

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DE ÁGUA COM
DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO DISPOSITIVO DIGITAL APLICANDO
ENERGIAS RENOVÁVEIS

Joinville
2025

RICARDO CAMPAGNIN

RICARDO CAMPAGNIN

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DE ÁGUA COM
DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO DISPOSITIVO DIGITAL APLICANDO
ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Dissertação submetida ao PPGEF –
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Processos, da
Universidade da Região de Joinville –
UNIVILLE para obtenção do título de
mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Profa. Dra. Ana Paula Testa Pezzin

Prof. Dr. Claiton Emilio do Amaral

Joinville 2025

Ricardo Campagnin

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

C186a	Campagnin, Ricardo Análise de tecnologias para medição de água com desenvolvimento de um novo dispositivo digital aplicando energias renováveis / Ricardo Campagnin ; orientadora Dra. Ana Paula Testa Pezzin, coorientador Dr. Claiton Emilio do Amaral. – Joinville: UNIVILLE, 2025. 93 p.: il. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville) 1. Água - distribuição. 2. Água - medição. 3. Energias renováveis. 4. Água – consumo. I. Pezzin, Ana Paula Testa (orient.). II. Amaral, Claiton Emilio do (coorient.). III. Título. CDD 628.1
-------	---

Termo de Aprovação

“Análise de Tecnologias para Medição de Água com Desenvolvimento de um Novo Dispositivo Digital Aplicando Energias Renováveis”

por

Ricardo Campagnin

Banca Examinadora:

Profª. Dra. Ana Paula Testa Pezzin
Orientadora (UNIVILLE)

Prof. Dr. Claiton Emilio do Amaral
Coorientador (UNIVILLE)

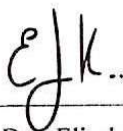
Prof. Dr. Renon Steinbach Carvalho
(IFC – Rio do Sul)

Prof. Dr. Marcio Rogério do Nascimento
(UNIVILLE)

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Desenvolvimento e Gestão de Processos e Produtos e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.



Profª. Dra. Ana Paula Testa Pezzin
Orientadora (UNIVILLE)



Profª. Dra. Elisabeth Wisbeck
Vice-Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos

Joinville, 16 de julho de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Evelyn, pelo apoio e incentivo em todos os momentos até aqui.

A orientadora Profa. Dra. Profa. Dra. Ana Paula Testa Pezzin, muito obrigado pela colaboração, incentivo e conversas produtivas.

Ao coorientador Prof. Dr. Claiton Emilio do Amaral, obrigado pela atenção, disponibilidade e confiança.

A toda a família pelos momentos em que tive ausente de alguns encontros por motivos de trabalho e estudo.

Aos membros da banca, especialistas da área, que aceitaram avaliar este trabalho.

A toda e equipe do projeto que aceitou os desafios em 2019, mesmo não estando mais atuando, mas foi o pontapé inicial do projeto.

Ao IFC – Instituto Federal Catarinense pelo auxílio do edital PROBIQ.

À UNIVILLE, pela oportunidade de realização do curso, incentivo à pesquisa e desenvolvimento na ciência.

Aos amigos e colegas da 18ª turma, muito obrigado pelo apoio e palavras de incentivo.

A todos os amigos que de alguma forma ajudaram na construção deste trabalho.

RESUMO

Análise De Tecnologias Para Medição De Água Com Desenvolvimento De Um Novo Dispositivo Digital Aplicando Energias Renováveis

Em busca de melhores condições de vida, as populações concentram-se cada vez mais nas grandes cidades. Isso requer investimento dos governos no sentido de atender, de forma básica, com os bens essenciais para a vida. A água é bom exemplo desses bens, dos quais 70% de toda água do planeta se concentra no Brasil. Todavia, com a crise climática e muitas vezes o desperdício, ascende um alerta da necessidade de preservação. Faz pouco tempo que o Estado brasileiro passou a preocupar-se em atender esta necessidade humana a seu povo. Nos dias atuais já existem parcerias público privadas para captação, tratamento e distribuição de água, assim como coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos. Boa parte da água tratada é desperdiçada, dentre os principais motivos estão os vazamentos nas tubulações, furto de água, erros de medidores. O presente estudo busca desenvolver um sistema eletrônico para integração de energias renováveis a sistemas de medição e controle de vazão de água, como uma forma de contribuição para minimizar as perdas que ocorrem no processo. A medição do consumo de água até setembro de 2020, em todo o país, era executada de forma manual, com sistemas de medição baseados em hidrômetros que indicam o consumo em m³. Atualmente a estimativa de perda de água tratada chega a 30%, a meta é reduzir para menos de 10%, considerando que 4% dessa perda são atribuídas aos sensores aplicados. Tecnologias inteligentes estão em estudo no estado de São Paulo, em um projeto teste foi aplicado uma dessas tecnologias de medição de consumo de água. O presente estudo, propôs desenvolver um protótipo de medidor de água residencial capaz de permitir o monitoramento em tempo real da unidade consumidora, realizar o corte de água se necessário, aplicando energias limpas na alimentação do sistema, com o uso de energia solar e hídrica a partir da água que passa na tubulação do consumidor. Por meio da metodologia de análise quanti/qualitativa, foi desenvolvido e validado os circuitos e testes em campo para aquisições dos dados, os componentes empregados nos ensaios foram escolhidos por sua especificação técnica atendendo assim ao projeto, avaliando o desempenho de cada um por métodos matemáticos e simulações incluindo funcionalidade e análise estatística do desempenho. O projeto gerou um depósito de patente, todavia, por ser um protótipo, melhorias precisam ser implementadas para uma nova patente com uma redução de custos. Com o desenvolvimento deste protótipo observou-se que atender o estado da arte em aplicações de energias não é a melhor saída, os custos ficam elevados para um produto comercial, sendo este em torno de R\$ 500,00. Com as novas possibilidades estudadas e com a contribuição deste estudo e ensaios práticos, espera-se que um novo produto seja desenvolvido com um custo inferior a R\$ 200,00 e que seja de fato viável sua instalação nas unidades consumidoras do país.

Palavras-chave: medição de água, medidor digital, energia solar, energia hidrelétrica.

ABSTRACT

Analysis Of Technologies For Water Measurement With The Development Of A New Digital Device Applying Renewable Energy

In search of better living conditions, populations are increasingly concentrated in large cities. This requires government investment in order to provide basic essential goods for life. Water is a good example of this, of which 70% of all water on the planet is concentrated in Brazil. However, with the climate crisis and frequent waste, an alert is raised about the need for preservation. It was not long ago that the Brazilian government began to worry about meeting this human need for its people. Today, there are already public-private partnerships for the collection, treatment and distribution of water, as well as the collection and treatment of sewage and solid waste. Much of the treated water is wasted, among the main reasons being leaks in pipes, water theft and meter errors. This study seeks to develop an electronic system for integrating renewable energy into water flow measurement and control systems, as a way of contributing to minimizing the losses that occur in the process. Until September 2020, water consumption was measured manually throughout the country, using measuring systems based on water meters that indicate consumption in m³. Currently, the estimated loss of treated water reaches 30%; the goal is to reduce this to less than 10%, considering that 4% of this loss is attributed to the sensors applied. Smart technologies are being studied in São Paulo; a test project was applied to one of these water consumption measurement technologies. The present study proposed developing a prototype of a residential water meter capable of allowing real-time monitoring of the consumer unit, cutting off water if necessary, and applying clean energy to power the system, using solar and hydroelectric energy from the water that passes through the consumer's pipes. Using the quantitative/qualitative analysis methodology, circuits and field tests for data acquisition were developed and validated. The components used in the tests were chosen based on their technical specifications, thus meeting the project requirements. The performance of each component was evaluated using mathematical methods and simulations, including functionality and statistical analysis of performance. The project generated a patent application; however, since it is a prototype, improvements need to be implemented for a new patent with a cost reduction. With the development of this prototype, it was observed that meeting the state of the art in energy applications is not the best solution; the costs are high for a commercial product, which is around R\$500.00. With the new possibilities studied and with the contribution of this study and practical tests, it is expected that a new product will be developed with a cost of less than R\$200.00 and that its installation in consumer units in the country will be feasible.

Keywords: water metering, digital meter, solar energy, hydro energy.

RESUMEN

Análisis De Tecnologías Para La Medición Del Agua Con El Desarrollo De Un Nuevo Dispositivo Digital Que Aplica Energías Renovables

En busca de mejores condiciones de vida, la población se concentra cada vez más en las grandes ciudades. Esto requiere inversión gubernamental para cubrir necesidades básicas. El agua es un buen ejemplo de ello, ya que el 70% del agua del planeta se concentra en Brasil. Sin embargo, con la crisis climática y el frecuente desperdicio, la necesidad de preservación es cada vez mayor. Recientemente, el gobierno brasileño comenzó a centrarse en satisfacer esta necesidad humana de su población. Actualmente existen alianzas público-privadas para la recolección, el tratamiento y la distribución de agua, así como para la recolección y el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos. Gran parte del agua tratada se desperdicia, entre las principales causas se encuentran fugas en las tuberías, robos de agua y errores en los medidores. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un sistema electrónico para integrar las energías renovables en los sistemas de medición y control del caudal de agua, como una forma de ayudar a minimizar las pérdidas que se producen en el proceso. Hasta septiembre de 2020, la medición del consumo de agua en todo el país se realizaba manualmente, mediante sistemas con medidores que indican el consumo en metros cúbicos. Actualmente, la pérdida estimada de agua tratada alcanza el 30%; el objetivo es reducirla a menos del 10%, considerando que el 4% de esta pérdida se atribuye a los sensores aplicados. Se están estudiando tecnologías inteligentes en el estado de São Paulo; una de estas tecnologías de medición del consumo de agua se aplicó en un proyecto de prueba. Este estudio propuso el desarrollo de un prototipo de medidor de agua residencial capaz de monitorear en tiempo real la unidad de consumo, cortar el suministro de agua si es necesario y aplicar energía limpia al sistema, utilizando energía solar e hidroeléctrica del agua que fluye por las tuberías del consumidor. Mediante una metodología de análisis cuantitativo y cualitativo, se desarrollaron y validaron circuitos, y se realizaron pruebas de campo para la adquisición de datos. Los componentes utilizados en las pruebas se seleccionaron en función de sus especificaciones técnicas, cumpliendo así con los requisitos del proyecto. El rendimiento de cada componente se evaluó mediante métodos matemáticos y simulaciones, incluyendo la funcionalidad y el análisis estadístico del rendimiento. El proyecto generó una solicitud de patente. Sin embargo, al tratarse de un prototipo, es necesario implementar mejoras para una nueva patente a fin de reducir costos. El desarrollo de este prototipo reveló que cumplir con el estado del arte en aplicaciones energéticas no es la mejor opción; los costos son elevados para un producto comercial, actualmente alrededor de R\$500. Con las nuevas posibilidades estudiadas y la contribución de este estudio y las pruebas prácticas, se espera desarrollar un nuevo producto con un costo inferior a R\$200,00 y que su instalación en unidades de consumo a nivel nacional sea viable.

Palabras clave: medición de agua, medidor digital, energía solar, energía hidroeléctrica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - ODS previstos na “Agenda 2030”	21
Figura 2 - Ciclo de vida em processos produtivos industrializados	25
Figura 3 - Protótipo de medidor de água por rede GSM	35
Figura 4 - Medidor e controlador Digiten digital com controle de fluxo	36
Figura 5 - Resposta do sensor de medição	37
Figura 6 - medidor de fluxo de água com conexão por WiFi.....	37
Figura 7 - Medidor com tecnologia de comunicação Lora WAN	38
Figura 8 - Medidor digital de água/arla	39
Figura 9 - Medidor comumente usado em cavalete de água	40
Figura 10 - princípio de um gerador de energia elétrica hídrico	42
Figura 11 - Modelo de hidrogerador usado no projeto tipo Francis.....	43
Figura 12- Mapeamento solar diário médio de Santa Catarina em específico a região de São Bento do Sul.....	44
Figura 13 - Mapeamento solar por coordenada geográfica em SC	44
Figura 14 - Quantidade de energia liberada do fóton	45
Figura 15 - modelo de circuito para geração de energia solar	45
Figura 16 - Princípio de fabricação dos painéis fotovoltaicos	47
Figura 17 - Consumo de energia no processo de produção do painel monocristalino	48
Figura 18 - Análise do processo produtivo dos painéis policristalinos	49
Figura 19 - Arranjo cristalino do silício solar e fabricação das células	50
Figura 20 - Ciclo de fabricação e vida dos painéis fotovoltaicos	51
Figura 21 – partes que compõem o módulo solar.....	51
Figura 22 - geração de eletricidade a partir de ondas de rádio.....	52
Figura 23 - Estrutura dos metamateriais e metassuperfícies aplicadas na geração de eletricidade	53
Figura 24 - Fluxograma de funcionamento do projeto proposto.....	59
Figura 25 - Ciclo térmico do transistor MOSFET	61
Figura 26 - Características de polarização do MOSFET.....	62
Figura 27 - Cálculo térmico em função das tensões de polarização	62
Figura 28 - Gráfico de superfície do comportamento térmico	63
Figura 29 - Circuito eletrônico de potência e interface analógica.....	64

Figura 30 - Testes de validação do circuito de potência e controle	65
Figura 31 - Posições de fixação dos painéis durante os ensaios.....	66
Figura 32 -mini painel fotovoltaico a ser empregado no projeto.....	66
Figura 33 - Posicionamento do painel para ensaios	67
Figura 34 - Posição para melhor geração de energia	68
Figura 35 – A, B, Condições de melhor incidência solar do dia ensolarado	68
Figura 36 - A,B,C,D, Geração solar em condições real dia ensolarado	70
Figura 37 – A, B, Geração melhor incidência dia parcialmente nublado.....	71
Figura 38 – A, B, C, D, Geração de energia parcialmente nublado para fixação no hidrômetro	72
Figura 39 – A, B, C, Geração solar com chuva em máxima eficiência	73
Figura 40 – A, B, C, D, Geração solar em dia de chuva posição de trabalho	75
Figura 41 - Sensor de fluxo de água.....	76
Figura 42 - Medição do fluxo de água com inserção do sensor com sistema turbulento	77
Figura 43 - Resposta do sensor de fluxo de água	78
Figura 44 - Melhor forma de medir o fluxo de agua com redução da turbulência	79
Figura 45 - Resposta do sensor de fluxo de água	79
Figura 46 A, B, C – Protótipo para ensaios	80
Figura 47 - Interface com o operador na concessionária de água	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de turbinas geradoras hídricas.....	41
Tabela 2 - Melhor geração solar sem nuvens.....	69
Tabela 3 - geração dia parcialmente nublado com melhor geração	71
Tabela 4 - Geração de energia em dia de chuva em máxima eficiência.....	74

QUADRO

Quadro 1 - Relação de hidrômetro coletivo ou individual.....	30
Quadro 2 - Comparativo das tecnologias dos medidores comerciais	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	JUSTIFICATIVA.....	16
3	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVO GERAL	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4	REVISÃO DA LITERATURA	20
4.1	OCUPAÇÃO POPULACIONAL.....	20
4.2	OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEIS.....	20
4.2.1	ODS - 6: Água potável e Saneamento.....	22
4.2.2	ODS - 7: Energia limpa e acessível	22
4.2.3	ODS - 9: Indústria, Inovação e Infraestrutura	23
4.2.4	ODS - 11: Cidades e comunidades sustentáveis	23
4.2.5	ODS - 12: Consumo e produção responsáveis	24
4.2.6	ODS - 13: Ação contra a mudança global do clima	26
4.3	REGISTRO DE CONSUMO DE ÁGUA.....	26
4.4	INFORMATIZAÇÃO DA MEDIÇÃO DE ÁGUA	30
4.5	PROTÓTIPOS E PRODUTOS COMERCIAIS DE MEDIDORES INTELIGENTES	
	34	
4.6	GERAÇÃO HIDRICA INSTALADA EM CAVALETE PARA MEDIDORES DE	
	ÁGUA	40
4.7	GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.....	43
4.8	GERAÇÃO POR MICROONDAS DE RÁDIO	52
5	METODOLOGIA	55
6	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	58
6.1	CIRCUITO ELETRÔNICO	58
6.2	ANÁLISE TÉRMICA DO SISTEMA ELETRÔNICO DE POTÊNCIA	60
6.3	ENSAIOS DOS PAINES FOTOVOLTAICOS	65
6.3.1	Geração de energia fotovoltaica em dia limpo	68
6.3.2	Geração de energia fotovoltaica em dia parcialmente nublado	70
6.3.3	Geração de energia fotovoltaica em dia de chuva.....	72
6.4	SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA PARA MEDIDORES DIGITAIS	75
6.4.1	Geração de energia hídrica com atenuação da turbulência no sensor	76

6.4.2 Geração de energia hídrica com interferência da turbulência no sensor	78
6.5 PROTÓTIPO DESENVOLVIDO PARA TESTES DO CONJUNTO	80
7 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS	84
ANEXO A – BUSCA NO BANCO DE PATENTES	92
ANEXO B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESTES E DISSERTAÇÕES	93

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário de informatização, do desenvolvimento tecnológico e das preocupações ambientais, se faz necessário a otimização dos recursos naturais, ambientais e otimização dos processos.

Neste contexto, os sistemas de medição de água necessitam de melhorias e utilização de tecnologias mais eficientes na medição bem como a aplicação de energias limpas no processo.

Com o intuito de modernização e otimização no processo de medição de água está sendo proposto o desenvolvimento de um hidrômetro inteligente com possibilidade de medição de água de forma remota, além de possuir o controle de corte de água se necessário. Aplicando ainda neste hidrômetro energias renováveis que permitem uma otimização dos recursos disponíveis.

Neste contexto muitos projetos já foram desenvolvidos, mas com aplicações limitadas de recursos, sendo eles apenas fotovoltaica ou eletricidade, além de ter outros que permitem monitoramento remoto de dados, mas não com corte de água remoto, outros possuem erro elevado de medição por turbulências ou instalação ineficiente do medidor.

Neste contexto foram analisadas as tecnologias disponíveis no mercado, utilizando as melhores técnicas empregadas e melhorando sempre que possível. Para tal feito, se fez necessário o desenvolvimento de interface eletrônica para aplicação de energia a partir da fotovoltaica, da hídrica e da eletricidade respeitando as normas de segurança ao usuário.

Com a aplicação destas tecnologias, também se chegou a reduzir a turbulência gerada na circulação de água que impactava em erro da leitura do consumo de água, aplicação de sistemas de proteção de hardware e um software de interface para gerenciamento do produto.

Como resultado o trabalho produziu um depósito de patente, mostrando sua importância, houve a validação do circuito eletrônico de interface com cinco fontes de energia incluindo baterias de segurança e eletricidade e análise solar nas mais variadas situações de geração de energia.

2 JUSTIFICATIVA

Com a concentração da população nas cidades, em busca de melhores condições de vida e oportunidades de trabalho, houve redução da vegetação no perímetro urbano, com a cobertura do solo com algum tipo de pavimento, assim como um aumento significativo no consumo de água. Infelizmente, depende da consciência de cada sujeito economizar água e preservar as nascentes para as gerações futuras. Porém, existem muitos pontos a serem melhorados nos sistemas atuais de medição do fluxo de água para aumentar a eficiência e contribuir com o meio ambiente. Boa parte da água tratada é desperdiçada, dentre os principais motivos estão os vazamentos nas tubulações, furto de água, erros de medidores.

Neste sentido, considerando a agenda 2030, destaca-se dentre seus objetivos: “assegurar a proteção do planeta; criar condições para um crescimento sustentável; proteger o meio ambiente e o clima”. Para tanto, apontam ações que visem melhor aproveitamento dos recursos ambientais, preservação de água, incentivo ao desenvolvimento de tecnologias limpas buscando inovação industrial. Ter produtos com melhor aproveitamento e reutilização com menor impacto ambiental.

Os sistemas de medição de consumo de água atuais são baseados em hidrômetros volumétricos ou velocimétricos, estes podem ser descritos como um aparelho de precisão que mede e registra o consumo de água de forma analógica, necessitando a intervenção do ser humano para fazer a leitura. Esta intervenção é realizada de forma presencial na unidade consumidora, expondo o leitor a riscos de acidentes, emissão de poluentes dos veículos, impressão da fatura, dentre outros pontos atrelados aos processos de medição manual.

O hidrômetro serve para uma cobrança justa com base no que foi consumido, evitando desperdícios e colabora com a preservação do meio ambiente, por instinto o ser humano cuida mais quando reflete diretamente em sua questão financeira.

Tendo em vista as preocupações mundiais com o meio ambiente, faz-se necessário evoluir os sistemas de medição de água otimizando o uso dos recursos naturais disponíveis, bem como os custos operacionais. Assim, o presente trabalho visa contribuir com tecnologias mais limpas na alimentação dos sistemas digitais de medição de água, por meio da aplicação de hidrômetros inteligentes, sendo estes baseados em um sistema de lâminas que giram conforme a vazão de água e que indicam o consumo de água em metro cúbico (m^3).

Assim, propõe-se o desenvolvimento de circuitos eletrônicos para aplicação em sistema de medição e controle de vazão de água, que buscam aprimorar os sistemas existentes, diminuindo o desperdício de água por perdas em tubulações, em vazamentos, conexões ou até mesmo por furto de água. Estima-se que atualmente 30% do volume de água tratado é desperdiçado.

Será analisada a viabilidade de um projeto para a instalação de energias limpas para sistemas de medição de água inteligentes e se possível o desenvolvimento de um projeto com aplicações de energia a partir da água que circula na unidade consumidora como também a possibilidade de instalação de painel fotovoltaico. Esta pesquisa visa contribuir com os estudos realizados até o momento.

Com as energias limpas aplicadas aos dispositivos, pensando em redundâncias para o projeto é necessário verificar as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 5410, em relação a eletricidade em circuitos onde circulam água, e como norma complementar a NR12 que se aplica no desenvolvimento de equipamentos, instrumentos e dispositivos eletroeletrônicos.

Além das normas supramencionadas, será necessário analisar o melhor sistema eletrônico para a implementação do controle das energias limpas que estão sendo propostas, e nesse contexto, a análise de quais os melhores componentes para atender o projeto, trabalhando para otimizar ao máximo a sua eficiência. Junto a isso, serão analisados o comportamento térmico, a forma de polarização, as proteções necessárias afim de que o projeto seja implementado de forma segura e eficiente.

Para a validação dos circuitos a serem implementados, será necessário realizar ensaios de bancada e simulações para comprovação da funcionalidade de cada uma das etapas do circuito. Também será necessário definir as prioridades de cada uma das formas de energia propostas.

Pensando nessas possibilidades, propõe-se aplicar a tecnologia em um hidrômetro inteligente com as energias renováveis em forma de diagrama de blocos. Espera-se que com o modelo proposto, novas pesquisas e desenvolvimentos sejam fomentados a partir dos conceitos e formas de controle desenvolvidas, bem como a redução de custos operacionais. Destaca-se que o projeto está baseado nos princípios da indústria 4.0 e que preve a rastreabilidade dos processos e o controle de forma remota.

