

**Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG**  
**Curso de Engenharia Civil**

**LUCAS DE OLIVEIRA NEVES**

**ESTUDO DE DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE COBERTURA COM TELHADO  
VERDE E COBERTURA COM TELHA DE FIBROCIMENTO A BASE DE  
ARDUINO**

**Publicação Nº 07**

**Goianésia - GO**  
**2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NEVES, LUCAS OLIVEIRA.

Estudo de desempenho térmico entre cobertura com telhado verde e cobertura com telha de fibrocimento a base de Arduino. 2023 xi, 14P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1. Sensores         | 2. Comparativo     |
| 3. Conforto térmico | 4. Arduino         |
| I. ENC/FACEG        | II. Título (Série) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NEVES, L. O. Estudo de desempenho térmico entre cobertura com telhado verde e cobertura com telha de fibrocimento a base de Arduino, Publicação VII 2023/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 14p. 2023.

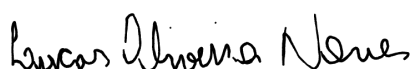
## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas de Oliveira Neves

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Estudo de desempenho térmico entre cobertura com telhado verde e cobertura com telha de fibrocimento a base de Arduino.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Lucas de Oliveira Neves  
Rua Jerivá Quadra 15 Lote 34  
76386-095 - Goianésia/GO – Brasil

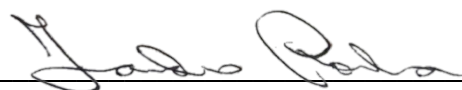
**LUCAS DE OLIVEIRA NEVES**

**ESTUDO DE DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE COBERTURA COM TELHADO  
VERDE E COBERTURA COM TELHA DE FIBROCIMENTO A BASE DE  
ARDUINO**

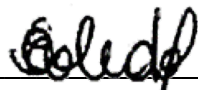
**Publicação Nº 07**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,  
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG**

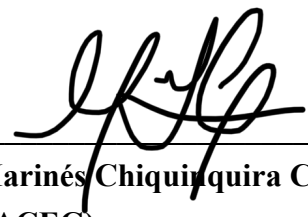
**Aprovados por:**



**Ivandro José de Freitas Rocha, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG)  
(ORIENTADOR)**



**Eduardo Martins Toledo, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Marínés Chiquinquirá Carvajal Bravo, Doutor (a) (Faculdade Evangélica de Goianésia -  
FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia - GO  
2023**

# ESTUDO DE DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE COBERTURA COM TELHADO VERDE E COBERTURA COM TELHA DE FIBROCIMENTO A BASE DE ARDUINO

Lucas de Oliveira Neves<sup>1</sup>  
Ivandro José de Freitas Rocha<sup>2</sup>

## RESUMO

Com o avanço urbano e a diminuição das áreas verdes, houve o aumento significativo na temperatura do interior dos ambientes. O desempenho térmico é a avaliação do ambiente em relação à sensação que ele proporciona ao ser humano. O telhado, por ser a parte da construção com maior incidência solar, é um fator fundamental na determinação da temperatura no interior do ambiente. Com esse novo panorama mundial é constante a busca por novos materiais ou técnicas para melhorar o conforto térmico. O objetivo deste estudo foi comparar o conforto térmico proporcionado por dois tipos de coberturas que têm como base a mesma telha de fibrocimento. A diferença entre elas está na presença de uma cobertura verde em uma das opções. O experimento foi montado em duas células testes que se encontram do lado do Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia-GO. O monitoramento feito realizou-se utilizando um *data logger* desenvolvido com Arduino. O sistema registra, com auxílio de um relógio de tempo real (RTC), a partir de intervalos de tempos definidos, informações de temperatura e umidade de cada uma das duas células teste. Os dados obtidos por cada célula foram comparados entre si e mostraram o comportamento dos diferentes tipos de telhados frente as amplitudes térmicas do meio externo. Os dados coletados dos sensores destacam a variação de temperatura entre as coberturas. Na célula com telha de fibrocimento, houve uma amplitude térmica significativa, atingindo cerca de 19°C entre as temperaturas máxima e mínima. Isso resultou em uma diferença percentual expressiva de aproximadamente 47,19%. Já na célula com telhado verde, a amplitude térmica foi menor, cerca de 11,06°C, com uma diferença percentual de aproximadamente 26,20%. Ao comparar o interior das células, a diferença percentual na célula de fibrocimento foi de 45,59%, enquanto na célula com telhado verde foi de 19,65%. Em resumo, os dados indicam que o telhado verde mantém uma estabilidade térmica notável, proporcionando um ambiente mais consistente em diferentes condições climáticas, enquanto a célula com fibrocimento demonstrou variações mais acentuadas. Assim, o telhado verde se mostra não apenas como uma alternativa ecologicamente viável, mas também como uma solução promissora para práticas construtivas mais sustentáveis no futuro, tendo em vista o ótimo isolamento térmico, absorção de CO<sub>2</sub>, retenção de água, produzir biodiversidade urbana e prolongar a vida útil do telhado.

