apenas uma bateria com capacidade de 1,2 V, onde a tensão da bateria estava completamente zerada e chegou em uma tensão final de

1,04 V. Para a bateria chegar na tensão de 1,04 V foi necessário aproximadamente de 2 h 40 min. Nota-se que a bateria não chegou na sua tensão máxima, isso se deve a incidência luminosa naquele horário (16:40) estar pouco intenso, o que de fato é similar a painéis solares convencionais, a medida que o sol vai irradiando menos, menos produz energia.

Figura 5.2 – Curva de carregamento da bateria de 1,2 V



Fonte: Autora (2023)

Outro ensaio realizado, correspondeu ao carregamento de duas baterias de 1,2 V em série, no mesmo procedimento adotado anteriormente utilizando mesmo nanogerador de RCCA, mostrado na figura 5.3.

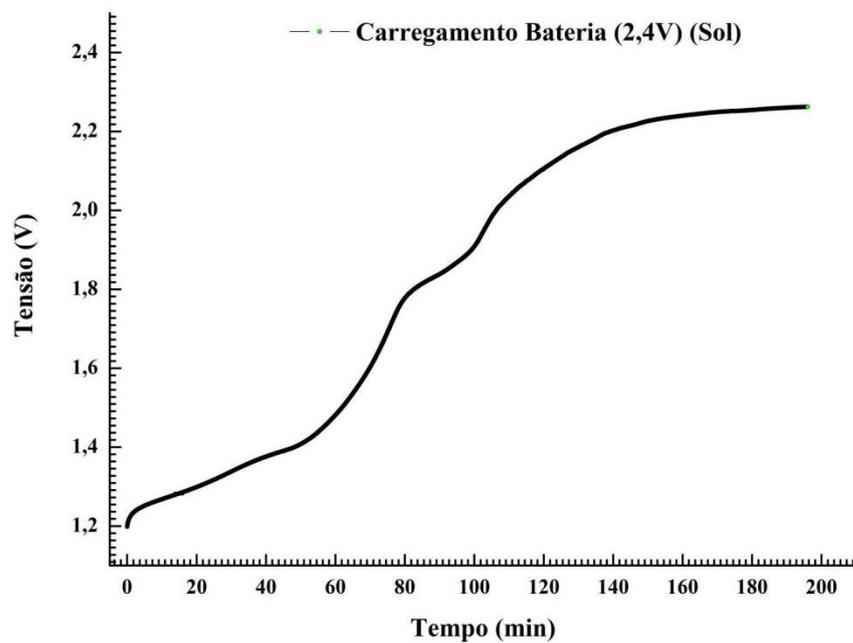
Figura 5.3 – Carregamento de duas baterias em série com o nanogerador de RCCA.



Fonte: Autora (2023)

Neste caso as baterias não estavam com tensão exatamente igual a 0 V, como no primeiro ensaio, aqui a tensão de partida, somadas as duas baterias foi de 1,19 V. Na Figura 5.4 é apresentada a curva de carregamento das duas baterias.

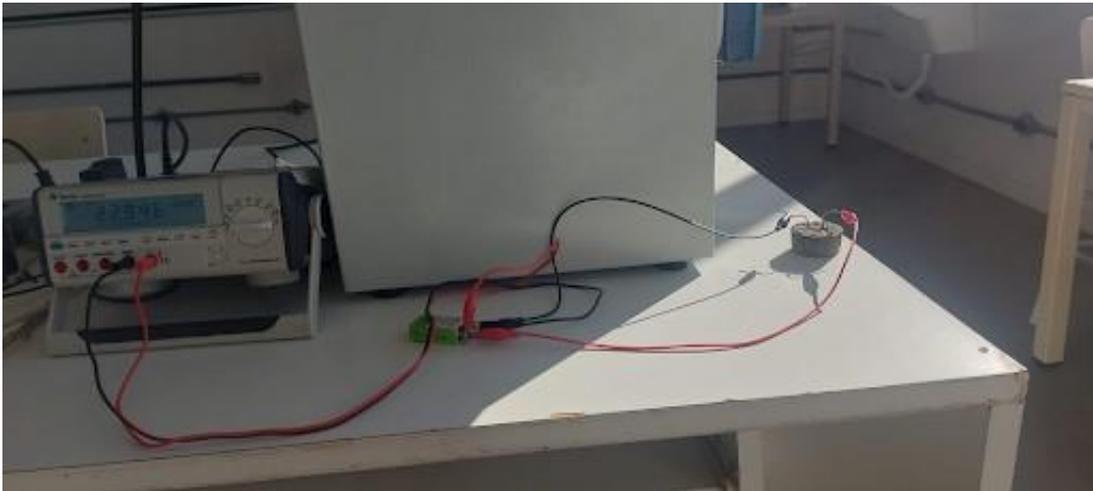
Figura 5.4 – Curva de carregamento da bateria de 2,4 V.



