

UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Andrey Pereira Moretti Bosco, 2003845
Edilson Gutierrez Moraes, 2001511
Guilherme Ferrari Zanchini, 2010678
João Paulo Previtali, 2011213
Juliana Gonçalves Batista Prescinato, 1907318
Marcos Roberto Ruybal Bica, 2004208
Roger Marcel Lopes Prescinato, 2011581
Rosilene Santos de Aguiar, 1816839

Controle de temperatura automatizado para placas de energia fotovoltaica utilizando IoT

Vídeo de apresentação do Projeto Integrador

<https://youtu.be/cjXv1Goozn8?si=rlyuHJsJHtjbwoMV>

UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

**Controle de temperatura automatizado para placas de energia fotovoltaica
utilizando IoT**

Relatório Técnico-Científico apresentado na
disciplina de Projeto Integrador para o curso
de Engenharia da Computação da
Universidade Virtual do Estado de São Paulo
(UNIVESP).

Araçatuba - SP
2023

BOSCO, Andrey Pereira Moretti; MORAES, Edilson Gutierrez; ZANCHINI, Guilherme Ferrari; PREVITALI, João Paulo; PRESCINATO, Juliana Gonçalves Batista; BICA, Marcos Roberto Ruybal; PRESCINATO, Roger Marcel Lopes; AGUIAR, Rosilene Santos de. **Controle de temperatura automatizado para placas de energia fotovoltaica utilizando IoT** . Relatório Técnico-Científico. Engenharia da Computação – **Universidade Virtual do Estado de São Paulo**. Tutora: Ayo Jhonatan Rodrigues Rosas. Polo: Araçatuba, 2023.

RESUMO

Em projeto integrador anteriormente realizado, implementamos um sistema de coleta e análise de dados utilizando sensores IoT com o objetivo de investigar a influência da temperatura média da placa fotovoltaica em relação à produção geral de energia em um sistema de produção real, devidamente instalado e operando na cidade de Araçatuba. A análise preliminar dos dados sugeriu que o aumento da temperatura da placa compromete sua eficiência de produção energética, além de contribuir para a redução da vida útil dos equipamentos. Tendo em vista os resultados obtidos, decidimos neste projeto desenvolver um sistema de arrefecimento automatizado para as placas fotovoltaicas utilizando controladores IoT acionados em função dos dados obtidos pelo sistema de monitoramento. O processo de resfriamento será realizado através do bombeamento de água obtida em uma piscina instalada na mesma residência. Após circular pelo sistema de arrefecimento, a água aquecida no processo será devolvida à piscina, aproveitando também a energia térmica para seu aquecimento, aumentando a eficiência energética geral do sistema e contribuindo para a sustentabilidade. Esperamos com isso diminuir a temperatura média das placas, aumentando sua produção energética e contribuindo para estender sua vida útil reduzindo a produção de lixo tecnológico, pois entendemos que este será um problema com o qual a humanidade terá que lidar futuramente.

PALAVRAS-CHAVE: IoT; Energia Fotovoltaica; Controle da Temperatura; Eficiência Energética; Sustentabilidade

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Serpentina..... | 10 |
| Figura 2: Motobomba..... | 10 |
| Figura 3: Sensor de Temperatura..... | 11 |
| Figura 4: Node MCU..... | 11 |
| Figura 5: Fonte..... | 11 |
| Figura 6: Diagrama e Layout placa..... | 12 |
| Figura 7: Impressão do Layout..... | 13 |
| Figura 8: Transferência da imagem para a placa..... | 13 |
| Figura 9: Corrosão da placa..... | 14 |
| Figura 10: Placa montada..... | 14 |
| Figura 11: esquema de montagem do sistema de arrefecimento da placa de geração solar..... | 15 |
| Figura 12: Serpentina montada sob o painel..... | 16 |
| Figura 13: Sensor de temperatura..... | 16 |
| Figura 14: Sensor de temperatura..... | 17 |
| Figura 15: Sistema de controle..... | 17 |
| Figura 16: Planilha com os dados armazenados..... | 18 |
| Figura 17: Gráficos de análise dos dados coletados com sistema de arrefecimento ligado..... | 19 |
| Figura 18: Gráficos dos dados coletados sem o arrefecimento..... | 20 |
| Figura 19: Gráfico de Geração e Radiação período 16 a 22/10..... | 20 |
| Figura 20: Gráfico de Geração e Radiação período 23 a 29/10..... | 21 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 6 |
| 2 DESENVOLVIMENTO..... | 7 |
| 2.1 OBJETIVOS..... | 7 |
| 2.2 JUSTIFICATIVA E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA..... | 7 |
| 2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 8 |
| 2.4 METODOLOGIA..... | 9 |
| 3 RESULTADO..... | 13 |
| 3.1 CONFECÇÃO DA PLACA DE CONTROLE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO..... | 13 |
| 3.2 MONTAGEM DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO..... | 14 |
| 3.3 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO..... | 18 |
| 3.4 DISCUSSÃO DOS DADOS..... | 19 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 22 |
| REFERÊNCIAS..... | 24 |
| ANEXO A – DADOS UTILIZADOS NOS CÁLCULOS..... | 25 |

1 INTRODUÇÃO

No Projeto Integrador anterior, desenvolvemos e implementamos um sistema de captura e análise de dados de temperatura das placas fotovoltaicas para um sistema de geração instalado e operando em residência na cidade de Araçatuba-SP. O projeto permitiu a realização de um estudo acerca da influência da temperatura média das placas fotovoltaicas e concluiu que o aumento da temperatura provoca uma considerável diminuição da eficiência de produção energética.

Com base nos dados obtidos, este projeto se propõe a desenvolver um sistema automatizado de arrefecimento com o objetivo de manter as células solares operando dentro de uma faixa ideal de temperatura melhorando significativamente a eficiência e a vida útil dos painéis solares, ajudando a reduzir futuros problemas ambientais decorrentes da produção de lixo eletrônico.

O controle da temperatura de operação dos painéis é de grande importância uma vez que as células solares funcionam de maneira mais eficiente quando mantidas em uma temperatura mais baixa (RUVIARO,2018) . Para isso optamos por desenvolver um sistema de arrefecimento ativo – que utiliza a circulação de líquido de arrefecimento (água) - para retirar o calor dos painéis mantendo a temperatura dentro de uma faixa limitada a fim de maximizar a eficiência. O monitoramento dos dados de temperatura e o controle do sistema será automatizado através do uso de sensores IoT e controladores que ajustarão a taxa de resfriamento conforme necessário com base nos dados que já estão sendo obtidos e disponibilizados de forma on-line.

O foco deste trabalho consiste, portanto, em desenvolver este sistema de controle de temperatura e investigar sua contribuição para o aumento da eficiência de produção energética tendo em vista a importância deste assunto para a engenharia nos dias atuais. Além disso entendemos que qualquer iniciativa com o intuito de aumentar a vida útil de equipamentos eletrônicos é muito importante para diminuir o impacto ambiental da produção de lixo eletrônico, garantindo um futuro mais sustentável.

O objeto deste estudo é o controle automatizado de temperatura e sua contribuição para a eficiência da produção energética.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVOS

O objetivo geral almejado é melhorar a eficiência na geração de energia reduzindo a temperatura das placas, aumentando através deste por consequência a vida útil dos componentes.

Abaixo, seguem os objetivos específicos a serem alcançados:

- Instalar sistema de arrefecimento (serpentina, tubulações, bomba d'água);
- Determinar temperatura que ativará o sistema de resfriamento;
- Implementar sistema IoT para acionar circulação de líquido;
- Analisar comportamento da placa (temperatura e geração energética);
- Ajustar parâmetros, caso necessário;
- Analisar resultados obtidos e comparar com expectativa;
- Avaliar custo-benefício da implementação para usuários em geral;

2.2 JUSTIFICATIVA E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Como melhorar a eficiência das placas fotovoltaicas e promover o aumento da vida útil dos componentes contribuindo para a redução do impacto no meio ambiente com o descarte de equipamentos?