Dentro desse contexto, a proposta do projeto é usar a energia solar para alimentar o sistema eletrônico de processamento de informações e incluir a hidráulica

através da água que circula na unidade consumidora para alimentação do sistema de válvulas, ambas alimentam também baterias de segurança para que o dispositivo possa operar em momentos onde não esteja circulando água ou até mesmo em períodos noturnos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema eletrônico para integração de energias renováveis a sistemas de medição e controle de vazão de água.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em específico propõe-se:

- Analisar os medidores analógicos e digitais atuais;
- Verificar as melhores opções de tecnologias para aplicação em um novo medidor;
- Buscar na base de dados de patentes a existência de produtos similares;
- Aplicar energias solar e hídrica;
- Desenvolver interface eletrônica para integração das tecnologias;
- Validar o circuito eletrônico;
- Analisar a eficiência e funcionalidade do projeto.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 OCUPAÇÃO POPULACIONAL

Estudos apontam que quatro bilhões de pessoas vivem em perímetros urbanos e a previsão é que até 2050, 70% da população mundial esteja concentrada nesses espaços (THE WORLD BANK, 2017A). Até o momento, os centros urbanos são responsáveis por 80% do consumo de energia e água potável e 67% das emissões de carbono (THE WORLD BANK, 2010). Por isso, tornar as cidades sustentáveis é um desafio para a humanidade. Neste sentido, a Cúpula das Nações Unidas, reunida em 2015, contando com seus 193 países membros, assinou um pacto global denominado “Agenda 2030”. A agenda é composta por 17 objetivos ambiciosos e interconectados, desdobrados em 169 metas, com foco em superar os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo, promovendo o crescimento sustentável global até 2030 (UNITED NATIONS, 2015). Neste contexto, acredita-se que redes inteligentes, *smart grids*, desempenharão um importante papel na gestão dos recursos naturais, sustentabilidade e resiliência urbana (DE MATTOS, 2018).

4.2 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEIS

Os Objetivos de Desenvoltimentos Sustentáveis – ODS, da Organização das Nações Unidas – ONU para “Agenda 2030”, junto ao Brasil, estão distribuídos em 17 eixos temáticos que visam o bem social, desenvolvimento econômico e preservação dos recursos naturais. Porém, para a presente pesquisa, foca nos eixos que visam:

- ODS 6 – garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos, haja vista que saneamento e água potável impactam diretamente na saúde das pessoas, melhorando assim a qualidade de vida;
- ODS 7 – garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos, assim, toda energia hídrica e solar que puderem ser aplicadas para o eixo ODS – 6, acima citado, será de grande valia;

- ODS 9 – atinentes aos itens anteriores, este eixo prevê construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação. Neste contexto, estimula o desenvolvimento e inovação da indústria, melhorando as tecnologias existentes e incentivando o aprimoramento de novas tecnologias;
- ODS 11 – tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis com comunidades mais autossuficientes dependendo cada vez menos da exploração dos recursos naturais de forma predatória;
- ODS 12 – assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis evitando desperdícios especialmente de recursos naturais como por exemplo a água;
- ODS 13 – tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos com redução de emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

Estes eixos específicos serão trabalhados a seguir relacionando seus objetivos com a aplicação do presente estudo, representados na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Figura 1 - ODS previstos na “Agenda 2030”



Fonte: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

4.2.1 ODS - 6: Água potável e Saneamento

A água potável representa uma das grandes preocupações mundiais, tendo em vista a grande concentração nas grandes cidades e áreas litorâneas principalmente. Esse tipo de ocupação acarreta vários problemas, pois, a cobertura do solo por asfalto ou concreto, evita a absorção das águas de enxurradas, causando deslizamentos e saturação do sistema pluvial de drenagem de água.

O saneamento básico é uma questão de saúde pública, pois o descarte inadequado de dejetos humanos contamina desde o lençol freático como também, rios, riachos e mananciais de água. Como a água potável ainda não atinge a totalidade da população, ocorrem doenças provocadas por esta contaminação. Se os dejetos forem tratados corretamente, reduziriam os riscos além dos custos de purificação de água e, até mesmo, melhorando as questões de vida marinha.

Nesta pesquisa abordaremos, dentro do ODS 6, os seguintes tópicos

6.4 “Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água”. Assim como o tópico: 6.b “Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU, 2015).

4.2.2 ODS - 7: Energia limpa e acessível

Quando fala-se em globalização, é necessário, nos dias atuais, reduzir os impactos ambientais tendo em vista o aquecimento global. A questão de energias limpas é uma necessidade mundial, os combustíveis fósseis, dentre eles a geração de energia por usinas térmicas ou motores a combustão geram poluições que contribuem sobremaneira com o aquecimento global.

Com os estudos em energias limpas aplicadas nos processos de produção e no uso diário das pessoas, como a energia solar. Vale ressaltar que estão em franca produção veículos elétricos ou híbridos, nos quais mesclam os tipos de energias a combustão, térmica e elétrica, além da produção de biocombustíveis.

Nesse contexto, a dissertação apresenta a possibilidade de emprego de energia solar nos medidores de água e também a energia gerada pela circulação da água dentro da tubulação que pode ser usado para transformar a energia cinética em elétrica ao movimentar as pás de um hidrogerador acoplado ao medidor de água.

Dentro da aplicação de energias renováveis a presente pesquisa se encaixa no tópico 7.b:

“Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU, 2015).

4.2.3 ODS - 9: Indústria, Inovação e Infraestrutura

Quando se trata de inovação, o Brasil possui um potencial científico elevado pela criatividade do brasileiro na solução de problemas. Diante da necessidade do mercado em reduzir custos operacionais e contribuir para as ODS, se faz necessário o investimento em pesquisa e inovação (SEBRAE, 2023).

Neste contexto, estudos apontam novas possibilidades e contribuições, com as tecnologias existentes, para o melhoramento nos processos de medição de água potável que é distribuída para a população, reduzindo custos operacionais e ambientais (DE MATTOS, 2018).

Dentro do contexto na inovação, cita-se 2 eixos da ODS que tratam do citado acima aplicados no trabalho:

9.4 “Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades”; e

9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU, 2015).

4.2.4 ODS - 11: Cidades e comunidades sustentáveis

Quando se pensa em sustentabilidade, a ideia é que os recursos necessários para a existência daquele lugar ou comunidade seja produzido de forma local (DE MATTOS, 2018). Porém, esse contexto só é válido em teoria, os motivos são a grande concentração de pessoas em cidades, o que faz com que os alimentos consumidos por esta população sejam oriundos de outro local agrícola, bem como a concentração das indústrias que ocorre em centros urbanos, pois, lá é que possuem mão de obra disponível para o desenvolvimento de produtos.

Diante do exposto, a conclusão é de um mundo globalizado com contribuições de ambos os lados para o bem social. Por isso, reduzir a dependência de um em relação ao outro é um fato, por isso, é imprescindível que os recursos sejam otimizados ao máximo.

Como sustentabilidade o eixo que mais se aplica ao projeto é o 11.6 *“Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros”* (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU, 2015).

4.2.5 ODS - 12: Consumo e produção responsáveis

Quando se fala em consumo e produção responsável nos vem à mente a responsabilidade que cada cidadão faça a sua parte em relação ao meio social em que está inserido. Tal fato nem sempre é uma preocupação de todos, por isso, a medição de água, saneamento e descarte correto de resíduos deve ser analisado de forma individual.

Uma das possíveis soluções para o consumo responsável é a aplicação de medidores de água individuais nas unidades consumidoras, cobrar um proporcional de taxa de esgoto pela água consumida e este será tratado de forma adequada pela companhia de abastecimento. Por força de lei poderão ser investidos recursos em orientação e projetos para a melhoria do bem social e redução dos impactos ambientais (DIAS, 2015).

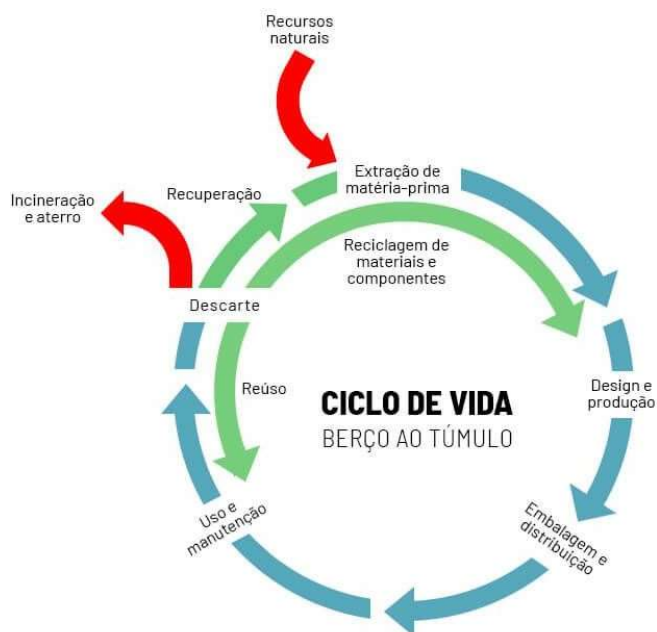
No que se refere a produção responsável, produzir alimentos e equipamentos preocupados com a forma de produção limpa, evitando resíduos industriais ou reduzindo ao máximo os impactos gerados com os rejeitos produtivos. Em muitos processos de produção há um ciclo reverso para os produtos (DIAS, 2015).

O ponto principal dentro das ODS que aborda o tema, que será considerado nesta pesquisa, está no eixo 12.2: *“Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais”* (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU 2015).

Neste sentido é importante um foco na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma ferramenta utilizada para “compilar e avaliar informações sobre materiais e energia na medida em que estes fluem através de um serviço ou cadeia de manufatura de um produto.”

Preocupados com o uso de energia utilizada no processo de produção, entre as décadas 60 e 70, as grandes empresas americanas promoveram estudos que apontassem soluções. Dentre esses estudos, destacamos o promovido pela empresa *The Coca-Cola Company*, “que encomendou um estudo comparativo entre os recipientes utilizados para engarrafar seu principal produto (refrigerante), com o intuito de descobrir qual lançava a menor quantidade de **poluentes no meio ambiente** e o que menos afetava o suprimento de **recursos naturais**” (SAIC. *Scientific Applications International Corporation. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. 2006, apud. OLIVEIRA, 2010*), resultando no método aplicado nas análises de inventários para o ciclo de vida de um produto, considerando desde o início até o fim do processo, representado pela Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Ciclo de vida em processos produtivos industrializados



Fonte: OLIVEIRA, 2010

A ilustração acima mostra como é um ciclo de vida no caso da Coca Cola, permeando desde a extração da matéria prima, transporte até a unidade de beneficiamento, entrando em ciclo de processamento e transformação em um novo produto, na próxima etapa vai para comercialização e após uso tem o descarte ou reuso.

4.2.6 ODS - 13: Ação contra a mudança global do clima

Como ação pela mudança do clima se faz necessário a redução do uso de combustíveis fósseis, o que aumenta a emissividade de gases de efeito estufa, dentre outras ações, como manter as cidades com mais áreas de vegetação. Tendo em vista o avanço tecnológico onde os medidores de água podem ser através de monitoramento remoto, evitando assim o deslocamento todo mês para a medição *in loco*.

4.3 REGISTRO DE CONSUMO DE ÁGUA

Como a água é indispensável para a sobrevivência dos seres vivos o método de registro do volume consumido pode utilizar diferentes princípios tecnológicos e os modelos de hidrômetros são usualmente acomodados em uma das quatro categorias: velocimétricos, volumétricos, combinados e eletromagnéticos/sem partes móveis (BOYLESTAD et al., 2013). Independente do modelo, eles possuem um *display* onde é possível fazer a leitura visual do volume acumulado. Geralmente, esta leitura acontece uma vez por mês, sendo realizada por um profissional treinado. Nessa medição é necessário inserir o valor atual e o sistema já puxa do banco de dados o registro do mês anterior, sendo possível a cobrança do valor consumido.

O sistema mais utilizado atualmente é o hidrômetro mecânico, conhecido como "velocimétrico por turbina". Com ele, se realiza a medição volumétrica de água que uma residência consome em m³. A quantidade é exibida na superfície superior do hidrômetro. Seu funcionamento é bem simples, a água passa por uma turbina fazendo ela girar, esse movimento que a turbina realiza faz com que um sistema de relógio mecânico se mova, assim fazendo com que os numerais desse relógio indiquem o consumo de água (BASSANI, 2024).

Com a aplicação deste método, o consumo individual não pode ser individualizado em relação ao coletivo, em caso de edificação multifamiliar, se esta não estiver preparada para identificar o consumo de cada unidade habitacional, pois o medidor (hidrômetro) é instalado no ponto de entrada de abastecimento de água pela concessionária. Este sistema de medição é mais simples e extremamente vantajoso para a concessionária, pois se limita a instalar um único medidor para totalizar o consumo de muitas unidades consumidoras. Para o caso de habitação

unifamiliar o custo é maior, mesmo sendo cobrada a taxa de ligação da unidade consumidora pela maioria das concessionárias, existem preços diferenciados para faixas de consumo. Segundo (ROCHA, 2018), este ainda é o método mais encontrado nas edificações multifamiliares.

Um estudo comparativo de custos de instalação dos sistemas de medição individual e coletiva na fase de construção da edificação foi realizado por Guedes e Júnior. A base deste estudo foi um edifício de 16 andares, com 03 apartamentos por andar. Para fins orçamentários, foi utilizada a tabela SINAPI (Sistema Nacional de Preços de Insumos). O custo de instalação de um sistema de medição individualizada é aproximadamente 18% superior ao do sistema de medição coletiva. A maior parte desta diferença é referente ao custo do hidrômetro individual, tendendo a aumentar proporcionalmente em relação ao crescimento do número de apartamentos existentes no edifício (GUEDES E JÚNIOR, 2015).

Os autores ainda esclarecem que na medição coletiva, o cliente consumidor reconhecido pela concessionária é o condomínio, e sendo assim, esta fornece uma conta única ao mesmo. O condomínio, por sua vez, repassa esta despesa aos condôminos na cota condominial, através de fórmulas simples de rateio aprovada em assembleia e descritas a seguir:

- Rateio simples: O valor total da conta de água é dividido pelo número de apartamentos em partes iguais. Este é um método bastante injusto, uma vez que desconsidera fatores básicos como quantidade de habitantes em cada apartamento, por exemplo e os dispositivos instalados, porém, é o método mais aplicado;

- Rateio por área: O valor total da conta é dividido de forma proporcional à área de cada apartamento. Este método também não se mostra muito efetivo, pois, comumente as unidades habitacionais de uma mesma edificação tem características similares. Também é comum a ocorrência de apartamentos com área maior devido ao acréscimo de áreas secas (apartamentos de dois ou três quartos em um mesmo edifício) mas com a mesma quantidade de banheiros. Neste caso, a área maior não significa necessariamente maior consumo, podendo haver número menor de pessoas.

- Rateio por habitantes: A conta da concessionária é dividida pelas unidades de forma proporcional à quantidade de habitantes de cada apartamento. É considerada uma forma mais próxima da realidade, pois é sabido que o consumo de água está intimamente ligado as necessidades individuais. Mais pessoas em uma residência, significam mais banhos, mais descargas nos vasos sanitários, mais lavagens de

roupas, de louças etc. Mas em contrapartida, este método desconsidera os hábitos familiares. Por exemplo, uma família grande pode passar o dia todo fora de casa sem consumir, enquanto outra com igual número de habitantes pode passar o dia todo em casa, consumindo água. Ambas pagarão contas iguais (GUEDES E JÚNIOR, 2015).

Em uma análise simples, é possível verificar que nenhum método de medição coletiva é justo para os usuários. Questões simples, como os hábitos e rotinas dos moradores não são consideradas nos métodos de rateio. Um apartamento fechado, com os moradores em viagem de férias, pagará conta igual ao das outras unidades, mesmo sem ter tido nenhum consumo no período.

Porém, o fator mais relevante é o efeito que a medição coletiva promove nos moradores onde este sistema é aplicado. Sob a ótica de Guedes e Júnior, (2015) o método de medição coletiva, além de não estimular os condôminos a economizar, promove uma reação contrária. Como não há redução do condomínio, os moradores não têm comprometimento com economia, negligenciando vazamentos, desperdiçando água em lavagens de veículos, descargas sanitárias antigas ou desreguladas, uso em banheiras, dentre outras formas.

Quando aplicado o método de medição de consumo de água individualizada, que prevê instalação de medidores em cada uma das unidades consumidoras, de fato, é possível medir o consumo de cada unidade separadamente de forma justa. De acordo com Rocha (2018), apesar da existência dos medidores individuais, não se dispensa a instalação do medidor geral na entrada do prédio, sendo que o consumo das áreas comuns será o resultado da diferença entre o consumo total apurado pelo medidor geral, menos o somatório dos consumos individuais.

A medição individualizada de consumo de água é a forma justa de cobrança, pois cada usuário paga somente aquilo que consumiu. Além disso, Dias et al. (2015), realizaram uma pesquisa na qual, durante dez meses, foram monitorados os consumos de seis edifícios, localizados em Joinville, com características similares, sendo três com medição individualizada de água, e outros três com medição coletiva. Após a coleta de dados e tratamento estatístico foi observado que a medição individualizada apresentou valores inferiores aos apresentados pela medição coletiva.

Em 2016, o Governo Federal, representado pelo Vice-Presidente da República, Michel Temer, sancionou a lei Nº 13.312/2016, que estabeleceu a obrigatoriedade da medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais; esta

lei alterou o texto da lei 11.445/2007 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Resumidamente, a lei tem a seguinte redação:

Art. 1º Esta Lei torna obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais.

Art. 2º O art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, passa a vigorar acrescido do seguinte § 3º:

"Art. 29.

§ 3º As novas edificações condominiais adotarão padrões de sustentabilidade ambiental que incluam, entre outros procedimentos, a medição individualizada do consumo hídrico por unidade imobiliária."

Art. 3º Esta Lei entra em vigor após decorridos cinco anos de sua publicação oficial (BRAISL, 2016).

Segundo a lei, as novas edificações condominiais, construídas a partir de 2021, deverão utilizar hidrômetros individuais para cada unidade habitacional. O padrão de instalação convencional adotado pela construção civil, até então, passará por um processo de adaptação, pois adotar a instalação de um medidor por apartamento (ou casa) ao invés de um geral, implicará em novos traçados de tubulação para distribuição da água (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2018). Para Moraes e Cauduro (2018) a principal dúvida é onde locar os medidores no novo conceito. Existem pelo menos três opções viáveis para instalação:

- a) Próximo ao barrilete da cobertura;
- b) No térreo da edificação;
- c) Por pavimento;
- d) Muro de entrada da edificação.

Cada opção tem vantagens e desvantagens em relação as outras, mas em edificações de maior porte, de acordo com Moraes e Cauduro (2018) a opção mais aceita no mercado é a instalação de grupos de medidores em cada pavimento, pois a instalação hidráulica é simples, com uma prumada central única no *hall* dos apartamentos, permitindo melhor distribuição das pressões atuantes em cada unidade, o que se perde o consumo extado de cada unidade com este método. Tendo em vista as opções acima, destaca-se como melhor forma a opção d), pois, nela a concessionária já cobra dentro das suas próprias regras de faturamento como esgoto, coleta de lixo e outras taxas de forma a garantir cobrança justa por unidade consumidora, como desvantagem, cada apartamento possui sua caixa de água e fica responsável por ela (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2018).

Como comparativo entre as medições de água individual e coletiva é possível fazer o seguinte comparativo conforme Quadro 1:

Quadro 1 - Relação de hidrômetro coletivo ou individual

Individual	Coletivo
Instalação complexa	Instalação simples
Pagamento do seu consumo e suas taxas	Pagamento pelo consumo e desperdício alheio, até mesmo as inadimplências
Maior custo de instalação	Menor custo de instalação
Maior economia de água	Maior consumo de água

Fonte: BAPTISTA; NASCIMENTO (2018)

4.4 INFORMATIZAÇÃO DA MEDIÇÃO DE ÁGUA

Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, houve o lançamento de vários projetos de cidades inteligentes no Brasil (GAZETA DO POVO, 2017) e no mundo (BUSINESS INSIDER, 2017; WORLD ECONOMIC FORUM, 2017). Mesmo com a intensidade de debates nesse tema, não existe uma definição única do que são cidades inteligentes (GUIMARÃES, 2018).

As proposições apresentam ações bastante distintas, dentre elas podem ser citadas a utilização de veículos autônomos, a emergente e amplamente discutida acerca do tema energias renováveis, moradia a preços acessíveis, monitoramento do consumo de água e energia, alertas sobre a qualidade do ar devido à grande expansão industrial ditada pelo consumo excessivo de bens e recursos, acesso gratuito à internet, hortas compartilhadas como forma de otimização dos recursos e alimentos mais saudáveis. Incluindo construções energeticamente eficientes baseadas na sustentabilidade com a inclusão de energia solar e reaproveitamento de água das chuvas (HAMMI et al. 2018).

Um ponto em comum entre as iniciativas é que elas buscam “*por meio da absorção de soluções inovadoras, especialmente ligadas às Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e a grande inclusão da população ao acesso a essas tecnologias, ao movimento da Internet das Coisas (IoT) e ao fenômeno do Big*

Data, otimiza[r] o atendimento [de] demandas públicas” nas cidades (HAMMI et al. 2018).

Medidores inteligentes são componentes dos *smart grids* que permitem, entre outras coisas, a leitura remota do consumo de água e energia. O Brasil já conta com projetos como o Energia⁺, uma parceria entre a Eletrobrás e o Banco Mundial que promoveu a instalação destes contadores em seis estados e beneficiou quatro milhões de brasileiros e a instalação de medidores inteligentes de água pela Odebrecht Ambiental em Mauá e Limeira, no interior de São Paulo, e em Palmas e Araguaína, no Tocantins (DE MATTOS, 2018).

Adicionalmente, em julho de 2016, foi promulgada a lei nº 13.312/2016 que entrou em vigor após decorridos cinco anos de sua publicação e que tornou obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico em novas edificações condominiais. Mais de 80% dos brasileiros vivem em áreas urbanas (IBGE, 2022), e destes, uma parcela cada vez maior habita condomínios verticais ou horizontais (DE MATTOS, 2018). Mesmo que a lei não estabeleça a adequação de unidades antigas, a movimentação para individualização do uso da água já está acontecendo.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que atende 27,7 milhões de brasileiros, e a Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA), que serve 1,1 milhões, apenas aceitam registradores inteligentes, ao passo que a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), que abrange 1,6 milhões de usuários, exige medidores com leitura remota em construções com mais de seis pavimentos (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2022).

Com base em dados da Global Water Meters Market, (2023), até 2025 pelo menos 22% do mercado mundial de hidrômetros deverá ser composto por soluções do tipo hidrômetro inteligente, gerando rendimentos de aproximadamente 1.5 bilhões de dólares.

Embora a utilização destes dispositivos esteja cada vez mais comum, a quantidade de estudos sobre o assunto ainda é bastante limitada (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2022). Enquanto uma pesquisa no Google Acadêmico por “*smart grids*” encontra 74.500 resultados, “*smart water grids*” e “*smart water meter*” traz apenas 176 e 365 links para consulta. Ainda mais preocupante é a busca por artigos em português, onde “redes inteligentes de água” e “medidores inteligentes de água” retornam apenas 4 e 6 artigos, respectivamente.

Revisão sobre medidores e redes inteligentes de água, também chamados de hidrômetros, são bastante comuns em todo o mundo e permitem que a cobrança pela água seja proporcional ao consumo. Além disso, em muitos países, a tarifa varia de acordo com a categoria do usuário e quantidade utilizada. Estas ações visam coibir o desperdício e uma cobrança pela água consumida, ainda que por vezes não sejam bem recebidas pela população em geral, motivo que atinentes à tarifa de água por consumo de faixa de utilização e mais o tratamento de esgoto (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2022)

A lista de interessados nos dados de consumo de água é longa: prestadoras de serviço público buscam monitorar detalhes do consumo (horário e quantidade) e ampliar sua receita; grandes empresas tentam vender produtos adequados ao perfil dos clientes; grupos ligados à conservação dos recursos naturais almejam influenciar moradores; responsáveis pela lei acompanham atividades suspeitas; companhias de seguro investigam comportamentos que possam indicar problemas; prefeituras visam informações sobre a propriedade; credores avaliam a credibilidade dos clientes e criminosos perscrutam oportunidades para roubar itens de valor ou identificar moradias desocupadas (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2022). Em uma conjuntura de dados abertos e escassez hídrica, os próprios cidadãos poderiam criticar usos abusivos de recursos e, de certa forma, limitar a liberdade individual um dos outros.