Fonte: autora, (2023)

Nesse caso houve o carregamento até 2,26 V, após 2 h 10 min. Como um último ensaio, foi carregada uma bateria de 9 V, utilizando o mesmo nanogerador de RCCA e com incidência de radiação solar. Desta maneira, aumenta-se a dificuldade, para assim verificar se o nanogeradora conseguiria carregar baterias de maior tensão. Inicialmente a bateria estava com tensão de 0,84 V. Após isso conectamos ao nanogerador e expomos novamente a luz solar, conforme apresentado na Figura 5.5.

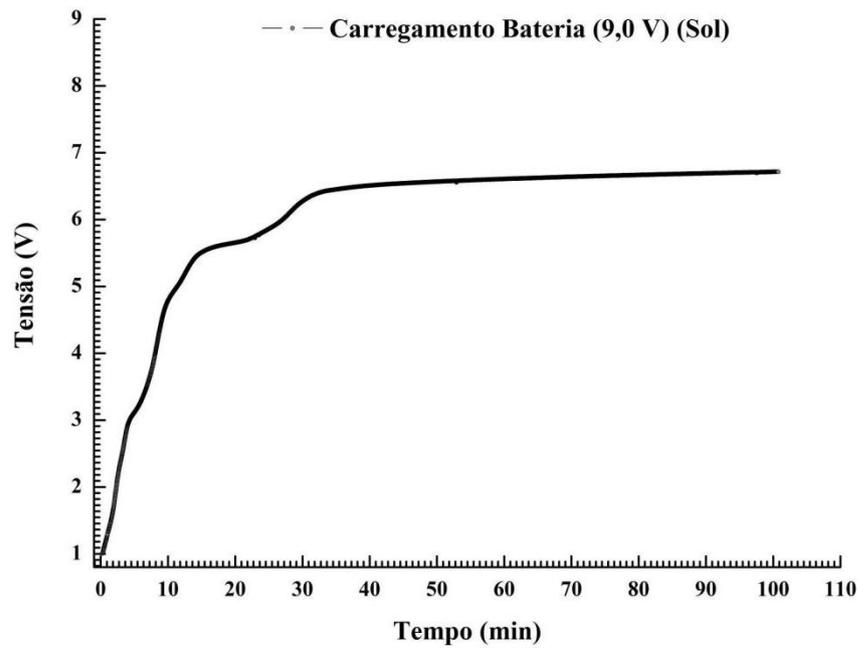
Figura 5.5 – Carregamento da bateria de 9V.



Fonte: Autora (2023)

Conforme visto na Figura 5.6, o nanogerador ficou 1 h 50 min exposto ao sol, e chegou a uma tensão máxima de 7,13 V, às 16 h 41 min. O dado correspondente ao carregamento da bateria de 9 V pode ser melhor visualizado na figura 5.6.

Figura 5.6 – Curva de carregamento da bateria de 9 V.