A energia fotovoltaica é uma das soluções mais promissoras no cenário atual, quando se trata de suprir a crescente demanda energética de forma limpa e sustentável. Aproveitando a luz do sol para gerar eletricidade, é uma forma “inesgotável” de energia altamente amigável ao meio ambiente, porém uma preocupação que precisamos ter é o descarte de seus componentes, segundo Gil e Isidro (2019). Pensando no futuro, precisamos aproveitar a alta demanda em residências e empresas buscando meios de obter energia de forma mais barata e limpa nos sistemas já em operação. É importante que os sistemas em execução produzam mais, porém preferencialmente sem grandes alterações ou custos ao proprietário, encontrando meios que permitam que a temperatura se mantenha estável para maior produção energética o que também contribuirá para maior durabilidade do equipamento.

2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O arrefecimento de placas fotovoltaicas é um tema crucial quando se trata de melhorar a produção de energia em sistemas solares, a eficiência de um painel fotovoltaico está diretamente relacionada à sua temperatura de operação, e um aquecimento excessivo pode reduzir significativamente o desempenho e a vida útil desses dispositivos. Portanto, a implementação de estratégias eficazes de resfriamento é fundamental para otimizar o rendimento energético dos sistemas fotovoltaicos (RUVIARO *et al.*, 2018).

Segundo o estudo de Kandilli *et al.* (2022), a temperatura dos painéis fotovoltaicos pode aumentar consideravelmente sob a exposição direta ao sol, especialmente em climas quentes. Isso ocorre porque a absorção da luz solar pelos painéis resulta em uma conversão parcial da energia em calor. O aumento da temperatura pode causar uma diminuição na eficiência de conversão dos painéis, uma vez que a tensão de saída diminui com o aumento da temperatura, o que torna essencial implementar técnicas de resfriamento para reduzir o impacto negativo do aquecimento nos sistemas fotovoltaicos.

Uma das abordagens mais comuns para o arrefecimento de placas fotovoltaicas é o uso de sistemas de refrigeração ativos, como a aspersão de água ou o uso de fluidos refrigerantes. Esses sistemas ajudam a dissipar o calor gerado pelos painéis e mantêm a temperatura em níveis ideais de operação. De acordo com Luo *et al.* (2020), sistemas de resfriamento baseados em água podem reduzir significativamente a temperatura dos painéis fotovoltaicos, melhorando assim sua eficiência e prolongando sua vida útil.

Outro fator importante, está relacionado ao impacto ambiental que a energia fotovoltaica pode acarretar com o passar dos anos, visto que a vida útil de seus componentes é de em média 25 a 30 anos de acordo com Gil e Isidro (2019), dessa forma, contribuir com o aumento da durabilidade permitirá mais tempo no desenvolvimento de alternativas de reciclagem, uso de materiais não poluentes (ou tóxicos), além de melhorar no ganho energético com controle de temperatura.

Por fim, um fator crucial para o desenvolvimento deste sistema é o controle automatizado do processo de refrigeração das placas, que precisa ser bem ajustado para que possa manter a temperatura dentro de uma faixa limitada escolhida a princípio, conforme as especificações técnicas dos componentes geradores de energia fornecidas pelo fabricante. Para isso os dados gerados após a instalação do arrefecimento devem ser monitorados e analisados com critério

para investigar a forma de controle e os melhores parâmetros a serem utilizados para a máxima eficiência do sistema.

2.4 METODOLOGIA

Durante as reuniões (*brainstorm*) deste projeto integrador foram discutidas algumas ideias acerca do tema deste estudo, sendo decidido pelo prosseguimento do estudo realizado no projeto integrador anterior fazendo uso dos dados de temperatura que estão sendo coletados e salvos em planilha do Google *Sheets* e disponibilizados de forma online. Pretendemos oferecer alternativa para melhorar a eficiência do sistema fotovoltaico através do controle da temperatura média das placas solares, promovendo arrefecimento e como benefício aumentar sua vida útil do produto.

Após as decisões iniciais, utilizamos métodos de *design thinking* para entender a melhor abordagem para tratar do problema e iniciar a prototipagem. Realizamos cotações para aquisição dos equipamentos para andamento do protótipo inicial, a ser instalado em uma residência na cidade de Araçatuba, SP, conforme descrição a seguir.

- Duas placas de serpentina para aquecimento de piscina;
- Uma motobomba;
- Mangueira de 1 1/4”;
- Cano de 1”;
- Conexões para montagem de toda a tubulação;
- Um microcontrolador ESP 8266;
- Dois sensores de temperatura modelo DS18B20 ;
- Uma placa de circuito impresso para abrigar toda a eletrônica;
- Uma fonte de 12 Volts.

As serpentinas tem dimensão de 2 x 0,30 m e serão montadas embaixo de um painel de geração fotovoltaica, cujas dimensões são 2 x 1 m, estas podem ser vistas na Figura 1.



Figura

1: Serpentina

Fonte: MERCADO LIVRE

A motobomba, tem potência de 0,5 hp, e vazão de 35 l/m e capacidade de elevar a água em 35 metros. A Figura 2 apresenta o equipamento.



Figura 2: Motobomba

Fonte: Motobomba

O cano de 1" será utilizado para montar a tubulação que ligará a entrada da motobomba à piscina, que servirá de tanque da água que vai servir para arrefecer a placa geradora. A mangueira de 1/4" será utilizada para montar o circuito de envio da água para a serpentina e retorno da água a piscina. Na saída da bomba, um T será montado para que seja inserido um sensor de temperatura e na chegada da mangueira antes de despejar a água na piscina, outro sensor de temperatura será montado. Na Figura 3 é possível conhecer o sensor DS18B20.



O microcontrolador é o modelo ESP 8266, que é adquirido em uma placa de prototipagem chamado Node MCU. Este processador, tem boa capacidade de processamento, já tem um canal de comunicação WiFi, que facilita tanto a leitura de dados armazenado em nuvem, quanto gravação desses dados na web. O Node MCU pode ser visualizado na Figura 4

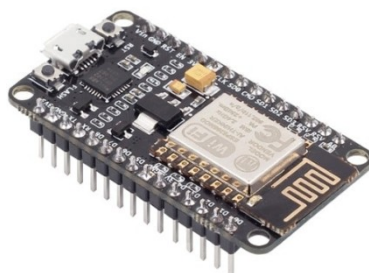


Figura 4: Node MCU

Fonte Makerhero

A fonte apresentada na Figura 5 que será responsável por converter a tensão de 127v corrente alternada fornecida pela concessionária de energia, para 12v corrente contínua, que irá alimentar o circuito eletrônico .



Figura 5: Fonte
Fonte: Amazon

A Placa pcb, foi projetada, desenhada e gerada com o

software Eagle versão 7.5.0 versão gratuita. Na Figura 6, estão apresentados o diagrama eletrônico e o layout da placa que será confeccionada.