Em cidades inteligentes, a abertura dos dados e privacidade são duas forças que competem entre si. Neste sentido, algumas cidades estão investigando qual a melhor forma de abrir os seus dados. Em 2016, Seattle publicou uma política de dados abertos e contratou o *think tank* “*The Future of Privacy Forum*” (FPF) para elaborar uma metodologia para avaliação dos riscos associados à divulgação de dados abertos que contasse com a participação da população (DE MATTOS, 2018). Os dados transferidos devem ser abertos, sujeitos ao escrutínio do público e proporcionais à tarefa. Barcelona, está considerando o uso de tecnologia *blockchain*, criptografia e um sistema de permissões para acesso e controle dos dados (HAMMI et al. 2018).

Como privacidade é uma questão pessoal, vários estudos procuram entender, catalogar e acompanhar as mudanças no perfil das populações. Um dos primeiros estudos sobre o tema estabeleceu três categorias de comportamento em relação à privacidade: pragmáticos, fundamentalistas e despreocupados. Pragmáticos são aqueles que pesam os benefícios dos serviços e o grau de intrusão dos agentes privados e poder público. Eles procuram ver quais procedimentos estão envolvidos na

coleta de dados e conhecer as avaliações de outros cidadãos envolvidos. Eles também acreditam que as organizações empresariais ou o governo devem "ganhar" a confiança do público, em vez de assumir automaticamente que eles a possuam. Já os fundamentalistas tendem a desconfiar de organizações que solicitam as suas informações e preferem privacidade aos benefícios dos serviços. Por fim, despreocupados confiam nas instituições e estão confortáveis com a legislação existente. Na primeira pesquisa realizada, em 1990, 57% do público americano foi classificado como pragmático, 25% fundamentalista e 18% despreocupado (GUIMARÃES, 2018).

Além da coleta dos dados, há uma apreensão em relação ao processamento, pois ao mesmo tempo que as informações podem ser utilizadas para gerenciar os serviços de maneira mais efetiva e eficiente, garantindo segurança e resiliência, também podem ser utilizadas para infringir a privacidade dos cidadãos, criar perfis e categorizar as pessoas socialmente (HAMMI et al., 2018). Desta forma, o uso de *big data* e algoritmos preditivos podem ser entendidos como um meio de governança, pois são uma maneira das autoridades gerenciarem o comportamento dos indivíduos e alocarem de recursos (GUIMARÃES, 2018).

Como uma quantidade cada vez maior de decisões são tomadas com ajuda de algoritmos, governança algorítmica é um tópico que tem ganhado cada vez mais atenção. Isto porque ao elaborar e executar um algoritmo, designers incluem, excluem, pesam e enfatizam ou não informações criando vieses. O foco não deveria ser dado em abrir o código dos algoritmos, algo que pode nem ajudar na transparência, mas em entender o *design*, aquisição e implementação destas rotinas. Desta forma, argumentam os autores, os desenvolvedores podem manter a sua posição competitiva e a sociedade pode ser informada sobre o processamento dos dados (HAMMI et al. 2018).

Nesta mesma linha, cresce o entendimento entre profissionais de que algoritmos não deveriam focar apenas em uma métrica, mas sim considerar o benefício de toda a sociedade. Pensando nisto, no início de 2018, especialistas de todo o mundo se reuniram *online* e começaram a criar um código de ética para cientistas de dados (DATA SCIENCE ACADEMY, 2018).

Tendo em vista o contexto brasileiro, no qual os projetos de instalação de medidores são orientados para redução da inadimplência e combate ao furto seria

relevante conhecer o desenho dos algoritmos que têm orientado as práticas das prestadoras de serviço público (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2022).

Dispositivos de IoT, como medidores inteligentes, são especialmente vulneráveis a ataques e podem servir de porta de entrada para hackers. Alguns motivos para invadir medidores incluem desestabilizar o sistema de abastecimento, reduzir a conta de água, elevar a fatura de outros usuários, roubar água, evadir restrições de consumo e reduzir a vigilância da residência. Em 2009, o FBI foi recrutado para investigar furtos de energia em Puerto Rico associados a interferências nos medidores inteligentes de energia, e em 2015, a Ucrânia foi alvo do que ficou conhecido como o primeiro *hack* para causar interrupção do abastecimento de energia (HAMMI et al. 2018).

4.5 PROTÓTIPOS E PRODUTOS COMERCIAIS DE MEDIDORES INTELIGENTES

Considerando a recente evolução da tecnologia, e a chamada era da internet das coisas (IoT), (HAMMI et al., 2018), o setor da distribuição de água tem que ser incluído no processo. Ferreira e Valim (2018) desenvolveram um protótipo de produto, para fins acadêmicos, que coleta os dados da medição de água e envia por rede de celular GSM para um servidor web. Com os dados disponibilizados em formato digital, a empresa responsável pela distribuição de água, realiza o processamento e análise dos dados em um curto intervalo de tempo (BASSANI, 2024)

Outros pesquisadores já desenvolveram projetos nessa linha utilizando a rede de comunicação GSM para realizar o envio dos dados referente ao consumo de água registrado no protótipo de hidrômetro digital. O trabalho também utilizou um sistema de alimentação para o sistema embarcado. (ROCHA, 2018).

O protótipo desenvolvido por Ferreira e Valim (2018) utiliza os seguintes componentes: Módulo Fotovoltaico de 6 V e 300 mA; Bateria de 3,7 V com 2,8 A; Controlador MCP73871, um conversor Buck-Boost para alimentar o circuito; Módulo medidor do volume de água; Sinal de carga da Bateria e tensão de referência para carregar a bateria. Figura 3, mostra o protótipo desenvolvido para medição de água de forma remota. A desvantagem deste sistema é que necessita de um chip de celular para a transmissão dos dados, tendo assim, um custo mensal com operadora de telefonia, outro ponto é não ter outra forma de alimentação e nem de cortar a água remotamente.

Figura 3 - Protótipo de medidor de água por rede GSM

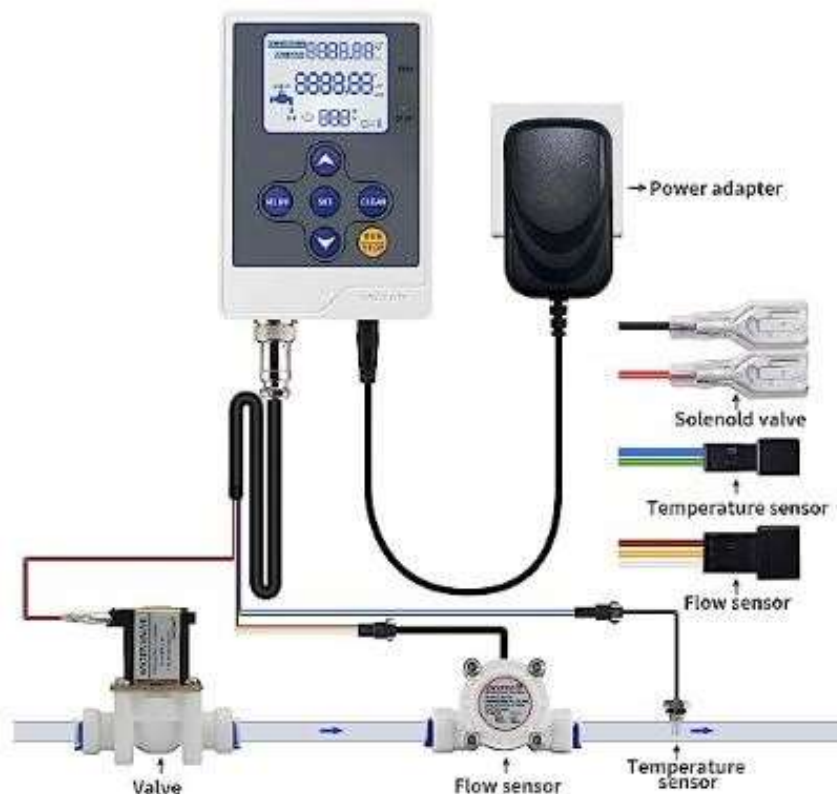


Fonte: Ferreira; Valim 2018

Em buscas realizadas no Google Shopping identificam-se produtos que já estão disponíveis no mercado e com preços acessíveis, usando as mais diversas tecnologias para a medição do fluxo de água, os quais serão a expostas por tipo de tecnologia e que são mais aplicáveis nos medidores modernos e eficientes.

Em primeiro lugar é possível mostrar o da Digitem, conforme mostrado na Figura 4, este medidor é bastante adequado dentro das normas de segurança da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5410 e NR12, pois, trabalha com alimentação em 12 Vcc, possui eletroválvula, sensor de fluxo e temperatura. Como desvantagem não conecta na rede de dados, custo de R\$ 360,00 mais impostos. Estes dispositivos são comercializados e instalados pela concessionária de abastecimento de água, o que obriga a unidade consumidora a se adequar a este procedimento. Outra desvantagem é possuir apenas uma fonte de energia, além de estar com posição invertida entre eletroválvula e sensor de fluxo, haja vista que a montagem em outra posição causa turbulência no sistema, diminuindo assim a precisão da medição, aumentando os desperdícios por parte da concessionária de abastecimento de água. Ressalta-se que medição e controle não são possíveis por via remota, portanto a leitura deve ser realizada no local. O ônus da energia recai sobre o consumidor o que também é desfavorável.

Figura 4 - Medidor e controlador Digiten digital com controle de fluxo



Fonte: Pesquisa eletrônica. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/DIGITEN>

Outro medidor com tecnologia de conexão de dados por WiFi é da IE Tecnologia, como desvantagem pode-se citar que o mesmo não possui controle de vazão do fluxo de água, nem alimentação por energias renováveis, além de não estar adequado as normas da ABNT NR12.

Medidores digitais apresentam desvantagens, a resolução da medição cabe destaque. Quando se trabalha com sensores velocimétricos e volumétricos o erro é esperado em até 4% devido a resolução, posição do medidor que deve ficar posição plana, evitando, assim, desgaste precoce de rolamentos causados pelo peso do sistema interno de medição (BASSANI, 2024). Nos dados apresentados na Figura 5, a indicação em azul significa a medição em tempo real, baseado no número de pulsos emitidas pelo sensor de fluxo, já a linha em vermelho é uma média da medição.

Figura 5 - Resposta do sensor de medição



Fonte: IE tecnologia, disponível em: https://www.ietecnologia.com/medidor-de-agua-wi-fi-sm-wa?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&sku=smwah34&srsId=AfmBOopdw-pRm0y_dm4m7p9-PNi6LJnnGesruN6aMKmBtq1J4Q-PhbVq7ZM.

Uma tecnologia disponível para medição de fluxo de água é apresentada pela IE Tecnologia. Esta possui um sistema de comunicação baseado em Wi-Fi, sendo o modelo SM-WA. Neste caso o medidor é alimentado por eletricidade com tensão em corrente alternada de 90 a 250Vca. O sistema pode ser conectado através de um roteador com alcance de 30 metros, isso depende do tipo de antena e do dispositivo. O medidor pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - medidor de fluxo de água com conexão por WiFi



Fonte: IE tecnologia, disponível em: https://www.ietecnologia.com/medidor-de-agua-wi-fi-sm-wa?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&sku=smwah34&srsId=AfmBOopdw-pRm0y_dm4m7p9-PNi6LJnnGesruN6aMKmBtq1J4Q-PhbVq7ZM.

Outra tecnologia disponível para medição de fluxo de água é apresentada pela IE Tecnologia. Esta possui um dos mais avançados sistemas de comunicação Lora-

WAN SM-LA (rede Mesh). Neste caso o medidor é alimentado por baterias com baixo consumo de energia mesmo em transmissão ou recebimento de dados. O sistema pode ser conectado ponto a ponto, sistema mestre escravo ou com um gerenciador e outros interligados como se fossem um roteador e os dispositivos se conectam a ele. Pode ser usado em alguns sistemas com alcance de 1400 metros, isso depende do tipo de antena e do dispositivo, sem dúvida é o futuro para o sensoriamento e controle remoto. Como pontos negativos tem a alimentação apenas por pilhas, porém estas duram em média 3 anos, não possui sistema antivolação física, não possui modo de corte de água nem energias alternativas e redundantes. O medidor pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Medidor com tecnologia de comunicação Lora WAN



Fonte: IE tecnologia, disponível em: https://www.ietecnologia.com/medidor-de-agua-lorawan-sm-la-?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&sku=smlaext&ad_source=4&gbraid=0AAAAADt1EndBS7NyFGS4I6JV7brA5rGZn&gclid=EAlaIQobChMlvMTP9eKMjQMVAVBIAB0YMy3UEAQYASABEgLxBPD_BwE, 2023

Uma desvantagem dos medidores digitais é a resolução da medição, como mencionado anteriormente, os sensores velocimétricos e volumétricos geram um erro esperado em até 4% devido a resolução, posição do medidor dentre outros.

Os medidores digitais mais utilizados pelas concessionárias de abastecimento são alimentados com pilhas ou baterias que apenas indicam o consumo em litros ou m³, com medições acumulativas ou que podem ser zeradas dependendo da aplicação, alguns possuem erros em torno de $\pm 1\%$, (BAPTISTA, Octávio Glauco Soares; NASCIMENTO, Lucio Fabio Cassiano, 2022). A Figura 8, mostra um medidor que

trabalha com pressão máxima de 10 Bar/145 PSI, com total de 6 dígitos na tela, temperatura do fluido de -10°C à 50°C, alimentação com 2x 1,5v AAA (Alcalinas), material em nylon com medidor tipo turbina, o ideal é trabalhar em posição plana. Este modelo tem sido adotado em condomínio para medições do consumo individual quando implementado pelo próprio condomínio.

Figura 8 - Medidor digital de água/arla



Fonte: pesquisa eletrônica, disponível em: https://www.seuposto.com/medidor-digital-para-arla-32-vazao-de-5-a-100-lpm-bremen?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gad_source=1&gbraid=0AAAAADsTjWbNE_KdyBaeJvSFmzv7Zj1gQ&gclid=EAlaIQobChMII4OG-OeMjQMVPFxlAB3slinkEAQYAiABEglKPD_BwE.

bremen?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gad_source=1&gbraid=0AAAAADsTjWbNE_KdyBaeJvSFmzv7Zj1gQ&gclid=EAlaIQobChMII4OG-OeMjQMVPFxlAB3slinkEAQYAiABEglKPD_BwE.

Um medidor de água fria inteligente é o Asa rotativa mecânica *E-Type Precision Digital Display Pointer Counter Water Meter Flow Measuring Instruments*. Ferramenta de medição doméstica com acessórios de cobre, este dispositivo pode ser utilizado em medições de água individual com registro acumulativo. Possui facilidade de conexão externa com uso de *orings*, ou anéis de borracha para vedação das conexões, com um diferencial que é face de visualização com cobertura semi-líquida que fica mais clara a visualização. Como melhoramento foi alterada a cavidade do fluxo do fluido medido, a melhoria foi na expansão evitando perdas de pressão na tubulação adiante garantindo o desempenho do medidor. O sistema é lacrado com chumbo, se houver violação do dispositivo é perceptível a olho nu. Caso seja violado haverá perda do produto. Este medidor é capaz de registrar 1 mililitros de fluido. As juntas que o compõem são de cobre evitando oxidação e vazamento por possuir juntas de vedação. O modelo do produto é o TS-S300E, com material do corpo combinando

cobre com ABS, a cor é em azul, posição de trabalho na horizontal, pressão de trabalho inferior a 1MPa. O erro estimado é de 2%. Este medidor pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 - Medidor comumente usado em cavalete de água



Fonte: pesquisa eletrônica. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/i/1005004883829370.html>

Na era digital, novas tecnologias surgem diariamente, assim, os hidrômetros pesquisados e aqui apresentados, já podem ter novas soluções. A seguir serão discutidas as possibilidades de geração de energia, a partir de fontes renováveis, para alimentação de sistemas inteligentes de medição de água.

4.6 GERAÇÃO HIDRICA INSTALADA EM CAVALETE PARA MEDIDORES DE ÁGUA

Com a evolução das tecnologias e otimização das formas de energias renováveis e energias que podem ser reaproveitadas, é possível citar a inclusão da energia solar (FERREIRA; VALIM, 2018) e da hídrica na alimentação dos sistemas de medição de água reaproveitando a energia aplicada no bombeamento da água (BONOW; IBAÑEZ; NETO, 2014).

Para a geração a partir do fluxo de água é necessário entender os melhores tipos de turbinas geradoras de energia elétrica que podem ser usadas no projeto. (Gilio Aluísio, 2014), apontou quatro possibilidades conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de turbinas geradoras hídricas

Nome	Rotação NS	Especificação Ns	Vazão Q (m³/s)	Queda H (m)	Potência kW	η máximo (%)
Pelton	Nº Jatos	Ns				
	1	30				
	2	30 - 50	0,05-50	30-1.800	0,1-300.000	70-91
	4	40 - 60				
	6	50 - 70				
Banki	40 - 160		0,025 - 5	1 - 50	1 - 750	65 - 82
Francis	Tipo	Ns	0,05 - 700	2 - 750	1 - 750.000	80 - 93
	Lenta	60 - 170				
	Normal	150 - 250				
	Rápida	250 - 400				
Kaplan	300 - 800		0,3 - 1.000	5- 80	2- 200.000	88 - 93

Fonte: SIMONE, (2014)

O modelo mais indicado para o presente projeto é a turbina Francis – Figura 10. Pois, a incidência de jatos sobre o rotor, em cada volta, depende do número destes, de modo que, quanto maior a queda, menor deverá ser o número de impactos sobre a pá por minuto, e quanto maior o número de jatos, maior a potência para uma mesma queda, também maior será o desgaste por abrasão se a água contiver areia e por cavitação provocada pelas bolhas de ar dentro do sistema de adução (BONOW; IBAÑEZ; NETO, 2014).

Outro fator que pode comprometer a vida útil do hidrogerador é a posição de trabalho, caso a turbina esteja fora de posição plana, pode forçar mais um rolamento do que o outro, fazendo com que a carga maior se concentre em apenas um deles, deixando assim o sistema mais frágil e necessitando prazos mais curtos na periodicidade das manutenções. Também pode fazer com que o rendimento do conjunto seja menor por aumentar o atrito do rolamento (MACINTYRE, 1983). O princípio desta geração que se encaixa no projeto pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - princípio de um gerador de energia elétrica hídrico

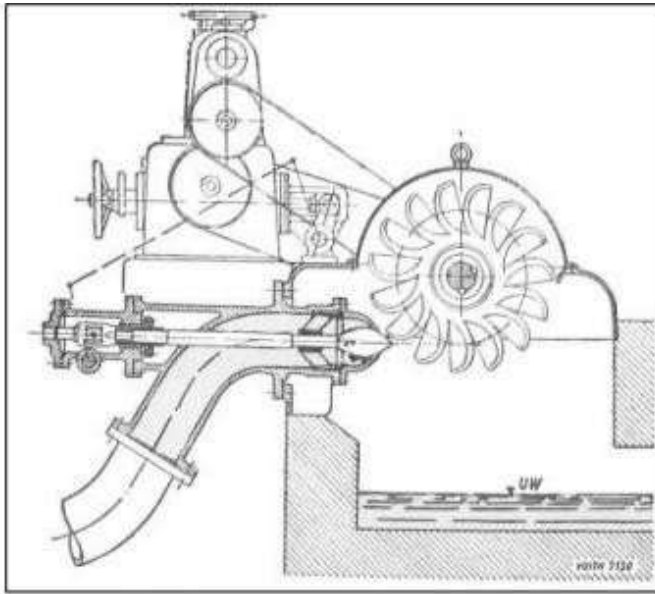


Figura 3: Turbina de Pelton de um Jato

Fonte: MACINTYRE, 1983.

Para determinar a quantidade do número de jatos é necessário considerar a potência a ser ligada, a altura da queda de água e também a rotação em RPM (rotações por minuto) (MACINTYRE, 1983), sendo:

A = número de jatos;

N = potência em CV (1CV=736W);

H = altura da queda;

n = rotação em RPM.

$$A = \frac{n * \sqrt{N}}{25 * H}$$

Como o cavalete possui apenas uma entrada de água e também a altura é variável, se faz necessário a escolha de uma turbina que trabalhe com a maior gama de variação de altura possível, com maior rotação e também maior variação de potência instalada (SIMONE, 2014).

A vantagem da instalação de um mini gerador tipo Francis com efeito caracol é que a velocidade da água gera maior torque por ela fazer um movimento rotacional de aproximadamente 180°, todavia, a saída da água ocorre de forma turbulenta, causando erros na medição caso o hidrogerador for instalado antes do medidor (BARROS et al., 2014), sendo a turbina geradora conforme Figura 11.

Figura 11 - Modelo de hidrogerador usado no projeto tipo Francis



Fonte: pesquisa eletrônica, disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/mini-geradores-de-energia/mini-gerador-de-energia-hidraulico-gerador-hidreletrico-para-projetos-88v-a-15v-dc-2902.html>

Alternativa para geração de energia renovável em relação ao tema tratado neste tópico, é a energia solar, a qual serão abordados no próximo item.

4.7 GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Outra fonte de energia renovável que pode ser aplicada nos sistemas de medição de água é a solar, porém está disponível apenas no período diurno. Se o sistema for instalado de forma correta pode haver bom aproveitamento de energia.

No Estado de Santa Catarina (SC), durante o período de um ano, há uma variação dos bons períodos de incidência solar, em alguns meses do ano a geração é bom em outros momentos não é tão favorável. Fator importante a ser analisado e que impacta no aproveitamento da energia é a localização geográfica em que o sistema será aplicado (Labren, 2024).

Levantamento realizado pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/DIIAV - Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades (BARROS et al., 2014) demonstra como fica essa incidência por período anual para a região de São Bento do Sul, região onde o projeto foi desenvolvido, cujo número de identificação é 3669. A quantidade de energia disponível por metro quadrado (m^2) diário oscila, dentro do ano, de 2,576 a 5,45 KWh/ m^2 por dia, sendo que a média geral anual é de 3,998 KWh/ m^2 /dia, revelando que é uma das regiões de menor geração do Estado de Santa Catarina para geração de energia solar conforme demonstrado na Figura 12 (Labren, 2024).

Figura 12- Mapeamento solar diário médio de Santa Catarina em específico a região de São Bento do Sul



Fonte: Labren, 2024, disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/SC_glo.html

Pelas coordenadas do mapa, Figura 13, é possível precisar os locais de ensaios realizados para avaliação solar. Os testes foram realizados nas indicações do referencial 3669, sendo na cidade de São Bento do Sul.

Figura 13 - Mapeamento solar por coordenada geográfica em SC



Fonte: Labren, 2024, disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_SC.html

A geração de energia elétrica solar ocorre pela irradiação ultravioleta que é capturada por uma placa de silício conhecida como painel fotovoltaico (FV). Essa captação do fóton gera uma excitação na estrutura cristalina do carbono, liberando elétrons, o que gera energia elétrica em corrente contínua. A quantidade de energia liberada pelo fóton capturado está entre 3,1eV e 1,25KeV (eletro volt), o comprimento de onda da luz ultravioleta capturado está entre 1nm e 400nm (nano metro) (LIMA et al., 2020) conforme mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Quantidade de energia liberada do fóton

Espectro eletromagnético e energia do fóton associado (Adaptado da Ref. [52]).