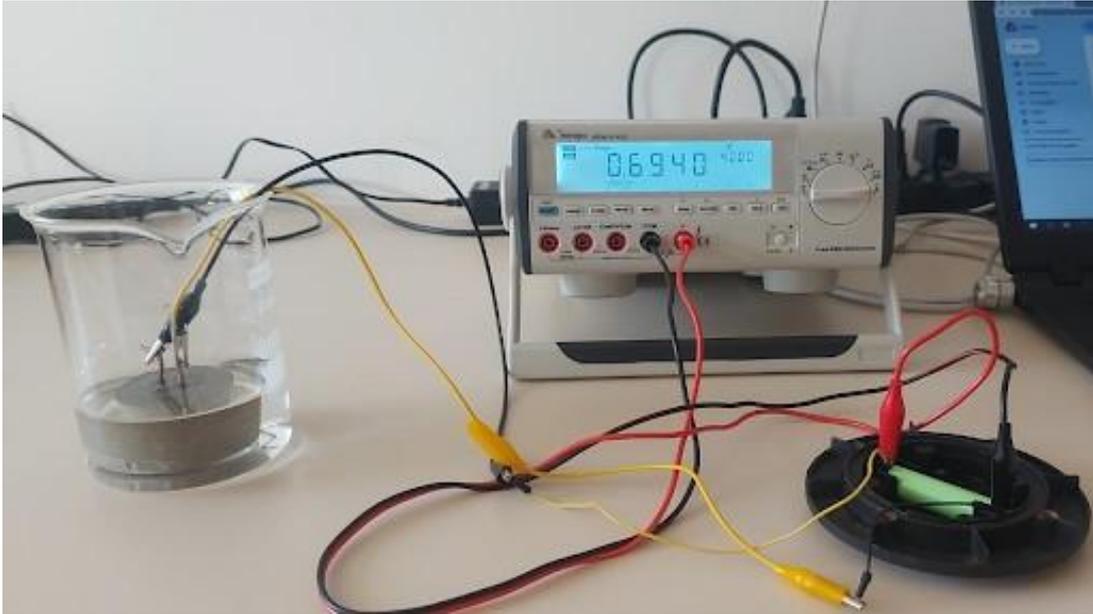
Fonte: Autora (2023)

A velocidade de carregamento até 6 V é muito rápida, diminuindo lentamente com o tempo, levando aproximadamente 50 min para chegar em 7,13 V.

Desta forma, pode-se ressaltar que a diferença de potencial (tensão) aplicada durante o carregamento de uma bateria influencia na velocidade do carregamento, pois se compararmos o tempo de carregamento das baterias menores, apresentou-se um tempo maior para chegar a uma tensão próxima do valor máximo da bateria.

Em seguida, realizou-se o carregamento de uma bateria de 1,2 V, submetendo o nanogerador de RAG a imersão em água, já que o resíduo foi o que mais se destacou nos ensaios de imersão em água. O carregamento foi realizado conforme a Figura 5.7.