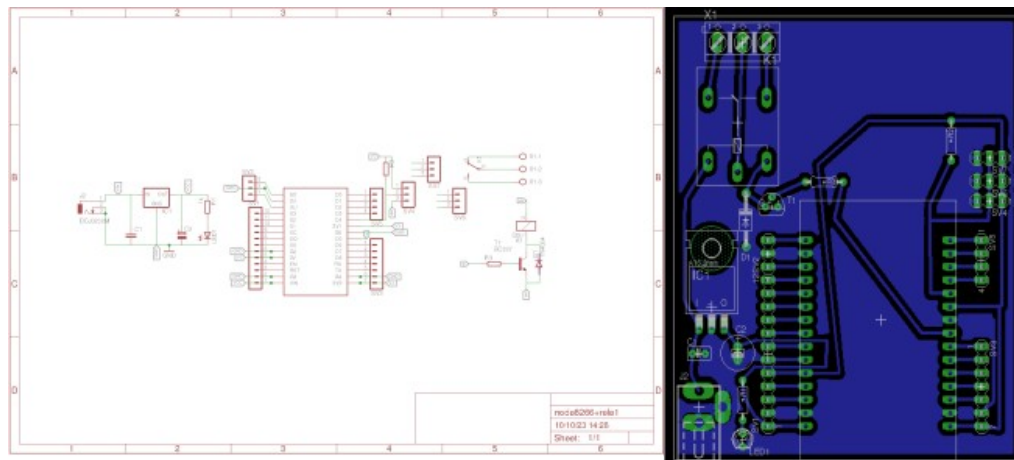


Figura 6: Diagrama e Layout placa

Fonte: Os autores

O funcionamento do sistema será por meio de programação do microcontrolador, para que este busque o valor da temperatura do painel que receberá o arrefecimento, e caso esse valor ultrapasse o valor de referência 40°C , O sistema acionará a bomba, e neste instante um temporizador será iniciado. Também serão armazenados os valores da temperatura da água que sai da bom em direção à serpentina e a temperatura da água que retorna. O armazenamento do tempo de funcionamento, servirá para o cálculo de consumo de energia da bomba, e os dados de temperatura da água, poderão ser analisados para avaliar se é viável construir um aquecedor de piscina consorciado com o resfriamento de painéis fotovoltaicos.

3 RESULTADO

Para damos início aos testes, foi decidido pela montagem do sistema de arrefecimento em apenas um dos painéis como protótipo, podendo ser expandido posteriormente aos outros dois painéis caso a solução se mostrasse promissora.

A implementação do sistema seguiu algumas etapas que estão aqui descritas.

3.1 CONFECÇÃO DA PLACA DE CONTROLE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Após a conclusão do projeto mencionado na metodologia, o layout foi impresso com impressora laser em papel fotográfico, Figura 7.

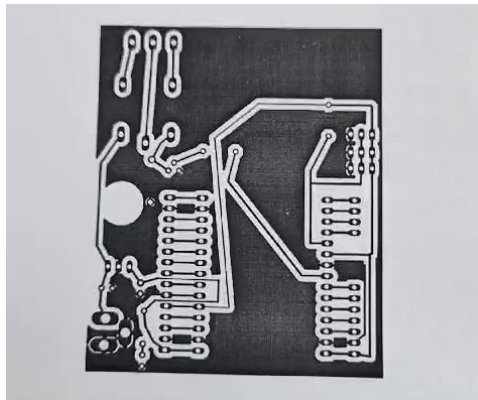


Figura 7: Impressão do Layout

Fonte : Os autores

O desenho foi transferido para a face cobreada da placa de circuito impresso, Figura 8.

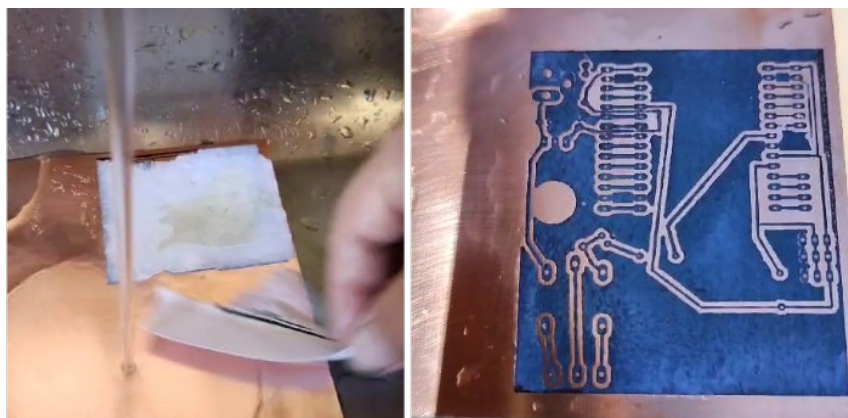


Figura 8: Transferência da imagem para a placa

Fonte: Os autores

Foi realizada a furação da placa e colocada em banho de percloroeto de Ferro. Após a ação do percloroeto que retira o cobre que não está coberto pelo toner transferido, a placa está pronta para ser lavada, Figura 9.



Figura 9: Corrosão da placa

Fonte: Os autores.

A finalização do processo se deu com a inserção dos componentes. A placa montada é apresentada na Figura10.

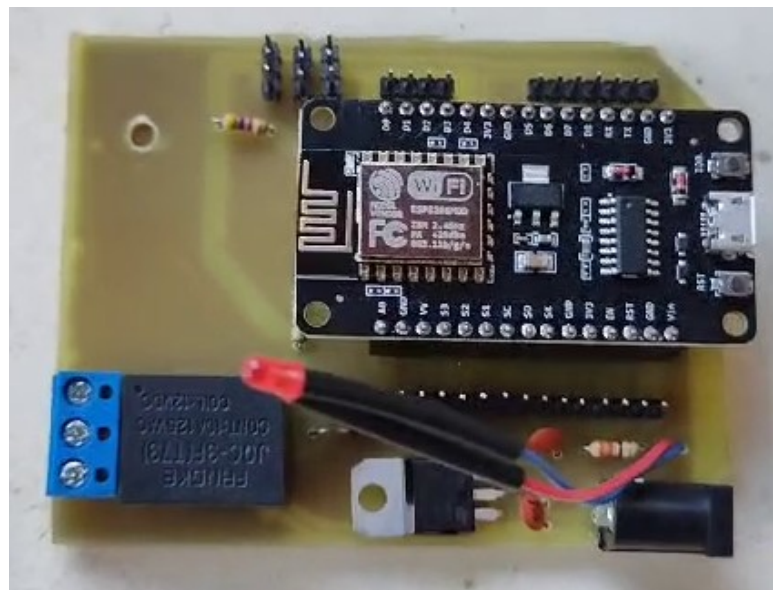


Figura 10: Placa montada

Fonte: Os autores.

3.2 MONTAGEM DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

A montagem seguiu o esquema apresentado na Figura 11.