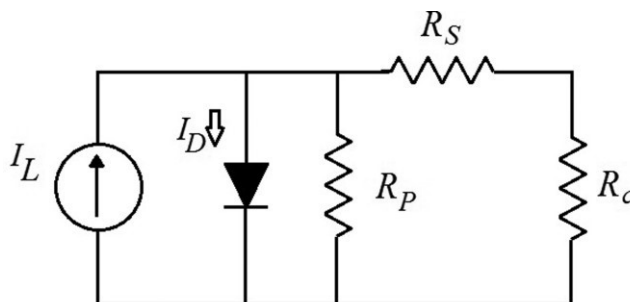
Região Espectral	λ	E_f
Radiofrequência (RF)	$\lambda < 1\text{mm}$	$E_f < 1\text{meV}$
Infravermelho (IR)	$1\text{mm} > \lambda > 700\text{nm}$	$1\text{meV} < E_f < 1,78\text{eV}$
Visível	$700\text{nm} > \lambda > 400\text{nm}$	$1,78\text{eV} < E_f < 3,1\text{eV}$
Ultravioleta (UV)	$400\text{nm} > \lambda > 1\text{nm}$	$3,1\text{eV} < E_f < 1,25\text{keV}$
Raios X	$1\text{nm} > \lambda > 5\text{pm}$	$1,25\text{keV} < E_f < 250\text{keV}$
Raios γ	$\lambda < 5\text{pm}$	$E_f > 250\text{keV}$

Fonte: LIMA et al. (2020).

Segundo IMHOFF (2007), a energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade, que ocorre por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico. Afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico”.

Assim, o modelo de geração de energia ocorre a partir da conversão solar, no qual, a energia solar é captada em corrente, e pelo princípio de conversão de energia em circuitos elétricos, é modelado como fonte de corrente (I_L), o fluxo de corrente que circula no circuito (I_D) é transformado em tensão por (R_P) que é uma resistência interna do processo, também conhecido como impedância do sistema (resistência gerado pelo funcionamento da estrutura) e para uma máxima transferência de energia deve ser levado em consideração a resistência série (R_S) que são as perdas dos condutores e a resistência da carga (R_C) que de fato é a energia consumida no processo. Quando a soma da resistência R_S e R_C forem iguais a R_P , o sistema tem a melhor eficiência energética (LIMA et al. 2020), conforme Figura 15.

Figura 15 - modelo de circuito para geração de energia solar



Fonte: LIMA et al.. (2020):

O efeito fotovoltaico é gerado por meio da absorção da luz solar, ocasionando uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor (SEVERINO E OLIVEIRA, 2010).

Com a crescente busca por sistema fotovoltaicos, cresce também a pesquisa por materiais que possibilite avanços da tecnologia fotovoltaica. Atualmente o silício (Si) é o principal material na fabricação das células fotovoltaicas, sendo o segundo elemento químico mais abundante na terra. O mesmo tem sido explorado sob diversas formas: cristalino, policristalino e amorfo (LIMA et al., 2020)

As tecnologias existentes, aplicadas para a produção de células FV, estão classificadas em três gerações, de acordo com seu material e suas características. A primeira geração, composta por silício cristalino (c-Si), e subdividida em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), representam 85% do mercado, por ser uma tecnologia de melhor eficiência, consolidação e confiança (CEPEL, 2015).

A segunda geração de painéis solares fotovoltaicos é comercialmente conhecida como "filmes finos" e são fabricadas depositando uma ou mais camadas finas de material FV sobre um substrato. As células desta geração apresentam vantagens como a menor energia gasta na produção e a menor utilização em materiais por necessitarem de uma fina camada de material (CEPEL, 2015).

As tecnologias de filme fino mais utilizadas são:

- Silício amorfo (a-Si)
- Disseleneto de cobre e índio (CIS)
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)
- Telureto de cádmio (CdTe).

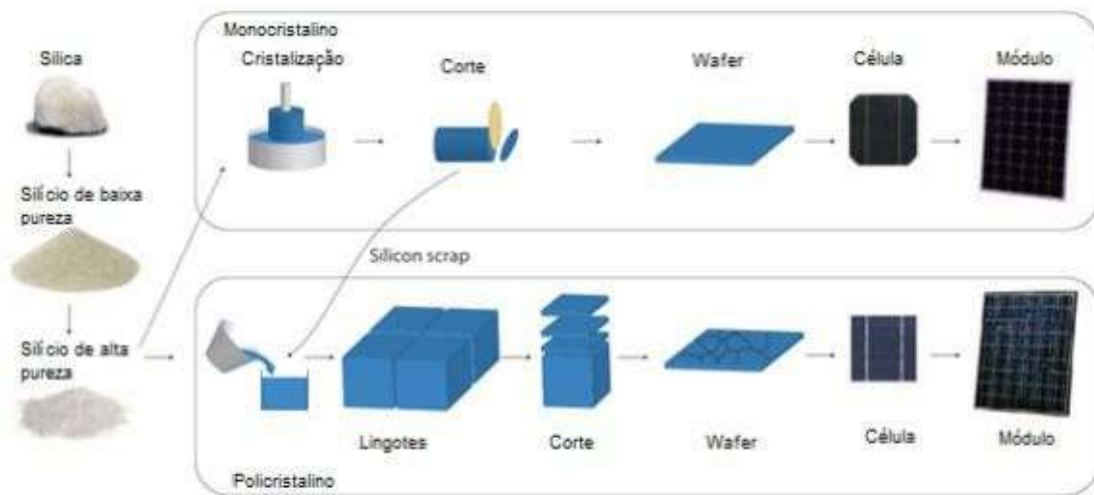
A terceira geração têm como objetivo alcançar altos níveis de eficiência juntamente com um menor custo de produção. Para IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos estas células são definidas como:

Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade. (IEEE, 2014).

Utilizando-se de vantagens da primeira e segunda geração, pode-se incluir nessa definição tecnologias orgânicas, pontos quânticos, células tandem/multijunção, células de portadores quentes, células solares sensibilizadas por corantes e tecnologias de *upconversion* (PORTAL SOLAR, 2024).

No processo de fabricação de um painel fotovoltaico são necessárias várias etapas compreendidas desde a captação da sílica, até a transformação em painel FV. Dentre as etapas, o processo visa coletar o material na natureza, transportar até a unidade de processamento, efetuar a limpeza do material para remover os contaminantes, efetuar o derretimento, depois o processo passa pela transformação do material líquido em rígido transformando em bastão, depois é realizado o corte e transformado numa placa de silício, em seguida a dopagem do material, depois as pequenas placas são unidas para ser transformada numa placa, depois é inserido em moldura e ligação dos terminais. As principais etapas são mostradas na Figura 16.

Figura 16 - Princípio de fabricação dos painéis fotovoltaicos



Fonte: portal solar, disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>, 2024

Questões como se de fato vale a pena a geração de energia solar e o quão limpa ela é, precisam também ser abordadas. Em resposta a isso é necessário a avaliação dos custos de processo de um painel fotovoltaico e o tempo de vida útil contando a possibilidade reciclagem após sua utilização (PORTAL SOLAR, 2024).

No processo de fabricação do painel fotovoltaico monocristalino existem várias abordagens e tecnologias aplicadas. Segundo estudos de Wong; Royapoor; Chan, (2016), o custo de energia, expressa uma oscilação entre 2397 a 11673 Mj/m² (*mega joule* por metro quadrado), conforme demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Consumo de energia no processo de produção do painel monocristalino

Energia Demandada na Manufatura de Módulos Mono-Si									
Autor	Ano	Mat. Prim. [MJ/m²]	Prod. (MG-Si) [MJ/m²]	Processo (CZ) [MJ/m²]	Prod. Wafer [MJ/m²]	Prod. Células [MJ/m²]	Montagem [MJ/m²]	Moldura [MJ/m²]	Total (CED) [MJ/m²]
Yue et al.	2014	1231,6	-	1436,8	307	308,8	615,8	-	3900
Fthenakis et al.	2012	-	446	1841	581	643	772	379	4662
Laleman et al.	2011	-	2397	432	-	-	684	-	3513
Lu and Yang	2010	-	162	1119	432	-	684	Sim	2397
De Wild – Scholten	2009	-	728	1266	-	389	477	Não	2860
Jungbluth et al.	2009	888	141	1208	562	595	466	Sim	3860
Alsema and De Wild-Scholten	2005	-	1759	2391	-	473	394	236	5253
Knapp and Jester	2001	-	3950	4100	-	-	-	-	8050
Alsema	2000	1800	450	2300	250	550	350	Não	5700
Alsema et al.	1998	1900	500	2400	250	600	350	Não	6000
Kato et al.	1998	797	298	9808	-	261	509	-	11673

Fonte: Wong; Royapoor; Chan (2016).

Na fabricação do painel policristalino a grande diferença está no processo de produção do (MG-Si), que impacta cerca de 27% a menos se comparado com a o processo de fabricação dos painéis monocristalino, impactando em cerca de 2,3% no valor total do consumo de energia na produção. A diferença entre os painéis monocristalino e policristalino está na eficiência energética, o monocristalino gera cerca de 2,5% a mais de energia se comparado ao policristalino. A Figura 18, mostra a evolução por ano no processo produtivo dos painéis fotovoltaicos policristalinos (MUTERI, Vincenzo et al, 2020).

Comparando preço de mercado ainda é mais viável a compra de painéis com a estrutura monocristalina, com uma expectativa de viabilidade na diferença financeira de aproximadamente 1,5 anos. Quando o comparativo é por vida útil, ambos possuem em média uma vida útil de 25 anos (WONG; ROYAPOOR; CHAN, 2016).

Figura 18 - Análise do processo produtivo dos painéis policristalinos

Resultados da Revisão para Multi-Si								
Autores	Ano	Mont. do sist.	Irradiação Solar (KWh/m ² /ano)	PR	η _{conv} (%)	V. Útil (Ano)	CED (MJ/m ²)	EPBT (Ano)
Phyllipsen and Alsema	1995	Teilh.	1700	0,75	13	25	1145 KWh/m ²	2,7
Kato et al.	1998	Teilh.	1427	0,81	12,8	20	1643	2,4
Dones and Frischnecht	1998	Solo	1117	N/D	14	30	18,770 KWh/m ²	N/D
Alsema et al.	1998	Solo	1700	0,87	12,1	25	4200 - 11,600	3,4
Alsema and Nieuwlaar	2000	Teilh.	1700	0,75	15	30	4600	1,7
Alsema	2000	Solo	1700	0,75	13,2	30	4200	3,2
Ito et al.	2003	Solo	1702	0,78	12,8	30	3300	1,7
Battisti and Corrado	2005	Teilh.	1530	0,8	10,7	30	5150	3,3
Hondo	2005	Teilh.	1314	0,77	10	30	N/D	N/D
Fthenakis and Alsema	2006	Teilh.	1700	0,75	N/D	30	N/D	1,7
Alsema and de Wild-Scholten	2006	Teilh.	1700	0,75	13,2	30	4000	1,9
Alsema, Fthenakis and de Wild-Scholten	2006	Teilh.	1700 e 1000	0,75	13,2	30	3200	1,7
Pacca et al.	2007	N/D	1359	N/D	12,9	20	4322	7,5
Raugei et al.	2007	Teilh.	1700	0,75	14	20	N/D	2,4
Jungbluth et al.	2007	Teilh.	1117	0,75	13,2	30	N/D	2,9
Alsema et al.	2008	Teilh.	1700	0,75	N/D	N/D	N/D	1,7
Stoppato	2008	Teilh.	1552	N/D	16	28	N/D	3,7
Glockner et al.	2008	Solo	1700	0,75	14,3	30	306 MJ/kg	0,8
Ito et al.	2008	Teilh.	2017	0,78	15,8	30	31,333 GJ/MW	1,9
De Wild-Scholten	2009	Solo	1700	0,75	13,2	30	2699	1,8
Nishimura et al.	2010	Solo	1701	0,78	N/D	30	2420	1,73
Ito et al.	2010	Solo	1702	0,78	N/D	30	33,068 GJ/MW	2
Ito et al.	2011	Solo	1725	N/D	13,9	30	2737	N/D
Desideri et al.	2012	Teilh.	1552	0,8	14,4	25	N/D	4,17
N. Stylos et al.	2013	Solo	1797	0,67	14	30	9045 GJ com BOS	N/D
Yue et al.	2014	Solo	1700	0,75	13,2	30	3010	1,6
Kim et al.	2014	Solo	1310	0,8	14,9	30	0,44 MJ/kWh	3,68
Y. Fu et al.	2015	Solo	1263,6	0,8	16	25	2522	2,52 - 6,06
Hou G. et al.	2016	Solo	1600	0,75	17,5	25	1094,31	1,6
			1200	0,7	17,5	25	1034,41	2,1
Peishu Wu et al.	2017	Solo	2017	0,835	17,5	30	2927,04	2,3
Tan Y. S. et al.	2018	Teilh.	1580	0,785	15,9 - 16,7	30	1037,6	1,01 - 1,11

Fonte: MUTERI, Vincenzo et al, 2020

Para melhor compreensão do arranjo cristalino das células de silício solar e a fabricação das células FV a Figura 19, demonstra como é tal arranjo e como ficam após a célula estar completa para ser associada a outra na construção do painel FV.

Figura 19 - Arranjo cristalino do silício solar e fabricação das células



Fonte: Alves (2011).

Em resumo o princípio do processo de fabricação de um painel fotovoltaico consiste na extração da sílica para ser transformada em silício solar. Após a extração o processo passa pela transformação em módulos em função do tamanho do lingote de silício e laminação, em seguida vem o processo produtivo que consiste em fazer a interligação das células com a inclusão das camadas de materiais para sustentação mecânica e ligação elétrica (PORTAL SOLAR, 2024).

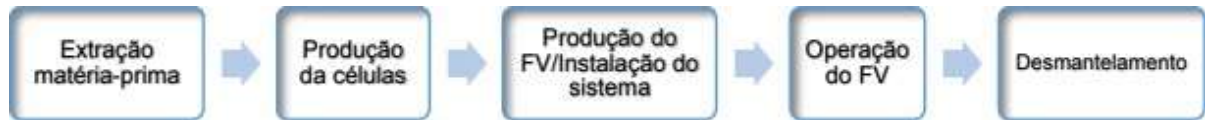
O impacto ambiental dos painéis FV precisa ser discutido, haja vista, a utilização de metais perigosos como cádmio, chumbo e selênio em sua fabricação. Todavia existem elementos empregados no processo de fabricação que podem ser reutilizados, como o vidro, o alumínio, o cobre, presentes nas conexões e os polímeros utilizados como conectores e revestimentos dos condutores. No processo de fabricação de um painel FV são empregados de c-Si, com cerca de 22 kg, tem em média 12,67g de chumbo, quantidade superior ao limite dos níveis para a disposição em aterros comuns, o ciclo de vida do painel está na Figura 200 (SCOLLA, 2020).

Dentre as etapas da utilização de painéis FV estão a colocação em operação, inserção de controladores de energia aplicados ao módulo do painel FV e após o ciclo de vida operacional, que duram cerca de 25 anos, vem o descarte, podendo tomar 2 destinos, um seria a reciclagem dos materiais ou módulos ou o desfazimento por completo (PORTAL SOLAR, 2024).

A melhor saída seria a reciclagem pois, é possível a validação e teste de geração por ter baixo custo comparado a fabricação de um novo, também a possibilidade de reaproveitamento de vários materiais do processo, evitando

desperdícios de materiais e contribuição com o meio ambiente (SCOLLA, 2020), conforme visto na Figura 20.

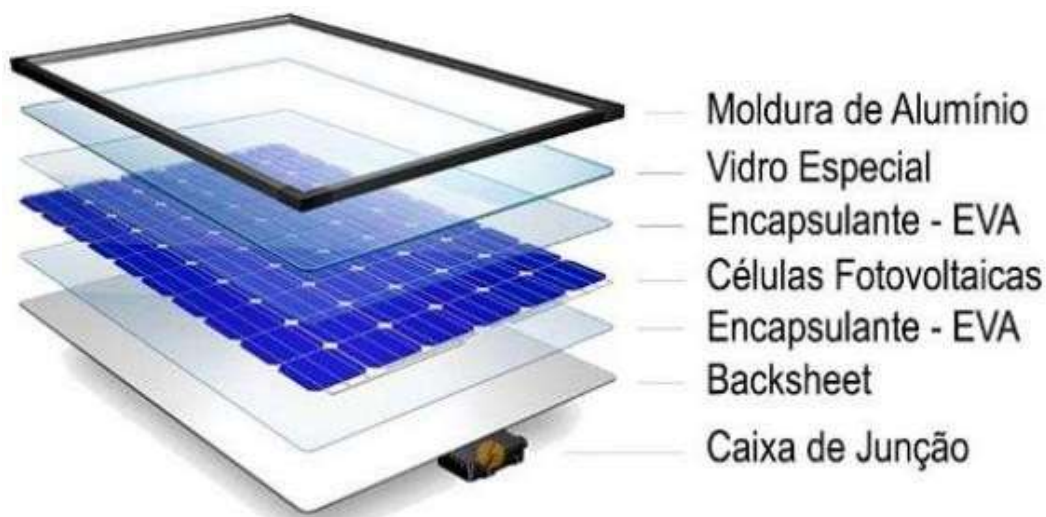
Figura 20 - Ciclo de fabricação e vida dos painéis fotovoltaicos



Fonte: Scolla (2020).

Para a montagem do painel FV são necessários alguns materiais prontos, sendo eles: caixa de junção, na qual são ligadas as lâminas de conexão dos módulos solares; a base de acomodação, identificada como *backsheet* ou apoio de fundo; folha de EVA que serve como amortecedor das placas de silício evitando danos nos módulos e nas conexões internas dos módulos; células de silício solar que estão interligadas para geração de energia; lamina em EVA que gera camada protetora evitando danos ao silício e conexões; uma placa de vidro especial fino que serve de proteção geral, evitando danos diretos nos painéis e possibilitando a limpeza da placa de forma mais eficiente, pois, não sofre desgaste excessivo; e por fim a moldura que serve como protetor mecânico, permitindo a fixação do painel englobando o conjunto. Estas etapas estão ilustradas na Figura 21 (Portal solar, 2024).

Figura 21 – partes que compõem o módulo solar



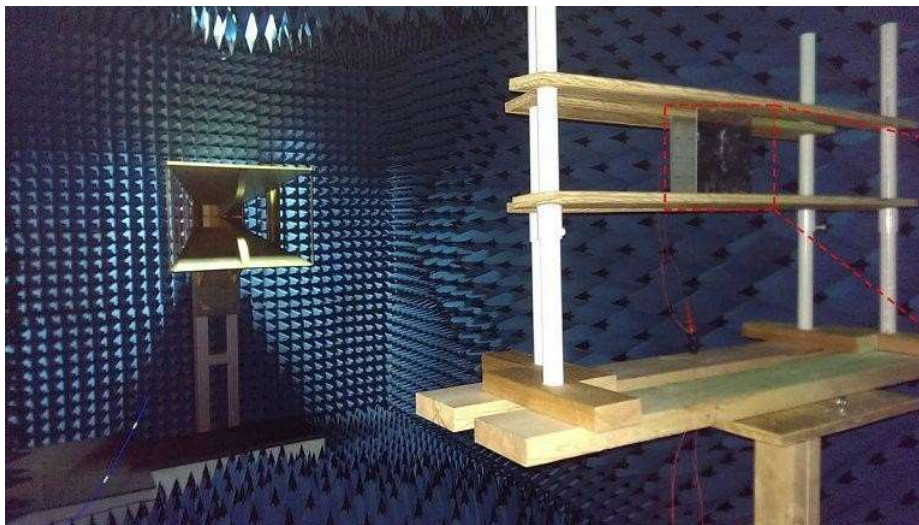
Fonte: Portal Solar (2024)

Outra fonte de energia renovável é a energia gerada por micro-ondas de rádio, tema a seguir discutido.

4.8 GERAÇÃO POR MICROONDAS DE RÁDIO

Novos estudos estão sendo realizados para geração de energia a partir de ondas de rádio através de uma Meta-antena que recicla as ondas de rádio. Todavia esta forma de geração é baixa para uma grande potência imposta na antena de transmissão que necessita de alguns Kilo Watt de energia para transmitir uma onda eletromagnética. Com essa técnica é possível o aproveitamento das ondas das redes de celular, *Wi-Fi* ou conexão *bluetooth*, como ilustrado na Figura 22.

Figura 22 - geração de eletricidade á partir de ondas de rádio



Fonte: FOWLER et al. (2022)

Como vantagem esta forma de energia é sua disponibilidade de forma geral no globo terrestre, assim como a possibilidade de reciclagem. Por meio desta geração de energia é possível alimentar dispositivos que consomem pouca energia, como sensores ou pequenos transmissores, além de sua captação de energia ocorrer durante as 24 horas do dia. Alguns empregos em sensores ou dispositivos como os de iluminação, temperatura, monitoramento de edifícios e pontes, onde o acesso muitas vezes é limitado (FOWLER et al., 2022).

As tentativas de geração por meio deste modelo eram bem limitadas, mas sua utilização foi possível graças ao desenvolvimento de metamateriais e metassuperfícies artificiais que interagem de modo altamente eficiente com as ondas eletromagnéticas e que podem ser virtualmente planos, conforme Figura 232 (FOWLER et al., 2022).

O protótipo foi constituído de uma matriz de dupla lacuna Figura 23

Figura 23 (a) e um plano de aterramento de cobre não mostrado nesta figura, mas com o mesmo tamanho, separados por uma distância determinada. A amostra é fabricada em uma placa de circuito de fenolite, revestida de cobre e usando o processo de litografia seguida de ataque químico, podendo ser por exemplo o perclorato de ferro (FOWLER et al., 2022).

Os parâmetros geométricos são dados como segue, $d = 30$ mm, $a = 40$ mm, $g = 1$ mm, $w = 1$ mm, $t = 0,8128$ mm (espessura do substrato FR4) e $t_m = 0,0178$ mm (espessura do cobre) (FOWLER et al., 2022).

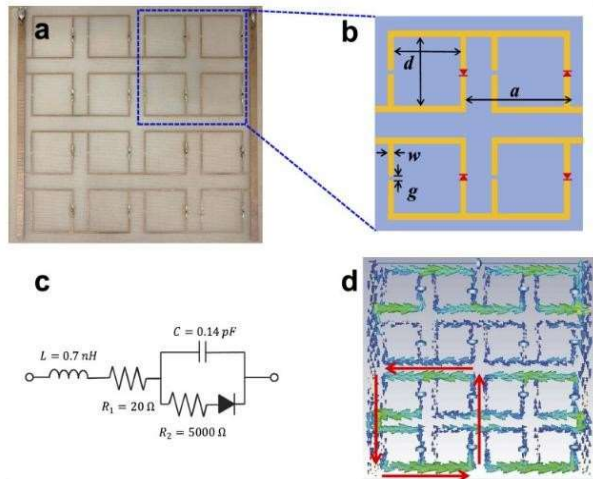
A energia capturada é em corrente alternada, para utilização em circuitos eletrônicos é necessário transformar em corrente contínua, para isso foi empregado o diodo *schottky*, que é um diodo especial e com condução direta em 0,25V de queda na zona de depleção, exibidos na Figura 23 b). A forma de captação foi inserir circuitos paralelos com derivação central em comum, tendo assim a configuração de um retificador de onda completa com *tap* central o que simplifica o circuito de geração e também uma menor queda de tensão da retificação (FOWLER et al., 2022).

Já na Figura 23 (c), está a demonstração esquemática do circuito elétrico, sendo um diagrama funcional. O circuito funciona como ressonador, baseado de um circuito LC (indutância e capacitância combinados). Quando se trabalha com circuitos de frequências elevadas é preciso ficar atento às especificações técnicas dos componentes por conta da frequência elevada (FOWLER et al., 2022).