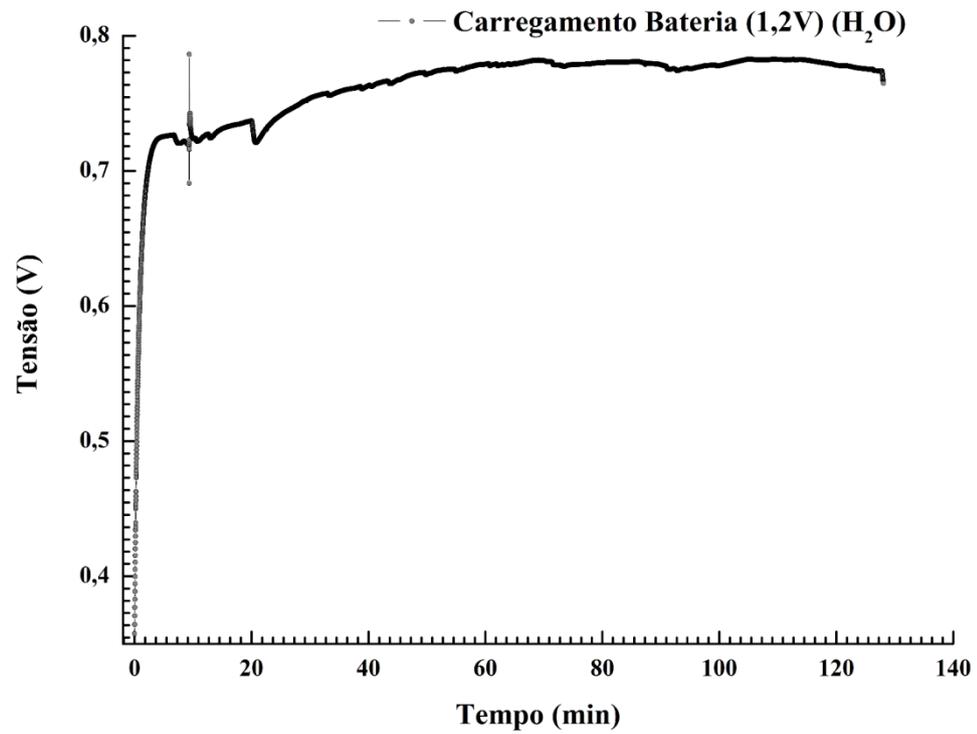
Figura 5.7 – Carregamento de bateria de 1,2 V



Fonte: Autora (2023)

Como apresentado na Figura 5.7, o nanogerador ficou submerso a água para simular uma super umidade, conectou-se os polos do nanogerador na bateria e a saída da bateria no multímetro, propiciando analisar o tempo de carregamento da bateria. O resultado obtido é apresentado na Figura 5.8.

Figura 5.8 – Carregamento de bateria de 1,2 V



Fonte: Autora (2023)

A bateria parte de um valor de tensão próximo de 0 V, e rapidamente sobe para 0,75 V. Após é lentamente carregada até chegar a sua saturação em 0,8 V.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados alcançados torna-se possível o desenvolvimento de novas fontes de geração de energia elétrica, mecanismos que se fazem necessários no mundo devido à problemática de energia global, da necessidade de reduzir a dependência de fontes não renováveis de energia e diminuir os impactos ambientais. O presente trabalho colabora para essa finalidade, através do desenvolvimento de nanogeradores de eletricidade com apelo sustentável. Sua energia gerada utiliza de fontes de energia renováveis, como a hidroeletricidade e a fotoeletricidade. Também foi possível neste mesmo trabalho reutilizar resíduos como material suporte para as NPs de ferro disponibilizando uma alternativa a mais para a geração de energia.

Em relação aos resultados apontados nas Figuras 25 e 26 na qual foi apresentado a incidência luminosa sobre o nanogerador confeccionado com RCCA, a geração de diferença de potencial ocorre devido à transferência de carga do fóton de luz incidente (efeito fotoelétrico) para a banda de valência dos átomos pertencentes à amostra, favorecendo que ocorra uma transição de forma mais eficiente na banda de condução.

No nanogerador de RGA, isso torna-se menos evidente em função de possuir certamente um estado de oxidação diferente do nanogerador de RCCA. Isso impacta na transferência de carga, ocorrendo de maneira menos eficiente.

Porém, quando em contato com água, ocorre também mecanismos de transferência de cargas, o qual favorece a geração de uma diferença de potencial, mais destacada na RGA do que na RCCA. Isso pode estar relacionado ao tipo de estrutura envolvida, uma vez que os resíduos apresentam diferentes arranjos atômicos para a estrutura de SiO₂.

Independente da forma de transferência ou o resíduo utilizado na confecção dos nanogeradores, ambos geram diferença de potencial, ou seja, alcança a geração de energia elétrica. A validação dos resultados alcançados se mostrou eficaz no carregamento de baterias considerando os dois resíduos utilizados, embora limitado a cada aplicação, pode-se perceber a validação dos resultados ao carregar as baterias eficazmente.