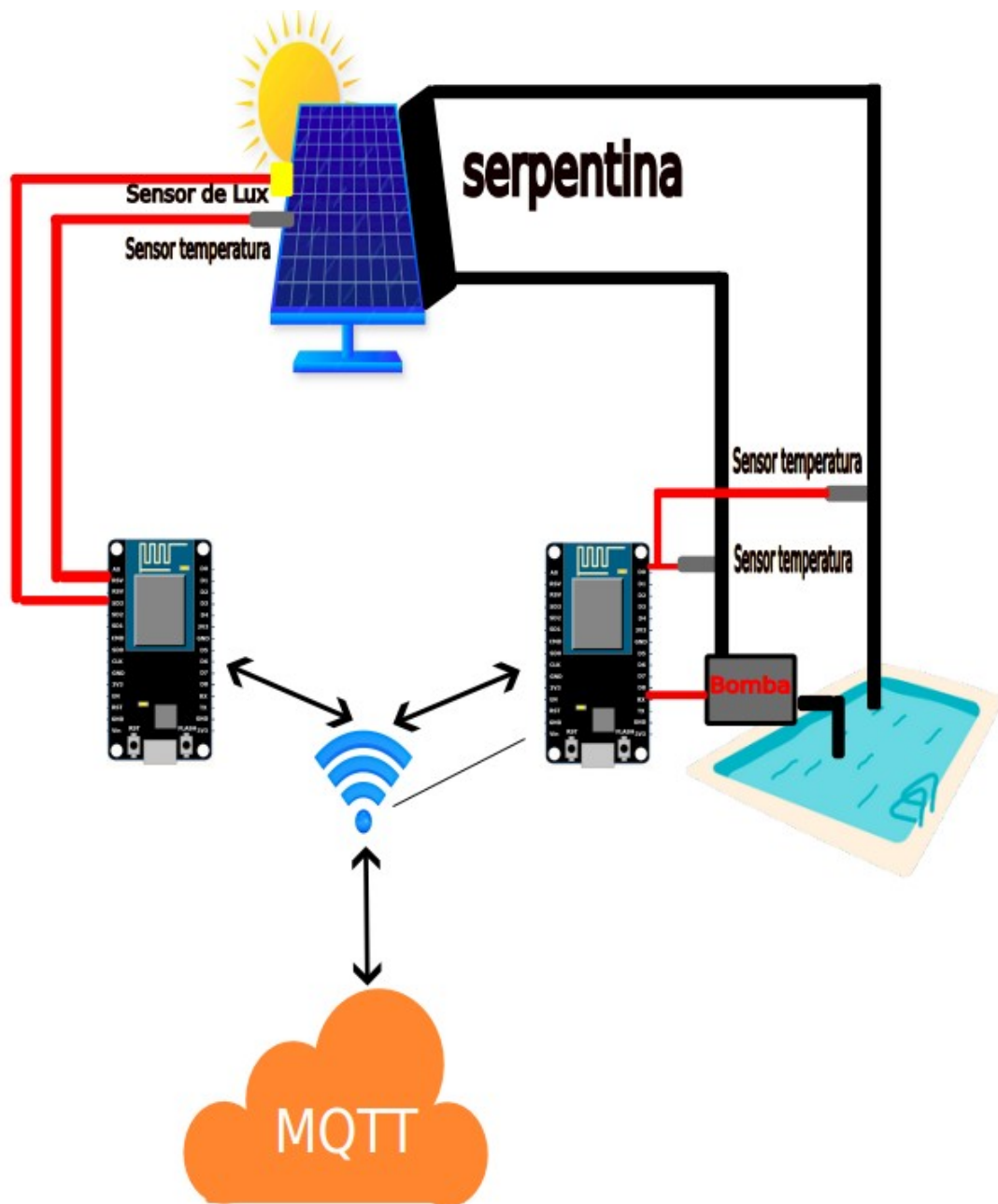


Figura 11: esquema de montagem do sistema de arrefecimento da placa de geração solar
 Fonte: Os autores

Foram montadas duas serpentinhas sob um dos painéis com a finalidade de reduzir a temperatura deste, esta montagem está apresentada na Figura12 .



Figura 12: Serpentina montada sob o painel.

Fonte: Os autores.

Dois sensores de temperatura compõe o sistema, sendo um deles para medir a temperatura da água que sai da piscina que está montado na saída de água da bomba, que pode ser observado na Figura 13



Figura 13: Sensor de temperatura

Fonte: Os autores.

O segundo sensor mede a temperatura da água que retorna para a piscina e está montado na chegada da água que retorna. Esta montagem pode ser vista na Figura



Figura 14: Sensor de temperatura

Fonte: Os autores

O sistema de controle de arrefecimento montado pelos autores é mostrado na Figura



Figura 15: Sistema de controle

Fonte: Os autores.

3.3 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

Os dados aquisitados pelos dois processadores, são enviados para o servidor *broker* Ardafruit IOT e também para uma planilha eletrônica do google. Os dados são atualizados a cada 15 minutos na planilha e no *broker*, exceto a temperatura do painel que está com o sistema de arrefecimento montado, essa informação exclusivamente no *broker* é atualizada a cada minuto.⁴

O controlador do sistema de arrefecimento, faz a leitura da temperatura do painel arrefecido no *broker*, e se esta estiver acima de 40° C a bomba é ligada, e só será desligada quando diminuir abaixo de 35° C.

Os dados armazenados, são temperaturas de 3 painéis fotovoltaicos, temperatura ambiente, intensidade luminosa, temperatura da água que sai da piscina, temperatura da água que retorna para a piscina e tempo que a bomba ficou ligada. Na Figura 16, está apresentada a planilha com os dados descritos.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-------|----------------------|---------|------------|------------|------------|--------------|----------|----------|---------|---|---|---|
| 1 | Carimbo de data/hora | TP.AMB. | TP. 1.1.08 | TP. 1.1.10 | TP. 1.1.12 | Luminosidade | TP S Psc | TP R psc | T bomba | | | |
| 22134 | 06/11/2023 12:43:35 | 35.90 | 43.18 | 57.91 | 47.75 | 54612.50 | 27.56 | 29.13 | 21 | | | |
| 22135 | 06/11/2023 13:00:00 | 36.66 | 43.18 | 59.13 | 48.88 | 54612.50 | 27.75 | 29.44 | 13 | | | |
| 22136 | 06/11/2023 13:16:24 | 36.50 | 43.30 | 59.25 | 48.72 | 54612.50 | 27.94 | 29.63 | 6 | | | |
| 22137 | 06/11/2023 13:32:48 | 36.55 | 43.62 | 59.02 | 49.48 | 54612.50 | 28.13 | 29.88 | 6 | | | |
| 22138 | 06/11/2023 13:49:12 | 35.91 | 43.69 | 58.30 | 49.38 | 54612.50 | 28.25 | 30.00 | 1 | | | |
| 22139 | 06/11/2023 14:05:35 | 38.75 | 43.56 | 58.84 | 49.26 | 54612.50 | 28.38 | 30.19 | 0 | | | |
| 22140 | 06/11/2023 14:22:01 | 38.20 | 45.06 | 60.85 | 50.87 | 54612.50 | 28.38 | 30.25 | 1 | | | |
| 22141 | 06/11/2023 14:38:25 | 38.49 | 43.91 | 58.60 | 49.60 | 54612.50 | 28.44 | 30.25 | 1 | | | |
| 22142 | 06/11/2023 14:54:49 | 39.09 | 42.90 | 57.13 | 49.11 | 54612.50 | 28.44 | 30.19 | 17 | | | |
| 22143 | 06/11/2023 15:11:12 | 37.80 | 42.22 | 55.85 | 48.47 | 54612.50 | 28.50 | 30.19 | 26 | | | |
| 22144 | 06/11/2023 15:27:36 | 36.25 | 41.25 | 53.21 | 46.71 | 54612.50 | 28.50 | 30.13 | 26 | | | |
| 22145 | 06/11/2023 15:44:01 | 38.11 | 40.61 | 52.59 | 46.20 | 54612.50 | 28.44 | 30.13 | 21 | | | |
| 22146 | 06/11/2023 16:00:25 | 36.54 | 40.36 | 51.45 | 45.88 | 48139.16 | 28.38 | 30.06 | 23 | | | |
| 22147 | 06/11/2023 16:16:49 | 36.35 | 39.98 | 50.42 | 45.30 | 42021.66 | 28.38 | 29.94 | 12 | | | |
| 22148 | 06/11/2023 16:33:13 | 35.81 | 39.22 | 48.85 | 44.53 | 36673.33 | 28.31 | 29.88 | 0 | | | |
| 22149 | 06/11/2023 16:49:37 | 36.50 | 38.42 | 47.11 | 43.26 | 28851.67 | 28.31 | 29.81 | 0 | | | |
| 22150 | 06/11/2023 17:06:02 | 35.39 | 37.79 | 45.89 | 42.53 | 20561.67 | 28.31 | 29.63 | 0 | | | |
| 22151 | 06/11/2023 17:22:25 | 34.42 | 36.55 | 43.60 | 41.21 | 12578.33 | 28.25 | 29.63 | 0 | | | |
| 22152 | 06/11/2023 17:38:49 | 33.60 | 35.34 | 41.22 | 39.49 | 8178.33 | 28.25 | 29.50 | 0 | | | |
| 22153 | 06/11/2023 17:55:13 | 33.60 | 35.34 | 41.22 | 39.49 | 8178.33 | 28.25 | 29.50 | 0 | | | |

Figura 16:

Planilha com os dados armazenados

Fonte: Os autores.

3.4 DISCUSSÃO DOS DADOS

O fenômeno físico que proporciona a geração de energia em painéis fotovoltaicos é, a radiação solar. Quanto mais perpendicular a face do painel for a incidência dos raios solares, maior será a geração. Considerando que o planeta Terra, tem dois movimentos, de rotação e translação, esses movimentos modificam diariamente a sua posição relativa ao sol, conseqüentemente a geração dos painéis que tem sua posição fixa, varia ao longo do ano.

Isto posto foram limitados os dados para análise dos resultados obtidos em duas semanas subsequentes, de modo a minimizar o efeito de variação do ângulo de incidência dos raios solares.