Por fim na

Figura 23 (d), está o circuito funcional, sendo separado por blocos série e paralelo. Mostrando quando cada diodo recebe energia do semi-ciclo, em destaque está apenas a captação de um semi-ciclo.

Figura 23 - Estrutura dos metamateriais e metassuperfícies aplicadas na geração de eletricidade



Fonte: FOWLER et al. (2022)

Com essa técnica é possível a captação de até 100 microwatts de energia, para tal quantidade de energia foi necessária uma placa com dimensões de 16x16 cm. A frequência de uma fonte de rádio entre 0,7 e 2,0 GHz (FOWLER et al., 2022).

5 METODOLOGIA

Toda pesquisa científica requer determinados procedimentos que são caracterizados como metodologias.

Neste sentido Andrade (2001), afirma que a pesquisa científica é caracterizada pelo uso de procedimentos utilizados de forma sistemática e com lógica racional, com o objetivo de encontrar respostas para os questionamentos propostos, empregando métodos científicos, corroborado por Silva e Menezes (2001, p. 19) que afirmam, “pesquisar, significa de forma bem simples, procurar respostas para indagações propostas”.

Gil afirma que a pesquisa pode ser definida como “processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico com o objetivo fundamental de descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos” (GIL, 2010, p. 42).

Segundo Richardson (1999, p. 70) o “método precisa estar apropriado ao tipo de estudo que se deseja realizar, mas é a natureza do problema ou seu nível de aprofundamento que, de fato, determina a escolha do método”.

Utilizando-se das tipologias expostas por Silva e Menezes (2001), a presente pesquisa é enquadrada em três categorias: quanto aos objetivos, quanto aos seus procedimentos e quanto à abordagem do problema explorado. Assim é possível descrever cada uma das categorias para melhor entender o caminho percorrido para execução do presente estudo.

a) Quanto aos objetivos:

O presente trabalho, considerando seus objetivos, caracteriza-se como um estudo exploratório, pois, para Gil (2010, p. 42), a pesquisa exploratória é um tipo de pesquisa que “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. Se constitui também como uma pesquisa descritiva, haja vista que este tipo de pesquisa expõe as características de determinada população ou fenômeno, estabelece correlações entre variáveis e define sua natureza. Conforme Vergara (2000, p. 47) “não têm o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação”.

Ainda segundo Gil (2010) a pesquisa descritiva contribui com novo olhar sobre uma realidade já conhecida, o que é o caso no presente estudo, pois o pesquisador busca soluções mais eficientes para equipamentos já existentes.

b) Quanto aos procedimentos:

No que se refere aos procedimentos a presente pesquisa se caracteriza tanto como uma pesquisa bibliográfica quanto como uma pesquisa experimental. Para Raupp e Beuren (2008, p. 83), “os procedimentos da pesquisa científica referem-se à maneira pela qual se conduz o estudo e, portanto, se obtêm os dados”, incluindo nessa tipologia os estudos de caso, as pesquisas de levantamento ou survey, as pesquisas bibliográficas, documentais, participantes e experimentais.

Para Gil (2010, 48), a pesquisa experimental

Constitui o delineamento mais prestigiado, nos meios científicos. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo.

Assim, utilizou-se consulta a livros, dissertações, teses, artigos científicos, entre outros referenciais, objetivando reunir conhecimento acumulado sobre o tema e o problema, construindo-se o suporte para as experiências realizadas, assim como, para atingir os objetivos propostos.

c) Quanto à abordagem do problema:

No que se refere à abordagem do problema, esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa quanti/qualitativa, haja vista que uma complementa a outra e que dados quantificáveis podem ser submetidos a análises qualitativas. A pesquisa quantitativa é caracterizada pela utilização de instrumentos estatísticos, simples (percentuais, médios, desvios-padrões, etc.), ou mais complexos (análises de regressão, correlações, etc.), na coleta e no tratamento dos dados (RAUPP; BEUREN, 2008).

Por meio da abordagem qualitativa é possível analisar, com maior profundidade, os fenômenos estudados, podendo descrever a complexidade de determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar os processos dinâmicos vividos por grupos sociais, contribuir no processo de mudança de determinado grupo e possibilitar, em maior nível de profundidade, o entendimento das particularidades do comportamento dos indivíduos (RICHARDSON, 1999).

A análise quantitativa empregada na pesquisa, ocorreu devido ao desenvolvimento e validação de circuitos e testes em campo nas aquisições dos dados, os componentes empregados nos ensaios foram escolhidos por sua

especificação técnica para atender ao projeto, avaliando o desempenho de cada um por métodos matemáticos e simulações incluindo funcionalidade e análise estatística do desempenho. No Quadro 2 está sendo apresentado os principais produtos do mercado que empregam as melhores tecnologias para fins específicos, mas não as unem para tirar o melhor proveito.

Quadro 2 - Comparativo das tecnologias dos medidores comerciais

modelo/ fabricante	Descrição	Vantagens
Protótipo de medidor de água por rede GSM (Valim)	Velocimétricos, PFV 6V, GSM, análise e processamento de dados, erro sem especificação	Aplicação solar e medição remota.
medidor e controlador DIGITEM	Velocimétrico, 12V, IHM, controle (on/off), medição fluxo e temperatura, custo de R\$ 600,00 e erro de 3%.	Atende NR12, NR10, ABNT NBR5410, corte de fluxo
smwa - ie tecnologia	Velocimétrico, alimentação 90-250Vca, wi-fi, usado para medição, custo de R\$ 500,00 e erro de 4%	Medição por Wi-fi
smla - ie tecnologia	Velocimétrico, alimentação 3 pilhas, Lora-Wan, apenas medir, 400,00 e erro de 4%	Sistema de comunicação Lora -Wan
unijato - hidrometer	Velocimétrico, alimentação ac 100-240Vca, apenas medir em m ³ , preço sob consulta, não informado o erro	Velocimétrico, medição em m ³
k24 - enge	Velocimétrico – hélice, alimentação 3 pilhas, IHM, apenas medição l/h, preço sob consulta	Alimentação por pilhas, atender as normas de segurança aplicáveis
metam sob encomenda - parceria IE	Velocimétrico, dados na nuvem, medição e processamento de informação, preço sob consulta e erro não informado.	Dados na nuvem
Módulo Eletrônico de Vazão TMV - módulo de vazão	sensor extra, IHM, medição apenas, preço sob consulta.	Apenas mede com HM
k241 - medidor	Turbina, IHM, medição IHM< medir, preço sob consulta.	Medição <i>in loco</i>
TS-S300E - Metalworking	Mechanical Rotary, analógico, IHM, medição, custo R\$ 250,00	Medição <i>in loco</i> e baixo custo

Fonte: Autoria própria (2024)

Diante do exposto no quadro acima, o propósito será alinhado ao desenvolvimento de um medidor aplicando, energia solar, hídrica, sensoramento de violação de segurança e posição, inserção de baterias para o sistema de controle, aplicação de energia elétrica como redundância, tratamento de sinais de forma digital, gerenciamento do dispositivo por banco de dados e remotamente. A análise acima foi crucial para escolher as melhores tecnologias para a criação de um.

6 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para gerenciamento do projeto proposto, foram aplicados os conceitos das mais variadas formas de energias renováveis, como solar, hídrica, baterias e elétrica. Contudo, como há uma grande gama de energias, o processo requer um controle mais elaborado de forma a garantir o bom funcionamento do conjunto em qualquer situação de operação e condições cotidianas aplicáveis em todo o território nacional.

O controle dos transistores MOSFET's será diretamente com o Arduino, tendo em vista a boa resposta de corrente em função da tensão de operação e também a baixa influência térmica.

6.1 CIRCUITO ELETRÔNICO

Dentre as formas para aumentar a eficiência do controle, está sendo aplicado o comando com a máxima tensão de acionamento possível para cada comando de Gate dos MOSFET's, essa tensão máxima pode ser aplicada de três formas, sendo uma delas com resistor de *pull-up* direto no *Gate* o que pode trazer ruídos ao controle. Outra forma mais acessível e simples é com comando a base de transistor de junção bipolar, com essa técnica se reduz os custos, fica mais segura a aplicação, evita-se disparos acidentais por ruídos e, por fim, usar um amplificador operacional como comparador e casador de impedância se ele alimentado com a máxima tensão do circuito.

Com base nas normas técnicas vigentes para eletricidade em baixa tensão (ABNT NBR5410) e para adequação das normas de segurança ao usuário por tipo de produto e aplicação, (NR12) que se aplicam exclusivamente ao hidrômetro inteligente e que deverão ser cumpridas em função da aplicação de energias renováveis aos circuitos eletrônicos.

Uma análise de desempenho dos semicondutores de potência é o fluxo térmico para tirar o melhor proveito para a aplicação de controle das fontes de energia solar, hídrica e controle de baterias propostas seguindo um fluxograma, tendo em vista as tensões diferentes existentes na aplicação e o controle por 5 Vcc na polarização, sendo que no mercado existem milhares de componentes com diferentes níveis de operação e eficiências distintas por região de operação, os componentes foram

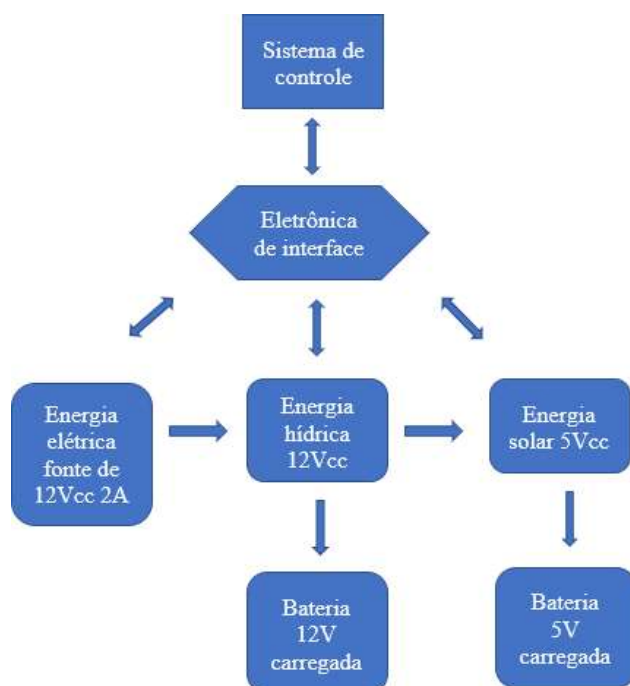
escolhido por configurações dos critérios técnicos no site do maior distribuidor mundial de semicondutores, por meio de inserção de filtros na pesquisa.

No desenvolvimento do projeto foi necessário rever a literatura sobre as possibilidades de controle e gerenciamento de energias propostas que se aplicam em sistemas de medição de água com controle eletrônico. Também testar os circuitos, fazer pesquisas sobre a implantação e controle dessa energia no dispositivo, sendo necessário seguir uma lógica funcional por circuito e bloco, analisando o impacto de um sobre o outro na aplicação. Sendo baseada em água circulando como prioritária a geração, por isso a geração é realizada em 12Vcc, em seguida a geração solar que alimenta o sistema eletrônico de controle e gerenciamento com 3,3Vcc e, por fim, a aplicação e eletricidade na alimentação e carregamento dos bancos de baterias, conforme proposto na Figura 24.

Todo o sistema de controle e gerenciamento está interligado, sendo gerenciável por prioridade de níveis de tensão disponíveis nas baterias, por isso, a importância de fazer o monitoramento do sistema de energia a cada minuto.

O sistema a ser validado é o controle por sequência lógica e prioritária, em seguida a tensão em cada bateria, a existência de água circulando na tubulação, em seguida a existência de sol, e por fim ligar a tensão da rede se algum nível crítico for atingido em alguma bateria.

Figura 24 - Fluxograma de funcionamento do projeto proposto



Fonte: Autoria própria (2024)

6.2 ANÁLISE TÉRMICA DO SISTEMA ELETRÔNICO DE POTÊNCIA

Diante do desenvolvimento do fluxograma de controle, se faz necessário a análise do circuito eletrônico a ser implementado, sendo necessário uma otimização deste, com a escolha dos semicondutores mais adequados, para integrar o controle microprocessado com as fontes de energias disponíveis e mais as baterias com controle de carga.

Como chave, para acionar as cargas será necessário um transistor MOSFET (transistor de efeito de campo), considerando que trabalham com tensões maiores e maior capacidade de corrente, além de sua polarização exigir baixo consumo de energia. Outra vantagem é que no mercado existem milhares de possibilidades de escolha dos componentes que mais se adequam as condições do projeto e o baixo custo. Em breve análise, o componente mais indicado para o acionamento foi o IRF640, por trabalhar com alta eficiência com valor de tensão de polarização baixo quando comparado a outros similares. O componente possui os seguintes terminais: G = Gate (gatilho, serve para ligar ou desligar o componente), D = Dreno (usado para conectar a carga, sendo ela o circuito ou a bateria), S = Source, terminal que será conectado a fonte de energia, dependendo do tipo de transistor vai no Vcc ou no GND (Vcc polo positivo da fonte de alimentação e GND a referência ou ground).

Para aplicar o MOSFET de forma otimizada é necessário saber alguns conceitos aplicados conforme:

$$P = V \times I$$

$$\Delta T_h = V \times I \times R_{th}$$

$$T_k = T_j - \Delta T_h$$

$$T_j - P \times (R_{thjc} + R_{thck}) - T_k = 0, \text{ substituindo a equação,}$$

$$T_k = T_j - P \times (R_{thjc} + R_{thck})$$

Onde:

P: Potência, energia dissipada na carga ou no ciclo térmico (W);

I: Corrente consumida no circuito (A);

V: tensão elétrica entre os terminais Dreno e Source para análise (V);

ΔT_h : Variação da temperatura que está gerada no circuito (°C);

R_{th} : Resistência térmica do circuito (K/W);

T_j : Temperatura máxima da junção, conforme manual do componente (°C);

R_{thJC} : Resistência térmica entre junção e encapsulamento (K/W);

R_{ThCK} : Resistência térmica entre encapsulamento e dissipador (K/W);

T_k : Temperatura máxima que o dissipador pode atingir sem queimar o componente ($^{\circ}\text{C}$);

$^{\circ}\text{C}_{amb}$: temperatura ambiente, conforme padrão IEEE é 25°C ;

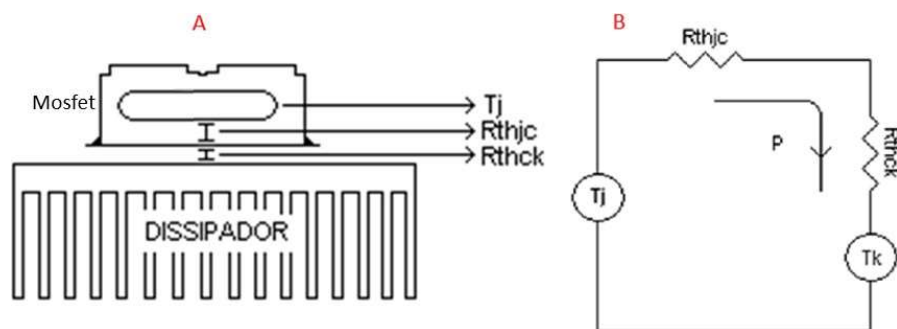
V_{GS} : tensão aplicada para polarizar o circuito;

V_{DS} : tensão entre Dreno e Source.

Para acionar o transistor é necessário aplicar a tensão de controle no Gate, sendo identificado como V_{GS} , já a tensão entre os terminais de Dreno e Source é chamado de V_{DS} , T_J é a temperatura de junção (canal formado entre DS quando o transistor está conduzindo), este valor é o máximo que pode atingir no componente. Já a resistência térmica entre a junção e o encapsulamento é R_{ThJC} , e a resistência térmica do encapsulamento ao dissipador de calor é R_{ThCK} , outro fator para ser levado em consideração no dimensionamento dos circuitos é a máxima corrente elétrica que vai circular.

O fluxo térmico do circuito é mostrado na Figura 25 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** em A, ilustra como ocorre esse fenômeno térmico e em B como modelar o ciclo térmico em forma de circuito elétrico facilitando assim a análise e cálculos utilizando o manual do componente (*datasheet*) em função da aplicação.

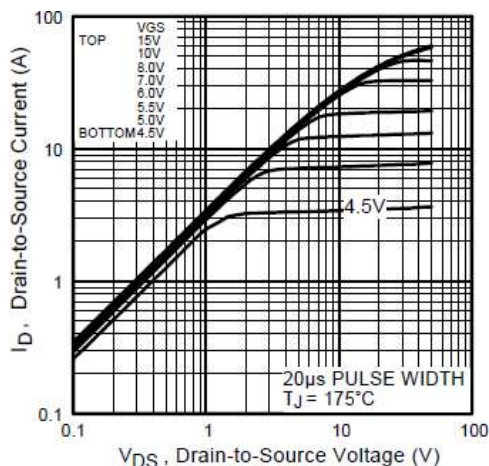
Figura 25 - Ciclo térmico do transistor MOSFET



Fonte: autoria própria (2024)

No atendimento das demandas do projeto, a escolha foi do MOSFET IRF640N, por ter excelente desempenho mesmo com tensão baixa de polarização e com correntes mais elevadas se necessário. As características para a análise térmica deste componente podem ser vistas na Figura 26.

Figura 26 - Características de polarização do MOSFET



Fonte: Alldatasheet.com, 2023

Diante dos valores levantados acima e das tensões disponíveis do circuito de controle, os valores teóricos para a máxima temperatura que pode atingir no dissipador do componente, para o pior cenário, é de 143,5°C visto na Figura 27, pois há um maior fluxo de corrente com menor tensão de polarização. Estes dados levantados são usando temperatura padrão de projeto do transistor a 25°C. Se o componente for utilizado em temperaturas acima disso é uma subtração direta da diferença da temperatura aplicada em relação ao padrão do *datasheet*. Com essa corrente, é desnecessário aplicar dissipador, pois, a temperatura da junção é idêntica à temperatura máxima se aplicado dissipador, caso houvesse necessidade, uma técnica simples é usar a própria estrutura da placa como a massa de cobre superficial aplicada na fabricação da placa para absorver o calor gerado.

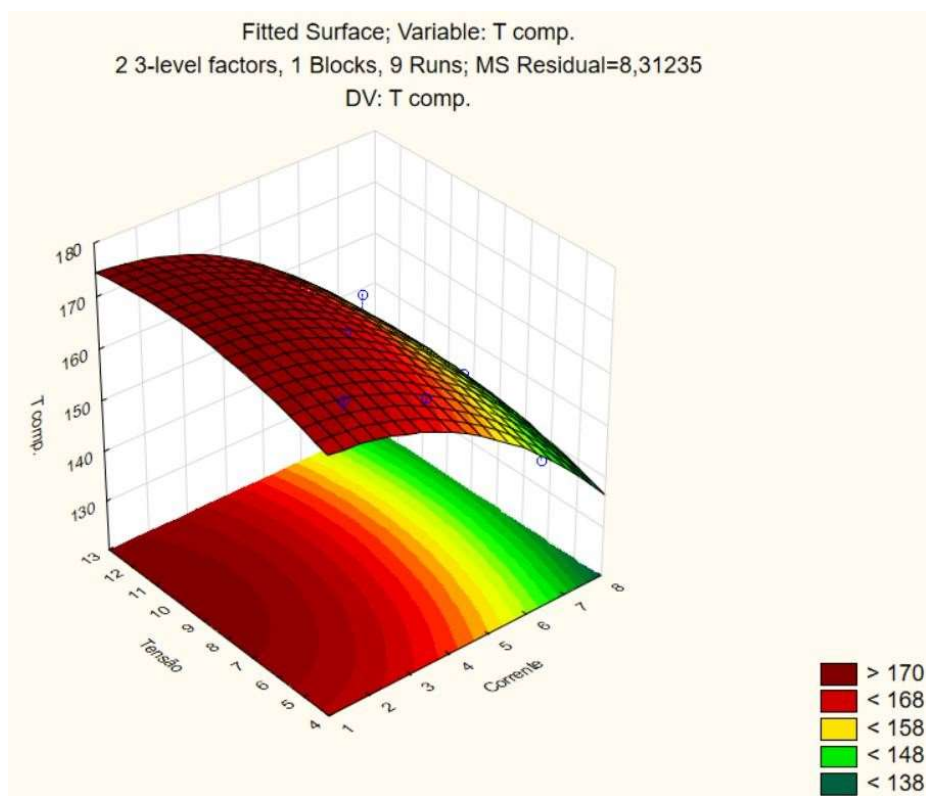
Figura 27 - Cálculo térmico em função das tensões de polarização

Corrente	Tensão V_{DS}	Tensão V_{GS}	Max. T componente (°C)	RThJC	RThCK	TJ
2	0,8	5	172,60	1	0,5	175
4	1,5	5	166,00	1	0,5	175
7	3,0	5	143,50	1	0,5	175
2	0,5	8	173,50	1	0,5	175
4	1,03	8	167,82	1	0,5	175
7	2,3	8	150,85	1	0,5	175
2	0,75	12	172,75	1	0,5	175
4	1,3	12	167,20	1	0,5	175
7	2	12	154,00	1	0,5	175

Fonte: autoria própria (2024)

Como resultado dos dados anteriores é possível fazer a análise tridimensional com um gráfico de superfície demonstrado na Figura 28, na qual se tem visibilidade da projeção do calor de forma mais clara com os dados do projeto. Os dados foram obtidos de um software estatístico, com isso é possível uma melhor exploração do projeto da massa térmica para que os componentes não queimem por sobre temperatura, foram considerados as piores condições de operação para o desempenho dos semicondutores. Com esta análise é possível verificar que o circuito operando nas mais complicadas temperaturas de polarização, maior energia liberada e maior temperatura ambiente não afetarão o funcionamento do circuito e o mesmo não necessitará de trocador de calor.

Figura 28 - Gráfico de superfície do comportamento térmico

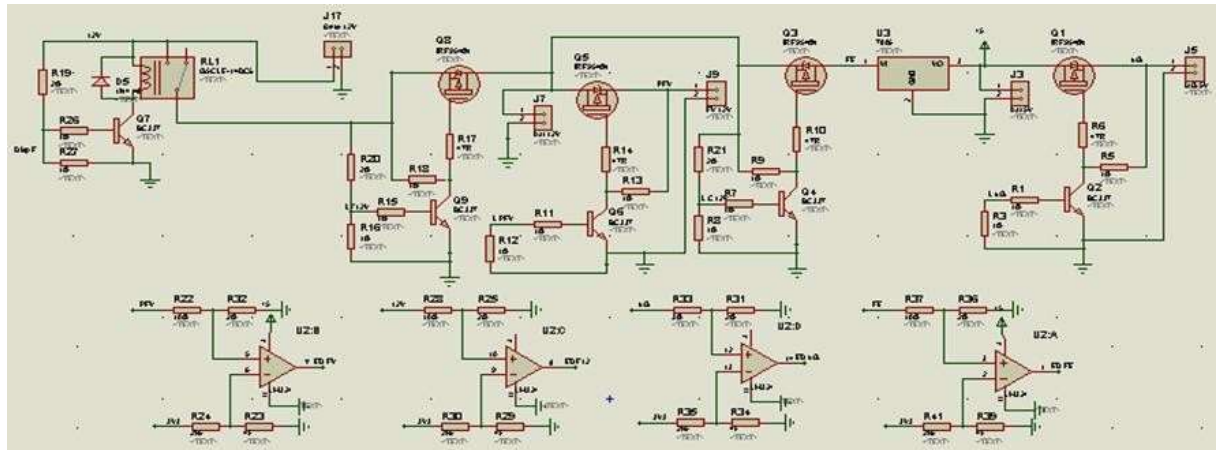


Fonte: autoria própria (2024)

O amplificador operacional deve possuir a possibilidade de alimentação com fonte Vcc e GND, não necessitando de fonte simétrica (tensão positiva, 0 volts e tensão negativa), e este deve ser de baixo custo e fácil compra no mercado.