**Palavras-chave:** sustentabilidade, telhado, monitoramento.

---

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: [lucas.lo55@gmail.com](mailto:lucas.lo55@gmail.com)

<sup>2</sup> Titulação, professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: [ivandro.rocha@faceg.edu.br](mailto:ivandro.rocha@faceg.edu.br)

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho e conforto térmico das edificações é um elemento construído em favor das pessoas que iram habitar o ambiente e, tendo assim vários requisitos para que possam atender todos os índices indicados. A busca pelo conforto térmico nas edificações é crucial para assegurar ambientes habitáveis e eficientes. A norma NBR 15575/2021 representa um marco significativo ao estabelecer diretrizes para o desempenho de construções habitacionais, visando não apenas elevar a qualidade, mas também atender às demandas dos usuários e impulsionar avanços tecnológicos na construção no Brasil.

Devido a diminuição de áreas verdes ao redor do globo e o aumento de áreas urbanas, o desempenho térmico das residências tem diminuído significativamente, criando uma área de calor maior do que era habitual a alguns anos atrás. Fazendo com que as pessoas no geral procurassem outros meios para aumentar o conforto térmico de sua casa através de equipamentos (ar condicionado, climatizador, ventilador e etc.). O desempenho térmico adequado é aquele que serve de base para que as pessoas possam realizar suas atividades (sono, trabalho, lazer e atividades normais.) com conforto, ainda também servindo como fonte de economia de energia.

Conforme ressaltado por Borges e Sabbatini (2008), o desempenho térmico deve atender às exigências dos moradores, proporcionando durabilidade, conforto, segurança e eficiência energética. A sustentabilidade tem sido um grande motivador para estudos e investimentos nessa área. Naranjo (2011) destaca que os principais elementos que determinam o desempenho térmico são denominados envolventes (paredes e cobertura). Dessa forma o desempenho térmico de habitação ideal dependendo dos materiais constituintes e da zona climática onde está situada a habitação. A cobertura sendo a parte mais exposta à radiação solar transmite essa energia aos demais ambientes, e isso influencia diretamente no uso de energia, já que os usuários iram procurar métodos artificiais de conforto térmico.

No mercado existe diversos tipos de cobertura disponível a serem utilizados em obras de construção civil, porém, com o aumento na diminuição de alguns recursos naturais, veio a necessidade de utilizar construções com âmbito sustentável (SEABRA; MENDONÇA, 2011). Nesse mesmo âmbito, Lopes (2007) cita que veio como alternativa o telhado verde ou eco telhado, que mesmo sendo uma técnica antiga, somente no período atual começou a ter estudos, utilização e maior visibilidade em território brasileiro. Vecchia (2005) em seu estudo diz que a visibilidade veio graças as suas características como a sustentabilidade, o aumento da área verde útil, controle de escoamento superficial, diminuição de ruído e influenciando diretamente na temperatura interior do ambiente, criando um ambiente térmico com conforto seja no inverno ou no verão.

Outro fator forte é o grande apelo estético e a possibilidade de um grande potencial para agricultura urbana proporcionadas pelo uso do telhado verde. Os telhados verdes ainda apresentar potencial para proteção da cobertura contra os raios ultravioletas, temperaturas extremas, efeitos de ventos e contração e retração estrutural, o que faz com que a vida útil do telhado seja maior (TASSI; TASSINARI; PICCILLI; PERSCH, 2014).

Nesta perspectiva, o seguinte trabalho irá avaliar o desempenho térmico de duas células teste, onde elas usam telhas de fibrocimento, porém em uma delas contem instalado sobre ela o telhado verde. O trabalho irá avaliar com um sistema de *data logger* qual possui maior capacidade de conforto térmico, avaliando a temperatura dentro e fora do ambiente.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Flach (2012), afirma que a cobertura em uma edificação é referente a parte superior, que impede que a parte interior da residência fique exposta a fatores climáticos tais como chuvas, ventos, sol, entre outros meios. A cobertura é feita com o objetivo de proteção e conforto de seus usuários, sendo assim, precisa se assegurar uma qualidade elevada.

Estruturas em madeiras são comumente utilizadas para a cobertura de obras destinadas à habitação, porém, em alguns casos, coberturas metálicas atendem melhor ao uso, resistência, durabilidade e segurança. Estruturas em aço são resistentes e confiáveis, tornando assim sua aplicação bastante comum. Variadas definições podem ser classificadas no que se refere a cobertura, assim como inúmeros materiais podem ser utilizados na sua construção, com destaque para telhas, lajes, terraços, entre outros.

Segundo Frota e Schiffer (2001), o conforto térmico é um ambiente no qual o usuário se sente confortável em relação à temperatura, permitindo um melhor desempenho em atividades intelectuais, físicas e de lazer. Isso ocorre devido à menor quantidade de energia que o corpo humano utiliza para manter a temperatura dentro de limites toleráveis, uma vez que somos seres homeotérmicos. Essa condição também é definida como a satisfação térmica do indivíduo, influenciada principalmente por variáveis ambientais, vestimenta e esforço físico. Para avaliar essas variáveis, instrumentos de medição como termômetros de globo, termômetros de bulbo seco, anemômetros de palhetas e psicrômetros giratórios são comumente utilizados.