Os dados analisados foram coletados entre os dias 16/10 e 22/10, com o sistema configurado para ligar a bomba assim que a temperatura do painel atinja 40° C e desligar quando a temperatura voltar a ficar abaixo de 35° C, realizando o arrefecimento da placa, o gráfico para análise desse dados é apresentado na Figura 17 .

Esses dados foram comparados com os dados coletados entre os dias 23/10 e 29/10, onde o sistema foi desativado e a placa solar manteve sua geração sem arrefecimento, em sua situação anterior à instalação dos equipamentos. Os gráficos para análise destes dados está apresentado na Figura 18 . Todos os dados coletados estão disponíveis no ANEXO A.

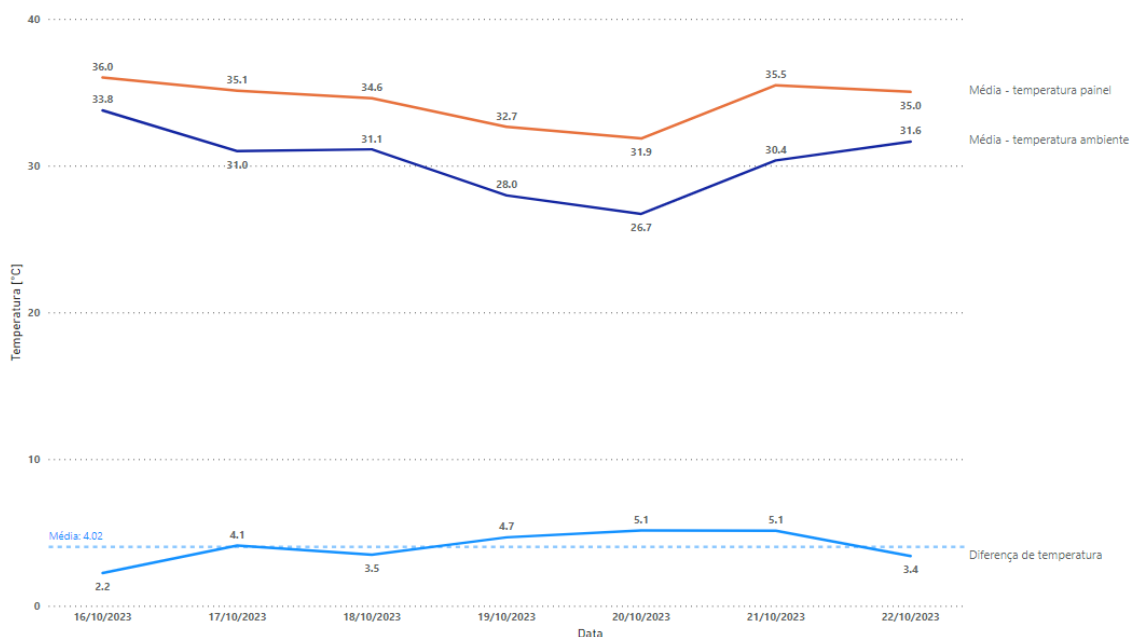


Figura 17: Gráficos de análise dos dados coletados com sistema de arrefecimento ligado

Fonte: Os autores;

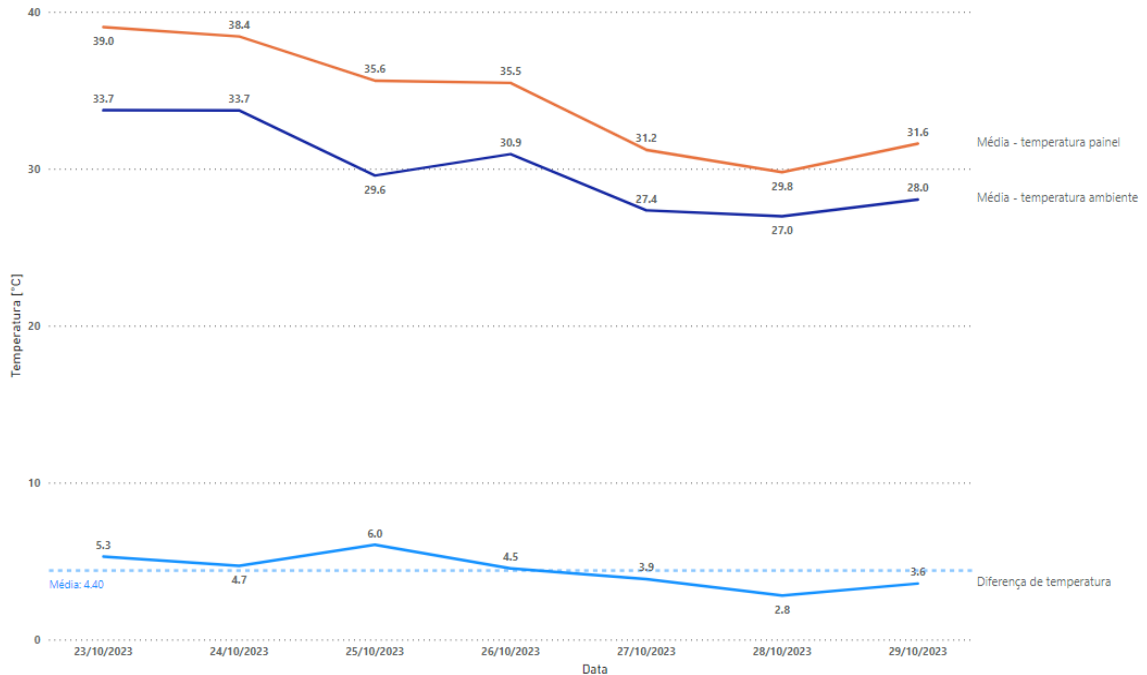


Figura 18: Gráficos dos dados coletados sem o arrefecimento

Foi Fonte: Os autores

verificada uma redução de 8,6% na diferença média temperatura do painel com o uso do sistema de Arrefecimento.

Outra análise realizada foi a geração de energia, contudo, para que o resultado seja mais consistente é necessário levar em conta a potência disponível pela radiação solar. Como o sistema não dispõe de um sensor que meça a irradiação, foi utilizada a informação do sensor de luminosidade, que apesar de não apresentar a radiação solar, consegue identificar se ocorrem sombreamento nos painéis por nebulosidade fator que reduz a geração.

Ao verificar os dados apresentados nos gráficos das Figuras 19 e 20, é possível verificar que a geração guarda maior relação entre geração e radiação (luminosidade) se comparado com a temperatura do painel.