Para que o circuito funcione de forma adequada, caso as baterias não tenham energia suficiente pelo circuito de monitoramento e controle, em estágio inicial foi desenvolvido um circuito que faz o acionamento da energia elétrica da residência até que as baterias estejam carregadas ou outra fonte de energia esteja carregando as

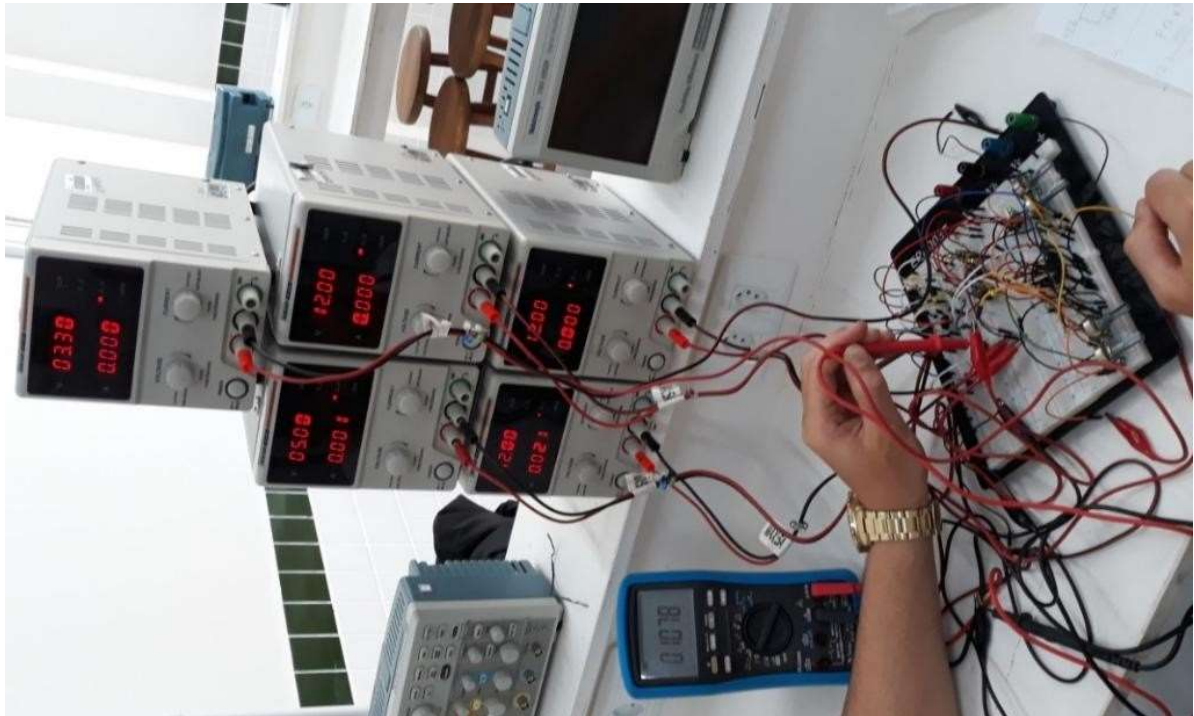
mesmas. O circuito é inteligente, capaz de monitorar e carregar as baterias conforme as energias estão disponíveis por meio de gerenciamento por *software* e controle analógico do sistema, atuando como interface destes. O circuito desenvolvido e validado está exibido na Figura 29. Até chegar na concepção ideal de operação, foram desenvolvidas 5 versões de circuito eletrônico, evitando interferência de um no outro. Figura 29 - Circuito eletrônico de potência e interface analógica



Fonte: autoria própria (2024)

Para a validação da funcionalidade dos circuitos eletrônicos de gerenciamento e controle foram utilizadas 5 fontes de bancada com tensões disponíveis em cada um dos estágios previstos, e tendo por objetivo a liberação de energia conforme interesse. Para esta validação, foram necessárias fontes, *protobard* ou matriz de contato, MOSFET's, amplificadores operacionais conforme ajuste de aplicação. Definidos os valores comerciais dos resistores que mesmo com a tolerância da variação da resistência atenda o projeto, reduzindo os custos operacionais por não necessitar de calibração, o controle de acionamento por bloco ou blocos foram realizados de forma manual, porém com mesmo nível de tensão disponível no sistema de controle digital. Como plataforma de controle digital no projeto foi utilizado o Arduino Mega por possuir a possibilidade de inserção dos Shield e número de portas necessárias com baixo custo, os ensaios realizados estão ilustrados na Figura 30.

Figura 30 - Testes de validação do circuito de potência e controle



Fonte: autoria própria e bolsista do projeto, 2024

6.3 ENSAIOS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os ensaios de energia solar foram organizados de forma a atender as condições climáticas adversas que ocorrem durante o ano e nas mais variadas posições de geração de energia. Prevendo as possibilidades de cada hidrômetro, como por exemplo posições norte, sul, leste e oeste e também a melhor posição para geração para o dia em específico do ensaio, mais de 70 ensaios foram realizados para um único dia.

Os ensaios foram realizados com os painéis encostados nas paredes da edificação, esta edificação possui em torno de 4 metros de altura, os painéis foram testados próximos da borda para outro local, sendo usado a distância desta borda em 1,5 metros. Foi mantido esta distância para facilitar a medição no teste seguinte, como haviam 2 kits idênticos instalados, as medições eram facilitadas no deslocamento do material para a próxima posição conforme exibido na Figura 31.

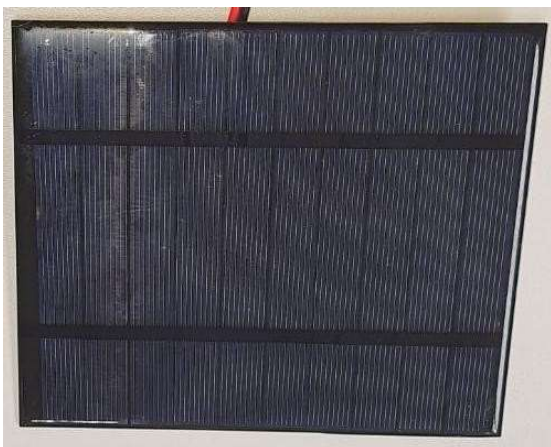
Figura 31 - Posições de fixação dos painéis durante os ensaios



Fonte: Autoria própria (2024)

O Mini Painel Solar a ser aplicado no projeto possui as seguintes especificações técnicas: 5Vp (volts de pico) 500mA_p (mili Ampére de pico); Potência: 2.5W; Dimensões comprimento, Largura e espessura (CxLxE): 130x150x3mm; Peso: 85g. Conforme ilustrado na Figura 32, o painel foi escolhido por ser pequeno, gera boa quantidade de energia, pode ser fixado no painel do padrão de entrada de água, e grande robustez.

Figura 32 -mini painel fotovoltaico a ser empregado no projeto



Fonte: Autoria própria (2024)

As placas foram posicionadas a 85° de inclinação, por conta de que algumas caixas de padrão de entrada de água são em policarbonato e possuem a tampa levemente inclinada e outros modelos acompanham a posição da parede de instalação, tanto para caixas em policarbonato ou em concreto com tampa metálica. A posição de ensaio e o instrumento utilizado podem ser vistos na imagem da Figura 33.

Em relação a energia solar existem algumas formas de captação, sendo elas: irradiada, incidida e refletida. A incidida é a energia que chega diretamente do sol na placa sem qualquer tipo de interferência no meio. Já a energia irradiada é aquela que há um meio no caminho que também contribui de alguma forma na geração, como uma nuvem que está na frente do sol, ao sair ela contribui com um pico de tensão na geração da energia. Por fim, a energia refletida é aquela que incide em algum objeto e este a reflete no painel e contribui para a geração de energia.

Figura 33 - Posicionamento do painel para ensaios



Fonte: Autoria própria

Para a geração de energia com melhor ângulo de inclinação, onde se tem maior geração solar é apontado para o norte com inclinação de 15° . Para tal concepção foram realizados vários testes de posicionamento com o alinhamento solar para a adoção desta posição. Na Figura 34 tem-se a melhor posição encontrada para os ensaios de maior eficiência energética no local dos ensaios.

Figura 34 - Posição para melhor geração de energia



Fonte: autoria própria (2024)

6.3.1 Geração de energia fotovoltaica em dia limpo

Partindo para a análise da geração de energia a ser aplicado no hidrômetro, o período de realização do ensaio foi com condições climáticas de tempo sem nuvens, ou seja, totalmente ensolarado. Este ensaio em específico foi realizado no dia 22/04/2024, cada ensaio foi programado conforme condição climática a ser analisada. Para esta data a geração média de pico foi de $3.585 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$. Na Figura 35 A estão demonstradas as condições da tensão gerada no dia em valor V_{RMS} e na Figura 35 B mostrando a condição climática do ensaio.

Figura 35 – A, B, Condições de melhor incidência solar do dia ensolarado



Fonte: autoria própria (2024)

Os ensaios durante o dia foram realizados em momentos aleatórios, buscando o registro da melhor geração. Como sugestão, o ideal é realizar a instalação do painel fotovoltaico na parte superior do muro, com isso ficaria garantido a melhor condição de geração de energia. A Tabela 2, foi organizada com a data do experimento, condição e posição solar, com seguimento solar, hora. Como legenda, V_P é a tensão de pico gerada e medida em Volt, V_{RMS} é a tensão útil com indicação em Volt, I_{RMS} sendo a corrente real do circuito com a unidade em Amper, I_P a corrente de pico medida em Amper, P_{RMS} é a potência útil do circuito com medição em Watt/hora e por fim P_P é a potência de pico gerada em Watt/hora.

Tabela 2 - Melhor geração solar sem nuvens

dia ensolarado							
incidência solar							
posição: acompanhamento do sol							
inclinação: 15°norte							
data: 22/04/2024							
hora	Vp	VRMS	IRMS	Ip	Potência W	Potência de pico	% de geração
09:06	4,188901	2,962	0,2722	0,384949	0,806256	1,6125128	73,49876
09:34	4,644419	3,2841	0,3015	0,426385	0,990156	1,9803123	81,49132
10:03	5,065854	3,5821	0,3416	0,483095	1,223645	2,44729072	88,88586
10:29	5,221418	3,6921	0,3611	0,510673	1,333217	2,66643462	91,61538
11:00	5,352091	3,7845	0,37826	0,53494	1,431525	2,86304994	93,90819
11:43	5,56691	3,9364	0,39366	0,556719	1,549603	3,09920645	97,67742
12:07	5,699281	4,03	0,41	0,579828	1,6523	3,3046	100
13:10	4,906614	3,4695	0,34211	0,483817	1,186951	2,37390129	86,09181
13:36	5,534808	3,9137	0,39131	0,553396	1,53147	3,06293989	97,11414
14:11	5,497614	3,8874	0,38828	0,549111	1,5094	3,01879934	96,46154
14:50	5,12511	3,624	0,358	0,506288	1,297392	2,594784	89,92556
15:51	2,051882	1,4509	0,14531	0,205499	0,21083	0,42166056	36,00248
16:40	1,711764	1,2104	0,1203	0,17013	0,145611	0,29122224	30,03474

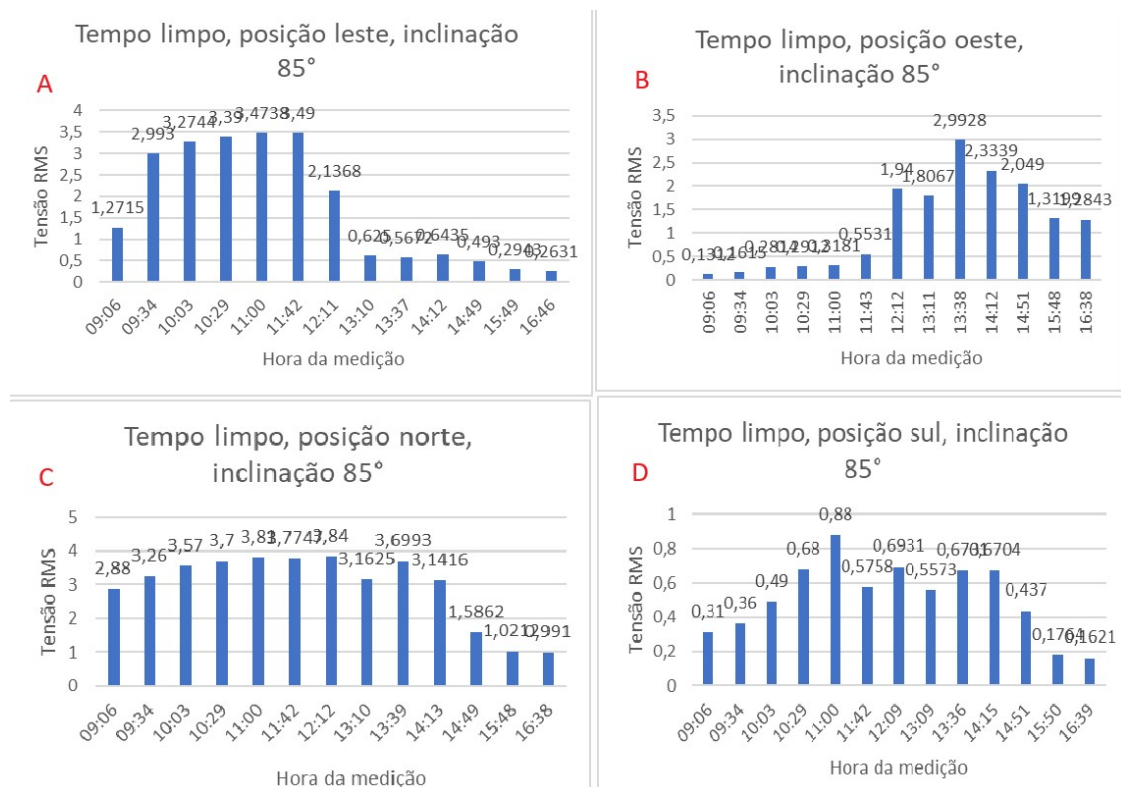
Fonte: autoria própria

Como a instalação dos hidrômetros é realizada na parede dos muros, os ensaios foram realizados nas mesmas condições reais de instalação, sendo realizados numa edificação, considerando cada ensaio numa parede, respeitando as posições leste, oeste, norte e sul com inclinação de 85°.

A Figura 36 têm-se os ensaios executados nas quatro direções, em A os ensaios foram na posição leste, com máxima geração em 3,49 V_{RMS} , foi perceptível que no período da manhã os resultados foram melhores por conta da incidência solar

no painel. Já em B os resultados obtidos são melhores no período da tarde, tendo em vista que a edificação possui uma altura de 5 metros com parede verde claro, o que reflete pouca energia solar. Em C a posição é mais favorável durante o dia todo, tendo em vista que sempre terá parte de energia incidente. Já em D, a posição é sul, o que mostra ser de baixa geração diária, chegando a gerar menos de 1/3 da geração norte e inferior a 20% da melhor geração do dia. Os ensaios foram realizados em sequência, por isso da proximidade de horário das tabelas.

Figura 36 - A,B,C,D, Geração solar em condições real dia ensolarado

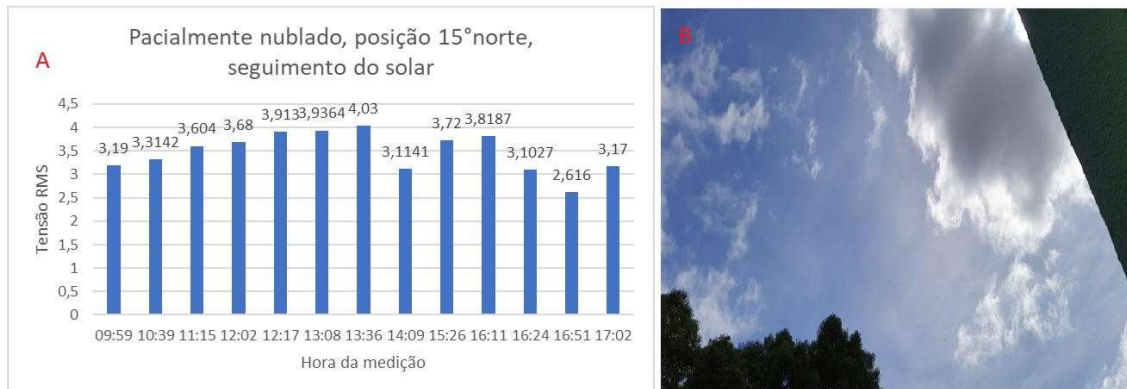


Fonte: autoria própria (2024)

6.3.2 Geração de energia fotovoltaica em dia parcialmente nublado

Quando os ensaios são realizados em dia parcialmente nublado, no caso dia 12/02/2024, a geração média de pico é de 4.945Wh/m²*dia. Como ponto principal a realização da medição é realizada em primeiro momento com a melhor condição e em seguida as condições de instalação nas edificações. Os ensaios realizados para o dia são exibidos na Figura 37.

Figura 37 – A, B, Geração melhor incidência dia parcialmente nublado



Fonte: autoria própria

Para uma melhor análise da geração deste dia, se faz necessário uma análise detalhada da geração conforme Tabela 3. Um fato que foi observado é que no momento em que uma nuvem se desloca e, com o aparecimento do sol, ocorre um pico de tensão mais elevado.

Tabela 3 - geração dia parcialmente nublado com melhor geração

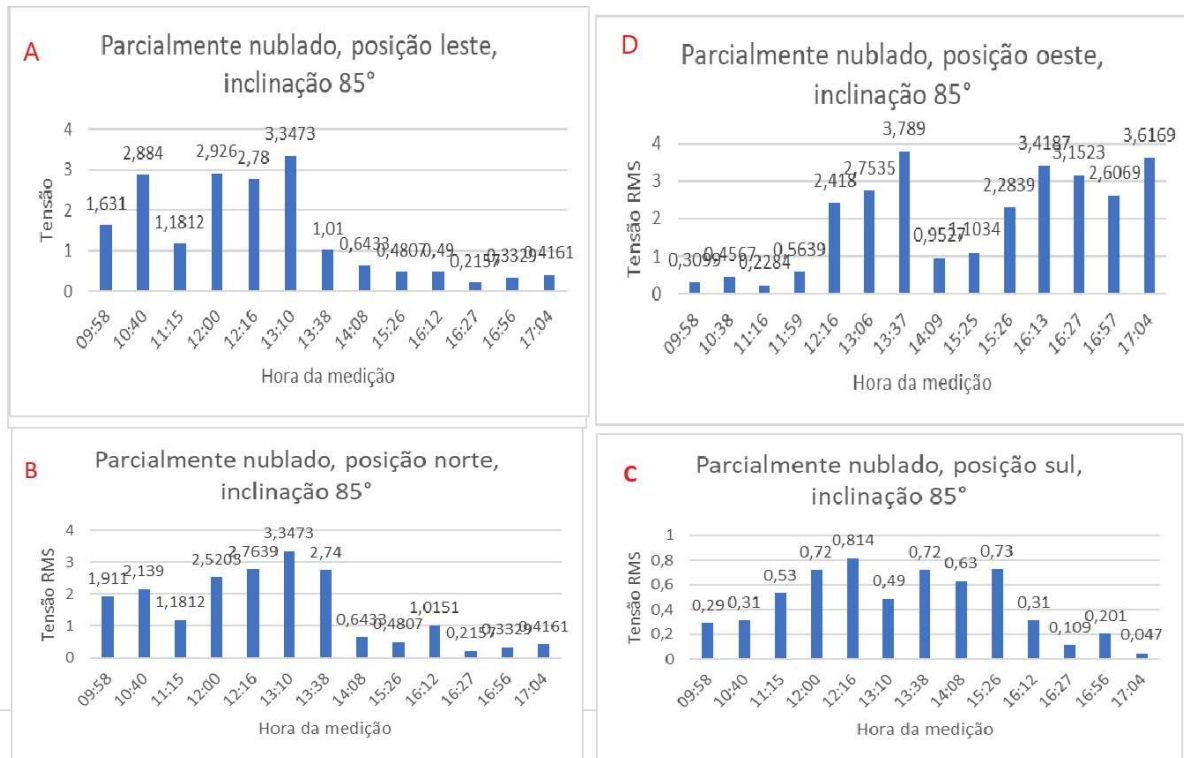
Dia parcialmente nublado							
Incidência solar com nuvens aleatórias							
Posição: acompanhamento do sol							
Inclinação: 15°norte							
data: 12/02/2024							
hora	Vp	VRMS	IRMS	Ip	Potência W	Potência de pico	% de geração
09:59	4,511341	3,19	0,318	0,44972	1,01442	2,02884	79,15633
10:39	4,686987	3,3142	0,35	0,494975	1,15997	2,31994	82,23821
11:15	5,096826	3,604	0,3592	0,507986	1,294557	2,589114	89,42928
12:02	5,204306	3,68	0,3641	0,514915	1,339888	2,679776	91,31514
12:17	5,533818	3,913	0,3823	0,540654	1,49594	2,99188	97,09677
13:08	5,56691	3,9364	0,3883	0,549139	1,528504	3,057008	97,67742
13:36	5,699281	4,03	0,419	0,592555	1,68857	3,37714	100
14:09	4,404002	3,1141	0,3211	0,454104	0,999938	1,999875	77,27295
15:26	5,260874	3,72	0,3613	0,510955	1,344036	2,688072	92,30769
16:11	5,400457	3,8187	0,3679	0,520289	1,4049	2,809799	94,75682
16:24	4,38788	3,1027	0,3099	0,438265	0,961527	1,923053	76,99007
16:51	3,699583	2,616	0,259	0,366281	0,677544	1,355088	64,91315
17:02	4,483057	3,17	0,302	0,427092	0,95734	1,91468	78,66005

Fonte: autoria própria (2024)

Para as demais posições de inserção da placa solar na condição de tempo parcialmente coberto por nuvens. Os resultados estão apresentados na Figura 38. Pode-se observar que em A, se tem a captação da energia solar na posição leste, a

geração foi mais eficiente no período matutino. Já para a posição oeste em D a melhor geração foi no período vespertino, com variação da geração em função da cobertura parcial por nuvens. Já em B as aquisições na posição norte as variações das nuvens impactaram na geração, e em C posição sul, a geração de energia é baixa, o que torna inviável a aplicação do painel nesta posição.