Apesar do seu grande potencial, a implementação em larga escala do nanogerador depende da investigação de alguns pontos, bem como: a sua eficiência energética, a estabilidade do dispositivo e a escalabilidade da produção, sendo alguns dos pontos críticos que devem ser pesquisados e investigados de uma melhor forma pelo LSCNano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

International Energy Agency . *World Energy Balances: Overview*. 2021. Acesso em 05 jun. 2022. Disponível em: <<http://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>>.

Portal Solar . *Crise energética: o que é e quais as suas causas no Brasil e no mundo*. 2022. Acesso em 05 jun. 2022. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/crise-de-energiانو-brasil-e-no-mundo>>.

ALVES, L. R. Transformação da energia cinética de um fluxo de água em energia elétrica. 2010.

Associação Brasileira de Energia Solar fotovoltaica . **Entenda como funciona a energia solar fotovoltaica**. 2022. Acesso em 28 de maio 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>>.

BELLO, A. C. D. et al. Avaliação da utilização de agregado miúdo reciclado de ágata a partir da análise de seu potencial reativo pelo ensaio de reação álcali-agregado (raa). In: **Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia**. [S.l.: s.n.], 2013.

BOITA, J. Estudos in situ da formação de compostos de cobre nanoparticulados. 2010.

BOITA, J. et al. Controlled growth of metallic copper nanoparticles. **New Journal of Chemistry**, Royal Society of Chemistry, v. 41, n. 23, p. 14478–14485, 2017.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **O instalador**, v. 25, n. 676, p. 07, 2006.

BURGO, T. A.; GALEMBECK, F.; POLLACK, G. H. Where is water in the triboelectric series? **Journal of Electrostatics**, Elsevier, v. 80, p. 30–33, 2016.

CANALES, F. A.; BELUCO, A.; MENDES, C. A. B. Usinas hidrelétricas reversíveis no brasil e no mundo: aplicação e perspectivas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 1230–1249, 2015.

CASTRO, R. M.; RENOVÁVEIS, E.; DESCENTRALIZADA, P. Introdução à energia eólica. **Lisboa: Portugal: Universidade Técnica de Lisboa**, 2004.

CHAIKIN PAUL M E LUBENSKY, T. C. e. W. T. A. **Princípios da física da matéria condensada**. [S.l.]: Cambridge University Press Cambridge, 1995. v. 10.

COLOMBO, F. et al. **Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da agenda 2030 e a interação com as instituições comunitárias de ensino superior (ICES)**. 2021. Dissertação (Mestrado) — PPGAD; Ambiente e Desenvolvimento, 2021.

DUCATI, T. R.; SIMOES, L. H.; GALEMBECK, F. Charge partitioning at gas- solid interfaces: Humidity causes electricity buildup on metals. **Langmuir**, ACS Publications, v. 26, n. 17, p. 13763–13766, 2010.

DUQUE, M. R. A. Energia geotérmica: Alguns comentários. INEGI, 2011.

ENERGÉTICA, E.-E. de P. et al. **Balanco Energético Nacional [Brazilian Energy Balance]**. 2021.

FERREIRA, C. S. et al. Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz. Florianópolis, SC, 2005.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. d. C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química nova**, SciELO Brasil, v. 32, p. 1860–1870, 2009.

GALEMBECK, F.; BURGO, T. A. Hygroelectricity: The atmosphere as a charge reservoir. In: **Chemical Electrostatics**. [S.l.]: Springer, 2017. p. 65–90.

Fernando Galembeck, Thiago AL Burgo, Telma Ducati e Rubia Gouveia. **Processo de eletrização e armazenamento de cargas elétricas em materiais por adsorção/ dessorção de água e material eletrizado pelo dito processo**. 2010. WO 2011/072348 A1.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química nova**, SciELO Brasil, v. 32, p. 582–587, 2009.

GOPINATH, S. C. et al. Nanoelectronics in biosensing applications. In: **Nanobiosensors for Biomolecular Targeting**. [S.l.]: Elsevier, 2019. p. 211–224.