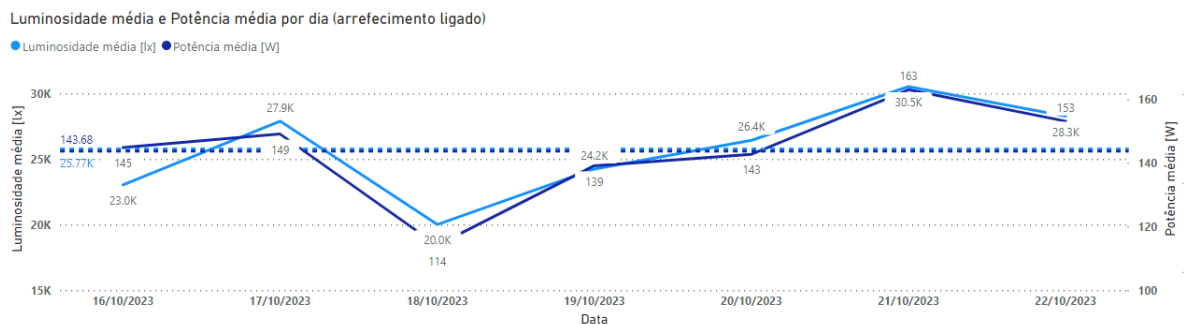


Figura 19: Gráfico de Geração e Radiação período 16 a 22/10

Fonte: Os autores

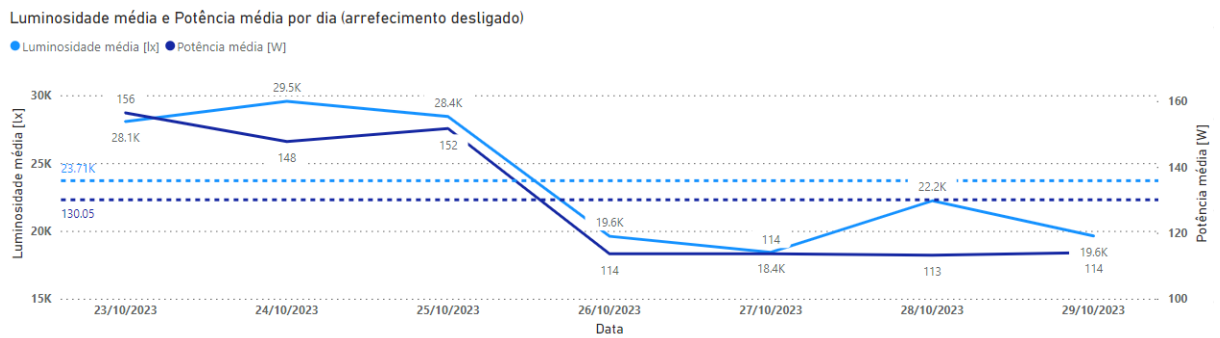


Figura 20: Gráfico de Geração e Radiação período 23 a 29/10

Fonte: Os Autores

Levando em consideração a informação apresentada, podemos perceber que o sistema de arrefecimento apresenta uma leve influência na geração quando considerado juntamente à radiação. Considerando uma relação linear entre a radiação e a potência, existe um aumento de 1,6% na taxa de potência por luminosidade quando o sistema está em uso.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do projeto em questão era melhorar a eficiência na geração de energia reduzindo a temperatura das placas, aumentando através deste por consequência a vida útil dos componentes.

Com a montagem do sistema, nota-se que houve a efetiva redução da temperatura média da placa de geração em torno de 8,6%, quando comparado com a mesma placa sem a atuação do sistema de arrefecimento.

Considerando apenas a diferença de luminosidade entre esses dois períodos, o aumento da média de potência foi de aproximadamente 1,6% devido ao uso do sistema de arrefecimento. A influência foi menor, porém ainda significativa e corrobora a premissa levantada anteriormente.

O curto período de análise do sistema, não permite observar na prática o aumento da vida útil do produto devido a essa modificação no sistema. Estudos futuros podem ser necessários para comprovar a eficácia do sistema em questão nesse quesito, apesar de já existirem diversos estudos que comprovam esse efeito.

Outro fator que deve ser levado em consideração é o custo para a manutenção desse sistema. Ainda deve ser estudado se é financeiramente viável manter a bomba em funcionamento, frente ao aumento da potência de geração de energia.

Por fim, supõe-se que um investimento maior em equipamentos com maior eficiência e mais adequados para o fim em estudo possam melhorar ainda mais a eficiência do sistema de arrefecimento, tornando o projeto ainda mais viável no longo prazo e mais atrativo financeiramente.

Os resultados desse projeto demonstram que um sistema de relativamente baixa complexidade e custo pode ajudar a resolver o problema de descartes de painéis solares ao potencialmente aumentar a vida útil destes.

Tendo em vista que o material utilizado para realizar o arrefecimento ser originalmente confeccionado para aquecimento de piscina e que tem maior eficiência para este fim, quando exposto ao sol. Fica como sugestão para trabalhos futuros a troca dessa parte do sistema por

equipamentos que tenham mais eficiência na troca de calor por convecção e condução térmica, por exemplo, tubos de alumínio.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724**: Informação e documentação. Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

RUVIARO, Raiana Spat et al. **Análise da variação da eficiência do módulo fotovoltaico em função da temperatura**. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2018.

KANDILLI, Canan; ACIKBAS, Yaser; UZEL, Mert. **Thermophysical properties of natural zeolite plates enhanced with aluminum granule for thermal management of Photovoltaic Thermal Systems (PVTs)**. Journal of Energy Storage, v. 50, p. 104331, 2022.

YANG, Renata Lautert et al. **Determinação da potência entregue pelo sistema fotovoltaico sob influência da temperatura da célula**. Curitiba–Paraná, Smart Energy, 2019.

LUO, T., LIU, X., WANG, C., & Ma, X. (2020). **Enhanced photovoltaic performance of bifacial solar cells using a novel microchannel heat sink cooling system**. Solar Energy, 195, 404-411.

GIL, Luís; ISIDRO, João. **O fim da vida dos módulos fotovoltaicos**. 2019.

MUNIZ, João Paulo Mastrogiacomo. **Avaliação experimental da temperatura em sistema fotovoltaico residencial**. 2023.

Mercado Livre. Disponível em: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_954576-MLB72335851095_102023-O.webp

Motobomba. Disponível em: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_976281-MLU69467954419_052023-O.webp

Makrhero. Disponível em: https://www.makerhero.com/wp-content/uploads/2017/07/6WL19_1-min.jpg

Amazon. Disponível em: https://m.media-amazon.com/images/I/41vi6cpFtQL.AC_SX425.jpg

theengineeringprojects. Disponível em: <https://images.theengineeringprojects.com/image/webp/2019/01/Introduction-to-DS18B20.jpg.webp?ssl=1>.

ANEXO A – DADOS UTILIZADOS NOS CÁLCULOS

| Time | OP1.1.8 E (Wh) | P1.1.8 P (W) | T.Amb | T.P.08 | Luminosidade |
|----------|----------------|--------------|-------|--------|--------------|
| 16/10/23 | 8.25 | 10.8066 | 22.72 | 23.42 | 684.17 |
| 16/10/23 | 34 | 33.8834 | 25.2 | 24.19 | 2987.5 |
| 16/10/23 | 98.25 | 121.3743 | 27.7 | 25.89 | 5861.67 |
| 16/10/23 | 212.25 | 205.8114 | 30.89 | 32.52 | 12407.5 |
| 16/10/23 | 243.75 | 255.68 | 34.53 | 38.48 | 39751.66 |
| 16/10/23 | 248.5 | 256.7037 | 37.22 | 42.57 | 54612.5 |
| 16/10/23 | 267 | 255.8684 | 38.95 | 45.4 | 54612.5 |
| 16/10/23 | 274.5 | 290.6878 | 39.57 | 46 | 54612.5 |
| 16/10/23 | 237.25 | 236.9619 | 40.12 | 45.89 | 28862.5 |
| 16/10/23 | 128.5 | 120.4705 | 39.53 | 42.6 | 14734.17 |
| 16/10/23 | 109 | 117.8535 | 36.33 | 37.05 | 21235.83 |
| 16/10/23 | 18.25 | 17.5513 | 36.6 | 35.17 | 4797.5 |
| 16/10/23 | 3 | 8.8617 | 29.71 | 29 | 4293.33 |
| 17/10/23 | 19.25 | 19.251 | 24.02 | 24.44 | 749.17 |
| 17/10/23 | 72 | 80.1093 | 24.77 | 26.02 | 5144.17 |
| 17/10/23 | 103 | 103.3246 | 25.33 | 26.9 | 7042.5 |
| 17/10/23 | 155.25 | 167.2734 | 28.77 | 32.41 | 12987.5 |
| 17/10/23 | 223.5 | 243.2316 | 29.19 | 34.24 | 17660 |
| 17/10/23 | 289 | 258.6216 | 30.03 | 37.02 | 24823.33 |
| 17/10/23 | 270 | 284.1103 | 31.4 | 37.29 | 54612.5 |
| 17/10/23 | 241.75 | 257.9796 | 32.39 | 39.24 | 54612.5 |
| 17/10/23 | 299.75 | 308.2367 | 33.8 | 39.59 | 54612.5 |
| 17/10/23 | 172.75 | 223.1311 | 36.27 | 42.55 | 54612.5 |
| 17/10/23 | 66.5 | 66.9152 | 37.42 | 41.9 | 54612.5 |
| 17/10/23 | 23.75 | 24.0422 | 37.77 | 39.2 | 14610.83 |
| 17/10/23 | 1 | 4.675 | 31.75 | 35.65 | 6577.5 |
| 18/10/23 | 9.25 | 9.7418 | 21.66 | 22.19 | 1005.83 |
| 18/10/23 | 35.75 | 35.3538 | 23.58 | 23.51 | 2883.33 |
| 18/10/23 | 64 | 113.2477 | 27.63 | 29.08 | 6290 |
| 18/10/23 | 137 | 207.4049 | 30.69 | 38.75 | 12740.83 |
| 18/10/23 | 252.25 | 258.7987 | 32.92 | 36.95 | 27996.67 |
| 18/10/23 | 227.25 | 271.2563 | 36.85 | 41.87 | 54612.5 |
| 18/10/23 | 202.75 | 268.7284 | 38.04 | 43.57 | 54612.5 |
| 18/10/23 | 262.75 | 258.2433 | 39.8 | 46.58 | 54612.5 |
| 18/10/23 | 217.25 | 225.7067 | 40.62 | 47.04 | 22962.5 |
| 18/10/23 | 35.5 | 44.7023 | 40.85 | 43.64 | 7977.5 |
| 18/10/23 | 25 | 19.9472 | 23.13 | 25.77 | 11810 |
| 18/10/23 | 14 | 13.7708 | 24.6 | 25.67 | 2044.17 |
| 18/10/23 | 0.5 | 3.1313 | 24.17 | 25.19 | 690.83 |
| 19/10/23 | 8.25 | 10.9411 | 19.3 | 19.9 | 912.5 |
| 19/10/23 | 39.5 | 49.6123 | 19.68 | 20.54 | 3075 |
| 19/10/23 | 100 | 108.6732 | 21.71 | 24.67 | 10556.67 |
| 19/10/23 | 124.75 | 144.4866 | 25.2 | 31.7 | 18523.33 |
| 19/10/23 | 206.25 | 200.2661 | 25.77 | 34.14 | 24280.83 |
| 19/10/23 | 295 | 276.9606 | 29.58 | 38.01 | 54612.5 |
| 19/10/23 | 244 | 274.0316 | 32.03 | 40.2 | 54612.5 |