Figura 38 – A, B, C, D, Geração de energia parcialmente nublado para fixação no hidrômetro



Fonte: autoria própria (2024)

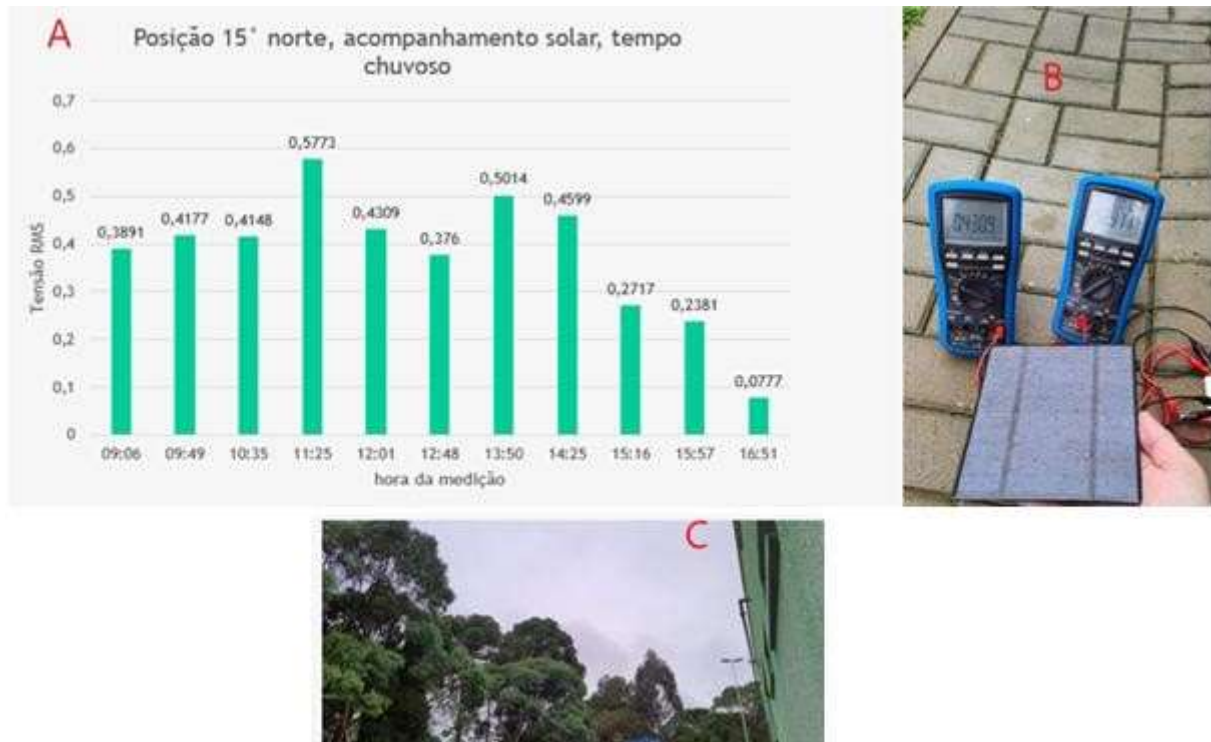
6.3.3 Geração de energia fotovoltaica em dia de chuva

Uma das condições climáticas em que a geração é comprometida é em dia de chuva, por estar com nuvens condensadas e sem abertura solar, a quantidade de raios ultravioleta que consegue passar pelas nuvens é muito baixa quando comparado a um dia com incidência solar direta. Mesmo que haja o efeito de energia irradiada a condição gera um valor em torno de apenas 20% quando comparado a um dia ensolarado.

Observando a Figura 39, em A está a planilha com a geração de energia diária na qual foi buscado a melhor posição de geração para o momento em alguns intervalos do dia, a densidade das nuvens diminuía. Em B, está sendo mostrado como

foi difícil fazer a aquisição dos dados, sempre buscado quando a chuva diminua sua intensidade. Em C, tem-se a exibição das nuvens onde se percebe a condensação e fechamento.

Figura 39 – A, B, C, Geração solar com chuva em máxima eficiência



Fonte: autoria própria (2024)

Com base nas condições climáticas é mostrado na Tabela 4, as condições dos ensaios com melhor eficiência para o dia chuvoso, os ensaios foram realizados durante o dia todo, o painel ficou na chuva e os instrumentos de medição cobertos, o dia foi escolhido com base na previsão climática para que as condições fossem mantidas o dia todo. A inclinação foi buscando uma melhor incidência solar e também localizando a melhor geração, os ensaios foram um pouco dificultados pela chuva, porém foi possível a coleta durante todo o dia. Os maiores cuidados foram com os instrumentos de medição e com a base de fixação do painel por serem instrumentos digitais e que necessitam de uma atenção ao serem manipulados nestas condições climáticas. As realizações dos ensaios foram no mês de abril de 2024, período do ano em que a geração é menor, a escolha do dia de realização foi com base em monitoramento da condição para o dia. Atualmente existem dados disponíveis para monitoramento *online* de gerações de energia, porém, para projetos nos quais há a especificidades da aplicação em sistemas de medição de água não foram encontradas literaturas que trouxessem tais informações.

Tabela 4 - Geração de energia em dia de chuva em máxima eficiência

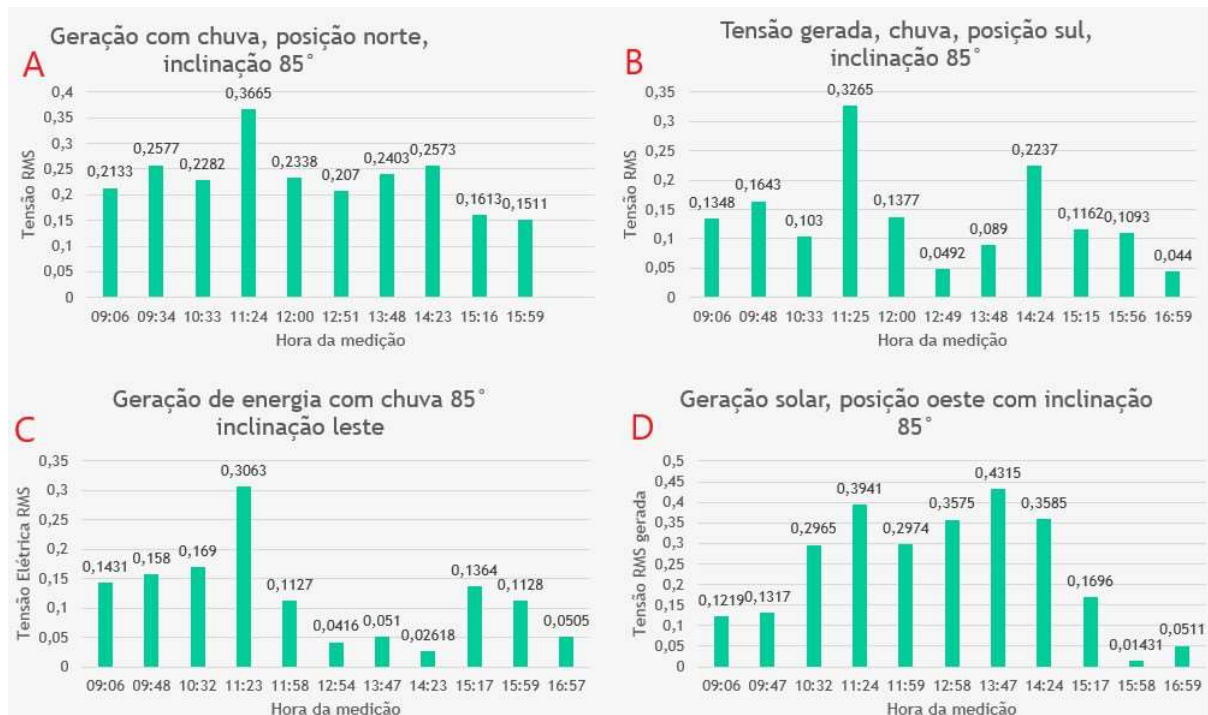
Dia chuvoso							
Incidência solar							
Posição: oeste							
Inclinação: 15° norte acompanhando movimento solar							
Data: 14/05/2024							
hora	Vp	VRMS	IRMS	Ip	Potência W	Potência de pico	% de geração
09:06	0,55027	0,3891	0,0393	0,055579	0,015292	0,030583	9,655087
09:49	0,590717	0,4177	0,0423	0,059821	0,017669	0,035337	10,36476
10:35	0,586616	0,4148	0,041514	0,05871	0,01722	0,03444	10,2928
11:25	0,816425	0,5773	0,05776	0,081685	0,033345	0,06669	14,32506
12:01	0,609385	0,4309	0,042911	0,060685	0,01849	0,036981	10,69231
12:48	0,531744	0,376	0,037179	0,052579	0,013979	0,027959	9,330025
13:50	0,709087	0,5014	0,050073	0,070814	0,025107	0,050213	12,44169
14:25	0,650397	0,4599	0,046157	0,065276	0,021228	0,042455	11,41191
15:16	0,384242	0,2717	0,027172	0,038427	0,007383	0,014765	6,741935
15:57	0,336724	0,2381	0,02402	0,033969	0,005719	0,011438	5,908189
16:51	0,109884	0,0777	0,007761	0,010976	0,000603	0,001206	1,92804

Fonte: autoria própria (2024)

Considerando a condição climática do dia em cada posição de geração de energia, a Figura 40 demonstra os resultados para cada posição aplicada. Sendo que em A refere-se na geração com a fixação na posição norte, justamente onde houve a maior geração dentre as outras posições. Na geração de B a posição sul se mostra ruim para qualquer período do dia. Em C, posição leste, os melhores resultados são para o período matutino, sendo que a geração é irrelevante e não valeria a pena a instalação nesta posição. Em D o painel está inclinado para o oeste, também houve uma geração razoável se comparado aos outros, porém, pouco em relação a um dia ensolarado.

Pelos dados mostrados acima, mais uma vez fica evidente que a melhor posição de geração é a instalação do painel com apontamento norte, levemente inclinado, e de preferência na parte superior do muro e não na tampa do medidor de água, mesmo que se tenha um custo adicional com cabos elétricos para alimentação do conjunto.

Figura 40 – A, B, C, D, Geração solar em dia de chuva posição de trabalho



Fonte: autoria própria (2024)

6.4 SENSOR DE FLUXO DE ÁGUA PARA MEDIDORES DIGITAIS

Para a medição do fluxo de água de forma digital é necessário um transdutor que consiga enviar de forma digital a vazão de água, esse transdutor consegue enviar a medição em forma de pulsos por litro. Cada pulso tem uma excursão de 0V ou 5Vcc, sendo que para cada litro de água são necessários 450 pulsos emitidos pelo transdutor, que são convertidos em litros por minuto (ELETROGATE, 2023).

Para a certeza da quantidade de pulsos, dois sensores foram levados ao SAMAE-SBS para fazer validação da vazão instantânea, onde foi confirmada a linearidade e precisão conforme dados do fabricante. O método de ensaio foi conectar 3 sensores em série comprovando a vazão em relação ao número de pulsos. O medidor pode ser visto na Figura 41, foram escolhidos medidores idênticos e com boa qualidade técnica, para reduzir os problemas da medição e também que fosse possível fazer a integração com a plataforma Arduino utilizada de forma direta.

Figura 41 - Sensor de fluxo de água



Fonte: Autoria própria (2024)

As especificações técnicas do sensor são: conexão roscável de $\frac{1}{2}$ "; vazão de água de 1 a 30 litros por minuto; a pressão máxima de 1,75MPa, o que aumenta sua gama de aplicações; Modelo: YF-S201; tensão de funcionamento: DC 4.5V ~ 18Vcc; corrente máxima de trabalho: 15mA (DC 5V); capacidade de corrente de saída do sinal ≤ 10 mA (DC 5V); temperatura de operação: ≤ 80 °C; temperatura do líquido: ≤ 120 °C; extensão do fio de alimentação ou saída de sinal 16cm; diâmetro do sensor: 36mm; dimensões totais comprimento, Largura e Altura (CxLxA): 63x35x36mm, peso: 51g.

6.4.1 Geração de energia hídrica com atenuação da turbulência no sensor

Outra possibilidade de alimentação do hidrômetro é a geração de energia a partir do fluxo da água que circula no hidrômetro, pois, essa energia pode ser suficiente para a alimentação do mesmo, tornando-se autossuficiente se aplicado uma boa técnica de controle e medição do fluxo de água. Alguns cuidados precisam ser tomados em relação a turbulência do fluxo de água, pois, isso pode gerar erros no medidor. Na 6 meses de ensaios, sendo variadas as posições, a inserção de atenuador de turbulência, sendo que os procedimentos adotados aqui são segredos tecnológicos e que podem gerar novo depósito de patente em novo dispositivo. A tensão gerada no hidrogerador foi a vazio, e está dentro das observações do fabricante.

Figura 42, está uma amostra da aplicação de energia hídrica movimentando uma turbina elétrica que pode ser usada na alimentação do medidor de água. Para a

realização desta medição é aplicado o uso de um osciloscópio que serve para medir a resposta do sensor e ao mesmo tempo a energia gerada pelo hidrogerador. A fonte de alimentação serve para uma alimentação direta do sensor, tendo em vista que este necessita de uma tensão regulada e na validação não foi utilizada a placa do circuito de conversão e controle de energia. Para os resultados dos ensaios foram necessários mais de 6 meses de ensaios, sendo variadas as posições, a inserção de atenuador de turbulência, sendo que os procedimentos adotados aqui são segredos tecnológicos e que podem gerar novo depósito de patente em novo dispositivo. A tensão gerada no hidrogerador foi a vazio, e está dentro das observações do fabricante.

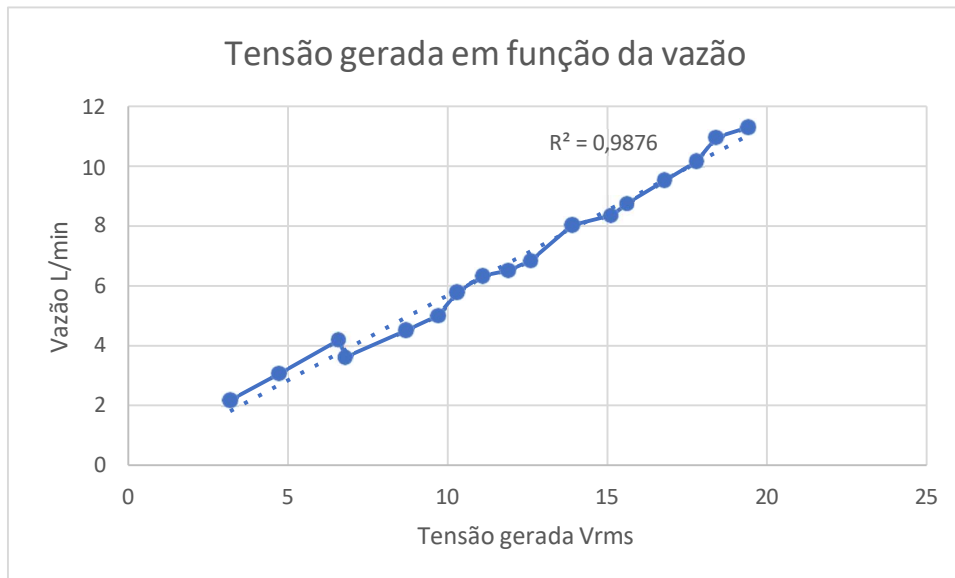
Figura 42 - Medição do fluxo de água com inserção do sensor com sistema turbulento



Fonte: Autoria própria (2024)

Com esta forma de medição, o erro pela turbulência se comparado ao melhor arranjo, pode chegar a 1,15%, que se representado em valores é muito significativo no montante, a linearidade da resposta do sensor é vista na Figura 43, na qual é observada oscilações na medição do fluxo de água.

Figura 43 - Resposta do sensor de fluxo de água



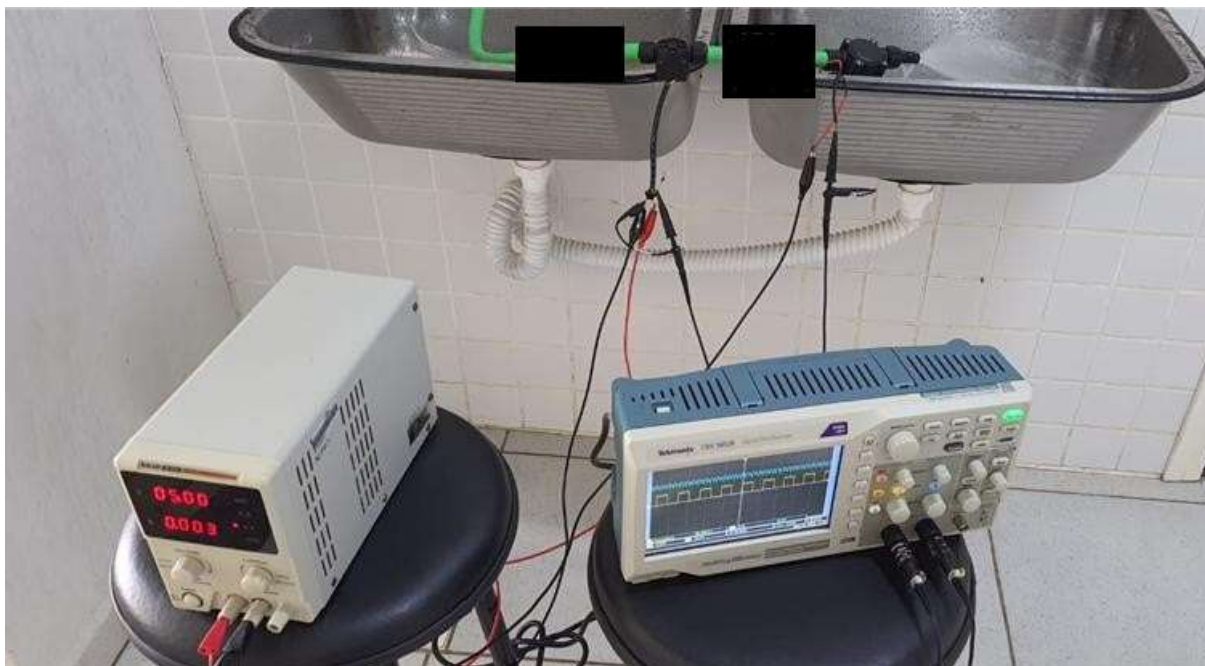
Fonte: Autoria própria (2024)

6.4.2 Geração de energia hídrica com interferência da turbulência no sensor

Conforme análise da Figura 5, o ideal é fazer um projeto onde os erros de medição são reduzidos, com a inserção de uma hélice ou uma palheta do medidor de fluxo de água no sistema, isso gera um aumento da turbulência do sistema todo, com uma boa técnica de projeto isso pode ser atenuado e uma linearidade do sensor pode ser melhorada, os detalhes dos ensaios estão sem revelação por serem de segredo industrial. Os ajustes realizados neste conjunto melhoraram de forma efetiva a medição de água com a redução do erro de medição, o ideal é um erro nulo, ou seja, um sensor 100% eficiente, mas isso é impossível por vários fatores, sendo turbulência e posição de instalação.

A turbulência foi jogada para frente, e os pontos ajustados estão atenuados na imagem, por se tratar de futuro produto comercial. Na liberação da água no tanque na Figura 44, é possível observar como o fluxo de água se comporta com a inserção de dispositivos na tubulação, por isso, o sistema precisa estar bem ajustado.

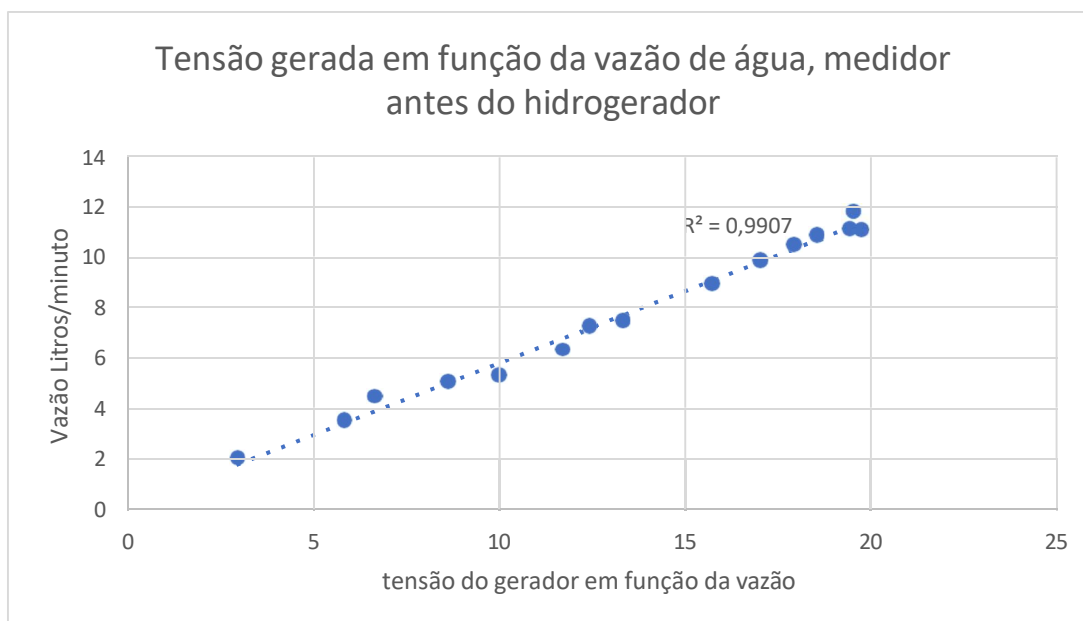
Figura 44 - Melhor forma de medir o fluxo de água com redução da turbulência



Fonte: Autoria própria (2024)

Como observado anteriormente a saída da água sem interferência se dá de forma turbulenta. Já na Figura 45 está uma medição com essa interferência atenuada, mostrando assim que é possível instalar turbinas de microgeração nos sistemas de medição de água.

Figura 45 - Resposta do sensor de fluxo de água



Fonte: Autoria própria (2024)

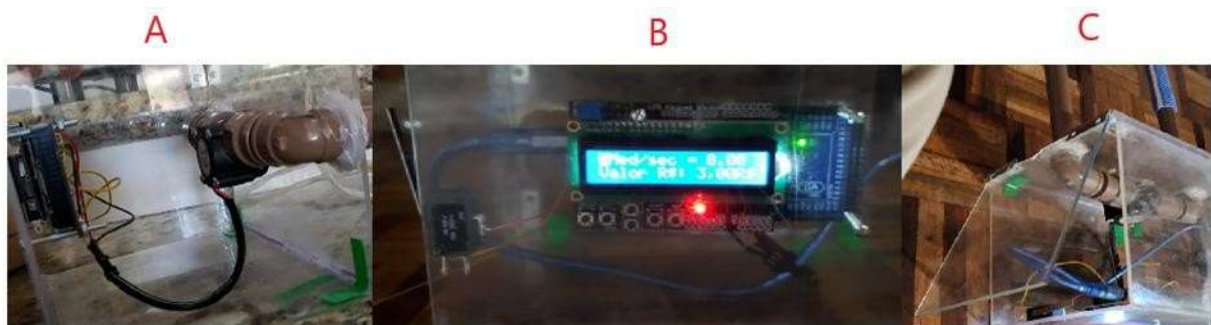
6.5 PROTÓTIPO DESENVOLVIDO PARA TESTES DO CONJUNTO

Diante das possibilidades de aplicações de energias limpas em sistemas de medição e água, foi desenvolvido um kit para integrar as tecnologias citadas anteriormente, mostrando assim que é possível aplicar de forma integrada várias fontes de energia em sistemas de medição de água, tornando-o inteligente e autossustentável.

Muitas outras etapas aqui desenvolvidas estão em segredo de desenvolvimento, pois, a placa de PCB com ajustes, sistema de corte, sistema de violação estão mantidos em segredo para evitar que o produto seja reproduzido sem o pagamento de royalties, um depósito de patente já foi gerado sobre o projeto e outros novos podem ser realizados devido aos avanços no estudo dos detalhes técnicos.

Na Figura 46, é exibido um protótipo inicial para validação de algumas etapas do projeto, como inserção de energias renováveis, métodos de medição de forma remota, além dos sistemas antiviolação de *hardware* e possibilidade de corte remoto. Sendo em A uma vista lateral do espaço interno, em B a interface *home* máquina (IHM) e em C um dos dispositivos antiviolação do *hardware* ou do cavalete, indicando o nível de violação, sendo desenvolvido um sistema com 3 níveis.