HAGFELDT, A. et al. Células solares sensibilizadas por corante. **Revisões Químicas**, Publicações ACS, v. 110, n. 11, p. 6595–6663, 2010.

HOMMA, Y. et al. Photoluminescence measurements and molecular dynamics simulations of water adsorption on the hydrophobic surface of a carbon nanotube in water vapor. **Physical review letters**, APS, v. 110, n. 15, p. 157402, 2013.

HU, Q. et al. Hygroelectric-photovoltaic coupling generator using self-assembled bio-nano hybrids. **Chemical Engineering Journal**, Elsevier, v. 452, p. 139169, 2023.

HUNT, J. D.; FREITAS, M.; JUNIOR, A. O. P. Usinas hidrelétricas reversíveis sazonais combinadas com hidrelétricas em cascata e seus benefícios para a gestão de recursos hídricos e do setor elétrico brasileiro. **Rio de Janeiro, sn**, 2016.

ISAIA, G. C. et al. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte ii): durabilidade. **Ambiente Construído**, SciELO Brasil, v. 17, p. 233–252, 2017.

KIM, J.-W. et al. Assessment of carbon nanotube yarns as reinforcement for composite overwrapped pressure vessels. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Elsevier, v. 84, p. 256–265, 2016.

LIANG, Y. et al. Self-powered wearable graphene fiber for information expression. **Nano Energy**, Elsevier, v. 32, p. 329–335, 2017.

LIMA, S. L. de et al. Projeto da usina maremotriz do bacanga: concepção e perspectivas. **Acesso em**, v. 19, 2018.

LIU, X. et al. Power generation from ambient humidity using protein nanowires. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 578, n. 7796, p. 550–554, 2020.

MAIA, T. A. C. Projeto e construção de um gerador a ímãs permanentes de fluxo axial para turbina eólica de pequena potência. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.**

MEDEIROS, V. L. Síntese e caracterização de compósitos à base de quitosana e zeólita: aplicações ambientais e biomédicas. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2020

MENDES, F. Introdução à técnica de espectroscopia fotoeletrônica por raios x (xps). **Synergia: FAPERJ, 2011.**

MOAYEDI HOSSEIN E AGHEL, B. e. N. H. e. R. A. S. A. e. o. Aplicações da cinza da casca de arroz como biomassa verde e sustentável. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 237, p. 117851, 2019.

MOREIRA, K. S. et al. Geradores higroelétricos para a captação de energia construídos a partir de nanoestrutura de grafite e celulose. Universidade Federal de Santa Maria, 2020.

NIE, X. et al. Gradient doped polymer nanowire for moistelectric nanogenerator. **Nano Energy**, Elsevier, v. 46, p. 297–304, 2018.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) . **ENERGIA AGORACARGA E GERAÇÃO**. 2022. Acesso em 16 de maio 2022. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/paginas/ energia- agora/carga-e-geracao](http://www.ons.org.br/paginas/energia- agora/carga-e-geracao)>.

POUEY, M. T. F. Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. 2006.

REZENDE, C. et al. Detection of charge distributions in insulator surfaces. **Journal of physics: Condensed matter**, IOP Publishing, v. 21, n. 26, p. 263002, 2009.

SALES, C. A. V. B. d.; ANDRADE, R. V.; LORA, E. E. S. Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, SciELO Brasil, 2006.

TAN, S. G.; JALIL, M. B. **Introduction to the Physics of Nanoelectronics**. [S.l.]: Elsevier, 2012.

TÉCNICAS, A. B. D. N. Nbr 10004: resíduos sólidos: classificação. **Rio de Janeiro**, v. 77, 2004.

TOMA, H. E. **Nanotecnologia Molecular: materiais e dispositivos**. [S.l.]: Editora Blucher, 2016. v. 6.

VIANA, M. B.; TAVARES, W. M.; LIMA, P. C. R. Sustentabilidade e as principais fontes de energia. **Políticas setoriais e meio ambiente**, p. 132, 2015.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. EdiPUCRS, 2007.