| | | | | | |
|----------|--------|----------|-------|-------|----------|
| 19/10/23 | 281.75 | 262.4146 | 33.82 | 40.17 | 54612.5 |
| 19/10/23 | 213.5 | 229.9213 | 36.12 | 43.83 | 31095 |
| 19/10/23 | 183.25 | 185.2559 | 36.12 | 39.5 | 36238.33 |
| 19/10/23 | 64.5 | 63.3271 | 31.43 | 34.33 | 18695 |
| 19/10/23 | 45 | 42.11 | 26.74 | 29.21 | 6737.5 |
| 19/10/23 | 2.5 | 8.0805 | 26.18 | 28.27 | 1194.17 |
| 20/10/23 | 3.25 | 6.8059 | 18.09 | 18.93 | 100.83 |
| 20/10/23 | 20.75 | 26.657 | 17.5 | 18.67 | 1609.17 |
| 20/10/23 | 95.75 | 101.345 | 18.07 | 21.02 | 10860 |
| 20/10/23 | 146.75 | 154.5074 | 20.51 | 25.66 | 14911.67 |
| 20/10/23 | 129.5 | 118.2462 | 22.89 | 29.94 | 25781.67 |
| 20/10/23 | 128.5 | 141.1179 | 24.16 | 29.6 | 19786.67 |
| 20/10/23 | 261.25 | 271.0471 | 26.03 | 33.11 | 40416.66 |
| 20/10/23 | 283 | 273.1191 | 32 | 41.99 | 54612.5 |
| 20/10/23 | 228.5 | 298.4282 | 33.58 | 41.86 | 54612.5 |
| 20/10/23 | 263.25 | 260.3125 | 34.91 | 42.78 | 54612.5 |
| 20/10/23 | 199.25 | 189.3926 | 34.42 | 39.34 | 45790.83 |
| 20/10/23 | 92.5 | 83.9961 | 33.23 | 35 | 17109.17 |
| 20/10/23 | 2.75 | 6.6964 | 31.97 | 36.27 | 3367.5 |
| 21/10/23 | 12.5 | 13.4636 | 18.47 | 19.02 | 522.5 |
| 21/10/23 | 45 | 43.3488 | 20.33 | 20.43 | 3925 |
| 21/10/23 | 109.25 | 125.5797 | 22.25 | 25.02 | 8168.33 |
| 21/10/23 | 168.5 | 205.6107 | 25.11 | 31.07 | 13006.67 |
| 21/10/23 | 249 | 263.5964 | 28.12 | 37.02 | 32808.33 |
| 21/10/23 | 248.5 | 264.7854 | 31.6 | 38.43 | 54612.5 |
| 21/10/23 | 280.75 | 263.3907 | 33.26 | 41.37 | 54612.5 |
| 21/10/23 | 239.25 | 269.5927 | 35.96 | 44.31 | 54612.5 |
| 21/10/23 | 292 | 306.5309 | 37.33 | 45.36 | 54612.5 |
| 21/10/23 | 183 | 270.5972 | 37.53 | 43.78 | 54612.5 |
| 21/10/23 | 204.5 | 197.0805 | 37.01 | 42.28 | 45900 |
| 21/10/23 | 83.5 | 86.0831 | 35 | 36.98 | 16450 |
| 21/10/23 | 2.5 | 5.4396 | 32.78 | 36.28 | 2997.5 |
| 22/10/23 | 0.25 | 2.7219 | 18.2 | 18.7 | 762.5 |
| 22/10/23 | 10.5 | 10.8862 | 20.08 | 19.86 | 2768.33 |
| 22/10/23 | 34.25 | 36.1391 | 22.66 | 23.57 | 5313.33 |
| 22/10/23 | 101.5 | 113.2427 | 25.76 | 30.86 | 10328.33 |
| 22/10/23 | 197 | 214.6972 | 29.52 | 38.97 | 30536.67 |
| 22/10/23 | 182.75 | 264.9786 | 31.81 | 38.02 | 54612.5 |
| 22/10/23 | 292.25 | 283.7788 | 34.78 | 40.31 | 54612.5 |
| 22/10/23 | 267 | 283.293 | 36.66 | 42.12 | 54612.5 |
| 22/10/23 | 295 | 294.3632 | 38.58 | 43.59 | 54612.5 |
| 22/10/23 | 273.25 | 275.5714 | 40.87 | 44.78 | 54612.5 |
| 22/10/23 | 276.5 | 226.3037 | 39.92 | 42.39 | 51114.16 |
| 22/10/23 | 123.25 | 116.0011 | 37.08 | 37.68 | 20048.33 |
| 22/10/23 | 89.5 | 89.4771 | 34.27 | 35.4 | 1536.67 |
| 22/10/23 | 0 | 0.7469 | 32.82 | 34.28 | 384.17 |
| 23/10/23 | 0 | 0 | 21.08 | 22.4 | 33.33 |
| 23/10/23 | 10.75 | 11.7997 | 20.95 | 22.31 | 430.83 |
| 23/10/23 | 40.25 | 43.9492 | 22.73 | 23.21 | 3048.33 |