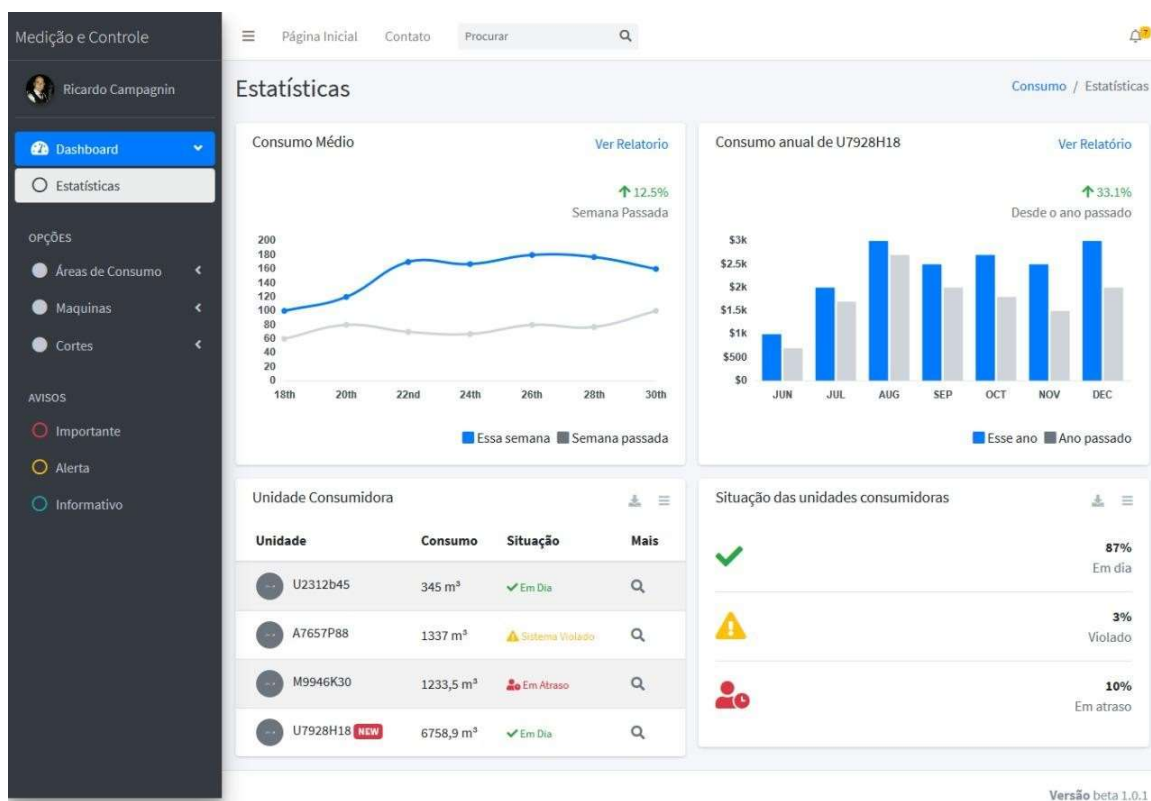
Figura 46 A, B, C – Protótipo para ensaios



Fonte: Autoria própria e equipe do projeto (2024)

Com interface na concessionária de abastecimento de água, permite os alertas e também a possibilidade de corte no abastecimento de água por algum motivo, sendo cancelamento da unidade consumidora, falta de pagamento ou violação do sistema. Na Figura 47 tem-se a possibilidade de observar como o projeto final pode facilitar no controle e medição do fluxo de água, além de aplicar as energias renováveis.

Figura 47 - Interface com o operador na concessionária de água



Fonte: Autoria própria e equipe do projeto (2024)

7 CONCLUSÕES

Considerando os objetivos traçados pode-se concluir que ao analisar os medidores analógicos e digitais atuais observou-se que para atender o estado da arte, ou seja, desenvolver um produto completo e com as melhores tecnologias aplicadas em um único produto, gerou um custo em torno de R\$ 500,00, o que representa problema para aplicação em escala comercial.

Em relação as melhores opções de tecnologias para aplicação em um novo medidor, espera-se que um novo produto seja desenvolvido com um custo inferior a R\$ 200,00 e bem atualizado em tecnologias, inclusive para monitoramento e controle remoto da medição.

A busca na base de dados de patentes, revelou um produto com menor quantidade de possibilidades que o desenvolvido, Anexo A, e a presente pesquisa gerou um depósito de patente, BR1020220054681. Ainda existem muitos pontos a serem melhorados para duas novas patentes com redução de custos e aplicação de novas tecnologias disponíveis, sendo o produto na mesma linha de pesquisa.

No que se refere a aplicação de energias solar e hídrica, podemos inferir que, mesmo para a região de São Bento do Sul, cujos dias ensolarados são mais restritos, os dados demonstraram que, com a instalação do painel apontando para norte, o que muitas vezes não pode ser garantido na instalação final, com leve inclinação, é viável a aplicação de energia fotovoltaica. Já em relação a utilização de energia hídrica, foi testado uma técnica de redução da turbulência no sensor de medição do fluxo de água, isso torna o sistema mais eficiente, como observado nos ensaios de geração de energia baseado no fluxo de água e a medição da vazão, o dispositivo funcionou, conforme desejava-se, portanto a melhor localização de instalação do painel e apontar para o norte seguindo a linha do Equador se possível, caso não seja melhor colocar na face superior do muro.

Considerando o desenvolvimento de interface eletrônica para integração das tecnologias, se destacam a evolução das tecnologias de comunicação como a LORA WAN, que permite a comunicação em rede Mesh e também o melhoramento nos protocolos e sistemas Zigbee que utilizam baixo consumo de energia em comunicação. Para o sistema de corte de água foi aplicado uma nova técnica que permite redução significativa no sistema de consumo de energia elétrica, deixando

assim a vida útil das baterias mais elevadas e a possibilidade de recarga da bateria mais rápida com maior durabilidade.

Os testes de validação do circuito eletrônico possibilitaram observar como o projeto final facilita o controle e medição do fluxo de água, além de aplicar as energias renováveis, deixando o produto mais robusto e eficiente.

O projeto mais completo, e que envolve muita tecnologia e segurança de dados além de *hardware* robusto e confiável requer uma equipe multidisciplinar e empenhada para resultados rápidos, pois, o mercado muda rapidamente e sempre é necessário reinventar-se a todo momento.

Também como possibilidade de produto é imprescindível que seja desenvolvido um produto minimamente viável (MVP) e que atenda às necessidades do mercado. Comercialmente existem muitos produtos para fins específicos, não aplicando praticamente o melhor da tecnologia ainda na medição inteligente e autônoma dos consumidores de água.

Atualmente o investimento por parte da concessionárias de água seria alto para a alteração de todas as unidades consumidoras.

O sistema brasileiro de dados está um pouco aquém do necessário para que possamos confiar plenamente na instalação de uma tecnologia na nuvem para gerenciar uma cidade ou bairros mais afastados dos centros, mas, como alguns tipos de Zigbee comerciais estão projetados para longo alcance e sistema mestre-escravo, o sistema está cada vez mais próximo de ocorrer, o que vai tornar possível a aplicabilidade das energias testadas no projeto de medidores de água.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, Luiz Antonio (Ed.). Enciclopédia de automática: controle e automação, volume I. São Paulo: Blücher, 2007.
- Alldatasheet, disponível em: <https://www.alldatasheet.com/>. Busca de dados dos circuitos integrados utilizados nos projetos. Acessos de 03/2023 a 04/04/2024.
- ALVES, J. Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe. Dissertação (Mestrado) Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP0_ff7214ad73b085d3812dd52cb356477 1 Acesso em 11/2024.
- ANDRADE, Maria Margarida de. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- APPOLINÁRIO, Fábio. **Dicionário de metodologia científica**: um guia para a produção do conhecimento científico. 2ed. Atlas. 2011. Editora: São Paulo, ISBN: 978-85-224-5482-2.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS–ABNT. NBR 5626: Instalações Prediais de Água Fria., 1998.
- _____. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2024.
- BAPTISTA, Octávio Glauco Soares; NASCIMENTO, Lucio Fabio Cassiano. Água potável: escassez e gestão do consumo em condomínios residenciais metropolitanos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.1, p.8384-8397jan.2022. Disponível em: ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/43564. Acessado em 18 abr 2024.
- BARROS, BenjamimFerreira de, BORELLI, Reinaldo; GEDRA Ricardo Luis. **Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica**. 1. ed. Editora: Érica, 2014.
- BASSANI, Fabiano. Avaliação das perdas de água no sistema pela substituição de hidrômetros velocimétricos por volumétricos. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2024.
- BONOW, Antônio Alice; IBAÑEZ, Gedson Bohrer; NETO, Túlio Pinto. **O Uso do Potencial Hidráulico Predial para Micro Geração de Energia Elétrica**. Artigo (Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014. 6p.
- BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**.11ed. Pearson Prentice Hall. 2013. Editora Pearson Universidades. ISBN-13978-8564574212.

BRAGA FILHO, Washington. **Fenômenos de transporte para engenharia**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BRASIL. LEI Nº 13.312, de 12 de Julho de 2016. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13312.htm. Acessado em 15 abr 2024.

_____. NR 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, 1978.

BROCKMAN; Jay. B. Introdução à engenharia: modelagem e solução de problemas. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier: 2013.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica para sistemas automáticos de produção**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2010.

CAMPOS, Agostinho Aurélio Garcia; ALVES, Elmo Salomão; SPEZIALI, Nivaldo Lúcio. **Física experimental básica na universidade**. 2. ed. rev. Minas Gerais: Ed. UFMG, 2011. 210 p.

CATHEY, Jimmie J. **Teoria e problema de dispositivos e circuitos eletrônicos**. 2. ed. il. São Paulo : Bookman, 2003. ISBN : 8536302526

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

_____. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>. Acesso em: 03 de out. 2015. Acesso: 05/2023

CERVO, Amando L.; BERVIAN, Pedro A.; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CIPELLI, Antonio Marco Vicari; SANDRINI, Waldir João; MARKUS, Otávio. Teoria do desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 23ed. Érica. 2014.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015 990 p.

DARTORA, Cesar A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, e20190191. 2020.

DATA SCIENCE ACADEMY. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. 22 mar 2018. Disponível em: <https://blog.dsacademy.com.br>. Acesso em: 15 dez. 2023.

DE MATTOS, Ágatha Carolina Hennigen. **Cidades Inteligentes**: Motivações e Desafios da Adoção de Medidores Inteligentes de Água. Artigo ITS Rio 2018, disponível em: https://itsrio.org/wp-content/uploads/2018/03/agatha_mattos-agua.pdf Acesso em: 15 mar. 2024

DIAS, Talita Flores; HENNING, Elisa; KALBUSCH, Andreza; PCZIECZEK, Adriane. Análise comparativa entre sistemas de medição coletiva e individual no consumo de água em edifícios residenciais. **XVII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: efaidnbnmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/32_Download/TrabalhosCompletoPDF/IV-030.pdf Acessado em 25 abr 2024

DINIZ, Paulo Sergio R.; DA SILVA; Eduardo A. B. NETTO, Sergio L. **Processamento digital de sinais**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014

ELETROGATE. Sensor de fluxo de água. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua-de-1-2#:~:text=O%20modelo%20YF%2DS201%20%C3%A9,externa%20de%201%2F2%22>. Acesso em 05/2023.

ERGEN, Sinem Coleri. **"ZigBee/IEEE 802.15. 4 Summary"**. UC Berkeley, September 10.17 (2004): 11.

FERNANDES FILHO, Guilherme Eugênio Filippo. Automação de Processos e de Sistemas. São Paulo, 2014.

FERREIRA, Emerson B.; VALIM, Paulo Roberto O. **Implementação de um Protótipo de Hidrômetro Digital com Suporte a Envio Remoto de Dados**. Anais SULCOMP, [s.l.], 2018.

FOWLER, Clayton; SILVA, Sinhara; THAPA, Grija; ZHOUL, Jiangfeng. High efficiency ambient RF energy harvesting by a metamaterial perfect absorber, *Optical Materials Express* (2022). DOI: 10.1364/OME.449494. Acesso em 11 dez. 2024.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. Atlas. 2010

GLOBAL WATER METERS MARKET – Industry Trends and Forecast to 2030, disponível em: https://www.databridgemarketresearch.com/pt/reports/global-water-meters-market?srsItid=AfmBOopMHU-yjBf_Erf1UvYRGX0oZryfNR6AgQRmjdNEV83zxAayJx_u. 2023, Acesso em: 03 Jan. 2025.

GOOGLE SHOPPING – Medidores digitais de água. Disponível em: https://www.google.com/search?sca_esv=7ffbc6d94dac2745&rlz=1C1CHZN_pt-BR&q=medidores+digitais+de+agua&udm=28&fbs=ABzOT_BYhiZpMrUAF0c9tORwPGIsjfkTCQbVbkeDjnTQtijddMtUi1tluk0dGtaRH-mto4far6JEqL0OoC455CwXZ-ZiDMCBB_Cig32gz_esk3orApQ0QZGh-nqFdY-5Whmt2PUu2Gv-qVclxMt_bfI91aMrkSqfIix7bw4lINgrFly6NSwnLTfPPJ1LTFVy7MYOzeB3v7GIX_oJpuy6epGV0PGNeoW_-w&ved=1t:220175&ictx=111&biw=1366&bih=633&dpr=1. Acesso em: 17 jun. 2023.

GUEDES, Eliene Silvana de Souza Guedes; JÚNIOR, Gilson Barbosa Athayde. Comparativo de custos da medição individual e coletiva de água fria em edifícios residenciais. **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre/RS – 23 a 26/11/2015**. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Porto Alegre, nov. 2015. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/XI-002.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

GUIMARÃES, José Geraldo de Araujo. Cidades Inteligentes: proposta de um modelo brasileiro multi-ranking de classificação. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-05072018-120958/pt-br.php>. Acessado em: 16 mar. 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** volume 1: mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2016.

HAMMI, Badis; KHATOUN, Rida; ZEADALLY, Sherali; FAYAD, Achraf; KHOUKHI, Lyes. IoT technologies for smart cities. 2018 IET Networks, 7(1), 1-13. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-net.2017.0163>. Acesso em: 02 jun. 2024.

HEILMANN, Armando. **Introdução aos fenômenos de transporte:** características e dinâmica dos fluidos. Editora Intersaberes, 2017.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. **Energia solar fotovoltaica de terceira geração**. 2014. Disponível em <http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IE TECNOLOGIA. Medidores digitais de água. Disponível em: <https://www.ietecnologia.com/medidor-de-agua-lorawan-sm-la>. Acesso em 25 jun. 2023.

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2020. 87% da população brasileira vive em áreas urbanas. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>. Acesso em 25jun. 2023.

JOÃO, Pedro Eduardo Thomaz Vieiralves. **Análise técnico-econômica de uma minigeração fotovoltaica em um galpão logístico em contagem MG**. Universidade Federal do Rio Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016391.pdf>>, Acesso em Fevereiro 2019.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KERZNER, Harold. **Gestão de Projetos**: as melhores práticas. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

LABREN. Atlas Brasileiro de Energia Solar – LABREN/CCST/INPE. Mapeamento solar de Santa Catarina. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/SC_glo.html. Atualizado em 28/11/2023. Acesso em 05 jul. 2024.

LARSON, Ron. **Estatística aplicada**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

LIMA, Gustavo Meirelles. Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água. Monografia/Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal de Itajubá. 2013. 86p.

LIMA, Ariane A.; MENEZES, Natalia Pereira; SANTOS, Sthefany; AMORIM, Byanca; THOMAZI, Fabiano; ZANELLA, Fernando; HEILMANN, Armando; BURKARTER, E.; MARÇULA, Marcelo; BENINI FILHO, Pio Armando. **Informática: conceitos e aplicações**. 4. ed. rev. São Paulo: Érica, 2013.

LIMA, Ariane A.; MENEZES, Natalia Pereira; SANTOS, Sthefany; AMORIM, Byanca; THOMAZI, Fabiano; ZANELLA, Fernando; HEILMANN, Armando; BURKARTER, E.; DARTORA Cesar A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Rev. Bras. Ensino Fís.** 42 • 2020. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191>, 2020. Acesso em 30 jun. 2023.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Máquinas motrizes hidráulicas 1908-1967. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1983.

MARKUS, Otávio. **Sistemas analógicos circuitos com diodos e transistores**. 8ed. Érica. 2009.

MARQUES, Angelo Eduardo B; CHOUERI JÚNIOR, Salomão; CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Dispositivos semicondutores: diodos e transistores**. 13ed. Érica. 2012.

MORAES, Mário Henrique Spacek; CAUDURO Flávia. Estudo de viabilidade técnica e econômica dos métodos de medição do consumo de água em edificações multifamiliares de padrão baixo, normal e alto. Artigo (Graduação) Curso de Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC. 2018. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6305>. Acessado em 25 mar. 2024

MUTERI, Vincenzo; CELLURA, Maurizio; CURTO, Domenico; FRANZITTA, Vincenzo; LONGO, Sonia; MISTRETTA, Marina; PARISI, Maria Laura. Review on life cycle assessment of solar photovoltaic panels. **Energies**, 2020, 13(1), 252; Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13010252> v. 13, n. 1, p. 252. Acesso em 20 dez. 2023.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

OLIVEIRA, Fernando. **O que é Avaliação do Ciclo de Vida**. Disponível em: <https://www.sustenare.com.br/o-que-e-avaliacao-do-ciclo-de-vida/#:~:text=A%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20Ciclo%20de,de%20um%20produto1%2C2>. 2010. Acessado em 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. Agenda 2030 - ODS-Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. New York, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acessado em: Maio, 2022.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia**: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: E. Blücher, 2005. ISBN: 9788521203636.

PEREIRA, Reinaldo Alves; NOGUEIRA, Arilson Rocha; SOUSA, Daniela da Silva Barbosa de; CASTRO, Gabriel Gonçalves Pessoa de. SSA: Turbina de Pelton. **XVI SEGeT**, 2019. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos19/26128236.pdf>. Acessado em fevereiro de 2024.

PORTAL SOLAR. **Fabricação de painel fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passos-a-passos-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acesso em 10 abr./2024.

ROCHA, Maria Cristina Lima. **Análise do consumo de água per capita em edificações multifamiliares que empregam sistema de medição individualizado e coletivo**: estudo de caso em Mossoró. TCC (Graduação) - Curso Superior de Engenharia Civil. 2018 48p. Universidade Federal Rural do Semi-Árido -UFERSA, Mosoró, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/db82621b-fe06-4d75-bfe9-e9508a2839bc/content>. Acesso 26 abr. 2024

RAMOS, Renato. **Gerenciamento de projetos**. Editora: Editora Interciência; 1ª edição (27 julho 2006). ISBN-10 : 8571931437.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2008.

REIS, Lineu Belico dos; FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 3. ed. rev. atual. Barueri: Manole, 2019.

RICHARDSON, Roberto Jarry. Pesquisa social: métodos e técnicas. 3. ed. ampl. São Paulo: Atlas, 1999.

ROBERTS, Michael J. Dr. **Fundamentos em sinais e sistemas**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009. 764p.

ROSÁRIO, João Mauricio. **Princípios de mecatrônica**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2005.

SAMPIERI, Roberto Hernandez; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar B. **Metodologia de pesquisa**. McGraw-Hill. 2013

SÁNCHEZ, Antonio Santos; COHIM Eduardo Henrique Borges; RA KALID. "Sistema Inteligente para Monitoramento do Consumo de Água e Detecção de Vazamentos em Prédios." **2º Congresso Internacional RESAG” 2015**.

SCHULER, Charles. **Eletrônica I**. 7. ed. AMGH. 2013. ISBN-10: 8580552109.

SCOLLA, Minéia. **Avaliação do ciclo de vida de sistemas de geração de energia fotovoltaica**: uma análise sob a ótica de fatores ambientais. 2020. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2020. Acesso em 10 dez. 2024.

SEBRAE. **O que crise tem a ver com criatividade?** 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/conteudos/posts/o-que-criatividade,7bd482946db77810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em 12 set. 2024.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica**. Editora: Pearson Universidades; 5ª edição (28 maio 2007). ISBN-10: 8576050226

SEUPOSTO.COM. Medidor de água ou Arla digital, disponível em: <https://www.seuposto.com/medidor-digital-para-arla-32-vazao-de-5-a-100-lpm-bremen>. Acesso em 05 Jul. 2024.

SEVERINO, Mauro Moura; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas**: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estela Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.253-260, 2001.

SIMONE, Gilio Aluísio. **Conversão eletromecânica de energia: uma introdução ao estudo**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

THE WORLD BANK **Cities and climate change**: an urgent agenda, Urban Development Series Knowledge Papers. 2010. doi: 10.1787/9789264091375-en.

_____. Projeto Energia Mais melhora a eletricidade consumida por mais de 4 milhões de brasileiros. 2017. Disponível em: <http://www.worldbank.org/pt/news/video/2017/05/23/brazil-project-improves-energy-4-million-people>. Acesso em: 15 jan. 2023.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros: volume 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

VELASCO, Clara. Desperdício de água aumenta pelo terceiro ano seguido no Brasil; prejuízo chega a R\$ 12 bilhões, aponta estudo. Brasil: G1, 4 jun. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/06/04/desperdicio-de-agua-aumenta-pelo-terceiro-ano-seguido-no-brasil-prejuizo-chegar-12-bilhoes-aponta-estudo.ghtml>. Acesso em: 26 jun. 2023.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

WONG, J. H.; ROYAPOOR, M; CHAN, C. W. Review of life cycle analyses and embodied energy requirements of single-crystalline and multi-crystalline silicon photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 608-618, 2016. Acesso em 01/2025.

ANEXO A – BUSCA NO BANCO DE PATENTES



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0604595-2 B1



(22) Data do Depósito: 11/10/2006

(45) Data de Concessão: 28/05/2019

(54) Título: SISTEMA REMOTO DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA E CONTROLE DE VAZÃO

(51) Int.Cl.: B67D 7/16; G05D 7/06.

(73) Titular(es): ENSITEC TECNOLOGIA DE PRODUTOS ELÉTRICOS ELETRÔNICOS E AUTOMOTIVOS LTDA.

(72) Inventor(es): MARCOS OLANDOSKI.

(57) Resumo: SISTEMA REMOTO DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA E CONTROLE DE VAZÃO, descreve-se a presente patente de invenção que consiste em um sistema eletro-mecânico de medição, monitoramento e controle de consumo e vazão de água à longa distância, tendo como base um sistema construtivo que otimiza a medição remota do consumo de água, com qualidade e disponibilidade de fornecimento em redes de distribuição de água, além de proporcionar o monitoramento em tempo integral de uma enorme gama de variáveis, para a determinação de situações de perda comercial, o sistema controla remotamente os dispositivos que atuam na rede de distribuição, permitindo não só a obtenção de informações como também, a operação ativa, controle do fluxo hídrico proporcional, e quando necessário à interrupção do fornecimento da água.

Fonte: Google Patentes – INPI, 2023

ANEXO B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESTES E DISSERTAÇÕES

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) a disponibilizar em ambiente digital institucional, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) e/ou outras bases de dados científicas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 22/07/2025.

1. Identificação do material bibliográfico: () Tese (x) Dissertação () Trabalho de Conclusão

1. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: Ricardo Campagnin

Orientador: Dra. Ana Paula Testa Pezzin

Coorientador: Dr. Claiton Emílio do Amaral

Data de Defesa: 16/07/2025

Título: ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DE ÁGUA COM DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO DISPOSITIVO DIGITAL APLICANDO ENERGIAS RENOVÁVEIS

Instituição de Defesa: Univille

3. Informação de acesso ao documento:

Pode ser liberado para publicação integral (x) Sim () Não

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese, dissertação ou relatório técnico.

Documento assinado digitalmente
 RICARDO CAMPAGNIN
Data: 22/07/2025 17:02:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor

Joinville, 22/07/2025

Local/Data