| | | | | | |
|----------|--------|----------|-------|-------|----------|
| 23/10/23 | 120.75 | 133.7639 | 26.84 | 27.91 | 7269.17 |
| 23/10/23 | 166.75 | 211.3314 | 30.55 | 33.75 | 14211.67 |
| 23/10/23 | 250.75 | 258.0001 | 33.23 | 38.35 | 31325 |
| 23/10/23 | 281.75 | 265.5168 | 36.33 | 42.7 | 54612.5 |
| 23/10/23 | 244.75 | 259.327 | 39.19 | 48.76 | 54612.5 |
| 23/10/23 | 278 | 272.6696 | 40.73 | 51.46 | 54612.5 |
| 23/10/23 | 305.25 | 286.7096 | 41.48 | 49.93 | 54612.5 |
| 23/10/23 | 238.75 | 250.8597 | 41.54 | 51.8 | 54612.5 |
| 23/10/23 | 169.75 | 157.0827 | 40.89 | 50.13 | 45239.16 |
| 23/10/23 | 78.25 | 70.8925 | 39.55 | 43.85 | 17026.67 |
| 23/10/23 | 4.25 | 7.5365 | 37.22 | 39.9 | 1350 |
| 24/10/23 | 12 | 15.894 | 26.42 | 25.92 | 5176.67 |
| 24/10/23 | 61.75 | 75.5365 | 30.5 | 32.72 | 14613.33 |
| 24/10/23 | 97.75 | 115.7969 | 30.77 | 33.52 | 17643.33 |
| 24/10/23 | 174.75 | 183.3925 | 31.33 | 35.1 | 16023.33 |
| 24/10/23 | 222.5 | 231.5771 | 33.66 | 39.06 | 31037.5 |
| 24/10/23 | 233.75 | 239.2414 | 35.27 | 41.46 | 54612.5 |
| 24/10/23 | 289 | 271.7251 | 36.39 | 41.72 | 49750 |
| 24/10/23 | 242.25 | 254.2034 | 37.83 | 47.25 | 54036.66 |
| 24/10/23 | 215.25 | 179.2232 | 37.94 | 46.55 | 36196.66 |
| 24/10/23 | 69.25 | 68.2141 | 37.1 | 42.93 | 41005.83 |
| 24/10/23 | 6.5 | 9.413 | 33.72 | 36.49 | 4944.17 |
| 25/10/23 | 17.25 | 19.4637 | 21.14 | 22.55 | 455 |
| 25/10/23 | 64.5 | 65.7209 | 22.64 | 23.45 | 4827.5 |
| 25/10/23 | 85.5 | 112.1866 | 25.17 | 28.17 | 11185.83 |
| 25/10/23 | 155.75 | 144.2655 | 26.6 | 30.84 | 17060 |
| 25/10/23 | 206 | 227.6002 | 28.78 | 34.03 | 31893.33 |
| 25/10/23 | 244.25 | 260.5047 | 30.63 | 39.09 | 49466.66 |
| 25/10/23 | 299 | 264.5218 | 32.28 | 43.6 | 54612.5 |
| 25/10/23 | 247.25 | 241.5811 | 33.35 | 46.48 | 54612.5 |
| 25/10/23 | 270.25 | 269.2292 | 33.36 | 42.45 | 50901.66 |
| 25/10/23 | 210.5 | 202.9688 | 35.33 | 45.29 | 54184.16 |
| 25/10/23 | 137.5 | 126.2104 | 33.55 | 40.01 | 28922.5 |
| 25/10/23 | 32 | 28.8113 | 31.51 | 35.11 | 9767.5 |
| 25/10/23 | 1.75 | 5.2695 | 30.17 | 31.98 | 1725 |
| 26/10/23 | 0.25 | 2.468 | 23.55 | 24.92 | 4.17 |
| 26/10/23 | 14.5 | 15.1519 | 23.25 | 24.8 | 765 |
| 26/10/23 | 49 | 53.954 | 24.7 | 26.31 | 5485 |
| 26/10/23 | 103.5 | 101.0482 | 28.45 | 30.32 | 13595.83 |
| 26/10/23 | 122 | 146.5239 | 31.07 | 34.74 | 15724.17 |
| 26/10/23 | 144.25 | 150.4433 | 34.68 | 42.75 | 24101.67 |
| 26/10/23 | 242 | 242.1184 | 31.42 | 36.21 | 38625.83 |
| 26/10/23 | 253.25 | 260.66 | 33.7 | 41.89 | 42881.66 |
| 26/10/23 | 241.75 | 246.9348 | 34.18 | 43.29 | 29944.17 |
| 26/10/23 | 142 | 129.1708 | 35.46 | 45.18 | 38640.83 |
| 26/10/23 | 86.75 | 77.0796 | 33.21 | 37.3 | 10046.67 |
| 26/10/23 | 153.25 | 157.0141 | 33.84 | 36.81 | 37952.5 |
| 26/10/23 | 38.5 | 37.7087 | 34.22 | 39.63 | 15780.83 |
| 26/10/23 | 0 | 1.575 | 31.4 | 32.51 | 940 |

| | | | | | |
|----------|--------|----------|-------|-------|----------|
| 27/10/23 | 9.5 | 10.6522 | 21.33 | 22.41 | 579.17 |
| 27/10/23 | 34.5 | 36.6591 | 21.78 | 22.89 | 1141.67 |
| 27/10/23 | 98.75 | 119.3559 | 22.63 | 23.68 | 10895.83 |
| 27/10/23 | 148.5 | 164.4551 | 25.72 | 28.8 | 19093.33 |
| 27/10/23 | 269 | 256.9327 | 30.29 | 35.72 | 35474.16 |
| 27/10/23 | 252.5 | 266.129 | 32.63 | 41 | 52905 |
| 27/10/23 | 81.5 | 79.4135 | 34.34 | 44.02 | 35722.5 |
| 27/10/23 | 91.25 | 91.2774 | 29.15 | 31.67 | 8150.83 |
| 27/10/23 | 208 | 211.5265 | 25.91 | 27.99 | 11542.5 |
| 27/10/23 | 101.75 | 85.4201 | 29.5 | 36.71 | 29601.67 |
| 27/10/23 | 59.5 | 61.2638 | 27.74 | 30.25 | 10636.67 |
| 27/10/23 | 9 | 14.9113 | 27.21 | 29.33 | 5440.83 |
| 28/10/23 | 8.5 | 12.7227 | 21.55 | 22.45 | 232.5 |
| 28/10/23 | 37.5 | 38.3495 | 21.97 | 22.93 | 4255 |
| 28/10/23 | 94 | 93.578 | 22.76 | 23.76 | 13278.33 |
| 28/10/23 | 95 | 116.6512 | 24.24 | 26.57 | 14380.83 |
| 28/10/23 | 141.5 | 128.1306 | 25.15 | 27.64 | 13582.5 |
| 28/10/23 | 156.5 | 233.1903 | 27.53 | 30.44 | 35131.66 |
| 28/10/23 | 197.25 | 203.8778 | 30.79 | 35.53 | 42220.83 |
| 28/10/23 | 264.5 | 239.9779 | 31.7 | 35.62 | 42103.33 |
| 28/10/23 | 126.25 | 137.9621 | 33.36 | 39.34 | 54612.5 |
| 28/10/23 | 11.25 | 11.8233 | 30.76 | 33.61 | 2395 |
| 29/10/23 | 0 | 0.7125 | 21.94 | 22.89 | 15.83 |
| 29/10/23 | 16 | 21.2537 | 22.01 | 22.94 | 824.17 |
| 29/10/23 | 61.75 | 59.7316 | 22.91 | 23.97 | 6162.5 |
| 29/10/23 | 114.75 | 118.4215 | 25.48 | 27.75 | 9976.67 |
| 29/10/23 | 139.5 | 145.9723 | 28.41 | 32.6 | 14647.5 |
| 29/10/23 | 171.25 | 144.5457 | 30.04 | 34.3 | 42570 |
| 29/10/23 | 47 | 49.5657 | 30.02 | 33.1 | 5517.5 |
| 29/10/23 | 208.75 | 214.1208 | 25.21 | 26.69 | 29765.83 |
| 29/10/23 | 235.25 | 257.9229 | 30.57 | 36.11 | 39091.66 |
| 29/10/23 | 201.5 | 198.7121 | 34.64 | 43.72 | 23431.67 |
| 29/10/23 | 149.75 | 125.0502 | 33.16 | 39.55 | 54612.5 |
| 29/10/23 | 22.75 | 31.8623 | 32.09 | 35.73 | 9007.5 |