Bello (2013) ressalta que o corpo humano não consegue acompanhar a variação de temperatura a qual é exposta o tempo todo, para isso, é necessário vestimentas adequadas e edificações que auxiliem na regularização corporal. Como as vestimentas podem ser adaptadas facilmente, resta focar no projeto de edificação, que após ser executado, apresente ambientes mais confortáveis e conveniente a seus usuários.

Segundo Roriz (2008) o desempenho térmico das coberturas depende prioritariamente das propriedades físicas dos materiais. Elas devem possuir grande resistência térmica e ser leves, para garantir um bom isolamento térmico, o que irá afetar que a face inferior da cobertura se aqueça em excesso.

Para que uma edificação esteja nos critérios mínimos exigidos pela norma NBR 15575 (2021), a máxima que a temperatura do ar no interior dos recintos onde a permanência seja mais elevada tem de ser menor ou igual a temperatura do ar do ambiente externo. Para as temperaturas mínimas internas, se exige que que sejam maiores que as temperaturas mínimas externas somadas com 3°C.

Ainda segundo a NBR 15220 (2003) e 15575 (2021), o Brasil é separado por zonas bioclimáticas onde para cada região deve-se adotar critérios mínimos para avaliar o desempenho da cobertura. A maior quantidade de energia absorvida pela edificação é graças aos raios solares.

O telhado verde está diretamente relacionado ao desempenho térmico das edificações. Ele não apenas oferece benefícios estéticos e ambientais, mas também desempenha um papel crucial na regulação da temperatura interna dos edifícios. A camada vegetal do telhado verde atua como isolante térmico, ajudando a reduzir a transferência de calor entre o interior e o exterior da construção. Além disso, o telhado verde pode minimizar os efeitos do calor excessivo durante períodos quentes, contribuindo para um ambiente mais fresco e confortável dentro das residências e edifícios (TASSI; TASSINARI; PICCILLI; PERSCH, 2014).

Antes de sua construção, deve ser feito um estudo para verificar se a estrutura suporta tais condições. É necessário todo um cuidado e as telhas precisam ser resistentes, visto que a estrutura, em média, pesa cerca de 40 kg/m<sup>2</sup>. Por isso, se a residência for antiga por exemplo, recomenda-se trocar as telhas (JESUS, 2018).

**Figura 1** – modelo de telhado verde



Fonte: Gazeta do Povo (2018)

Jesus (2018) afirma em seu estudo que a telha mais recomendada para esse tipo de cobertura é a de fibrocimento, devido ser mais resistente. No âmbito da construção civil, o telhado verde veio como uma solução para vários problemas ambientais, como por exemplo, diminuição da poluição, minimizar os efeitos das ilhas de calor, melhoria na qualidade do ar, além de um aumento significativo das áreas verdes em território urbano.

O telhado verde apresenta uma gama variada de benefícios, tendo contribuições significativas para a sociedade e projetos de edificação (JESUS, 2018):

- Qualidade do ar: Utilizar esse sistema aumenta-se a qualidade do ar do meio urbano, pois a zona verde absorve quaisquer substâncias tóxicas e libera oxigênio na atmosfera.
- Ilhas de calor: devido a incidência de raios solares sobre o asfalto por exemplo, criasse um aumento na temperatura local e a movimentação de partículas de poeira. Porém, o telhado verde, por reduzir a temperatura é uma solução adequada para o problema, melhora a parte de isolamento térmico.
- Isolamento térmico: devido às várias camadas utilizadas na instalação do telhado verde, o mesmo funciona como um isolante térmico, reafirmando a ideia de que não precisa de meios artificiais para o ambiente.

- Filtração de águas pluviais: o telhado verde também ajuda na contenção de compostos químicos e filtra as impurezas. Tendo em vista isso, ocorre maior retenção da água das chuvas, pois toda a vegetação ajuda na drenagem, consequentemente, minimiza possíveis enchentes, pois retendo a água da chuva, o resto não vai para as ruas.
- Isolamento acústico: é proporcionado por ação do substrato e das plantas, pois reduzem o ruído graças a absorção de energia sonora em energia de movimento e calor.
- Estética: valoriza a construção como um todo, pois além do baixo custo e da paisagem agradável, serve como ferramenta de aumento das áreas verdes nos centros urbanos, servindo para aumento das áreas de lazer, além de agregar valor considerando a construção como sustentável.
- Custo: O preço varia por estar em torno de R\$ 100,00 a 150/m<sup>2</sup>, pois depende da escolha da região e do tipo. O custo inicial é caro, porém a vida útil compensa isso, pois dura o dobro se comparado aos telhados convencionais.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o desempenho térmico das coberturas selecionadas, adotou-se o método de medição in loco por meio de células de teste localizadas na FACEG. Dessas células, duas foram especialmente designadas para avaliar coberturas com telhas de fibrocimento. Ambas as células de teste estão instaladas no setor de experimentos da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), conforme representado na Figura 2, situada no município de Goianésia, no centro-oeste do estado de Goiás.

**Figura 2** – localização das células teste



Fonte: Google Earth (2023)

Seguindo a metodologia utilizada por Toledo (2017), as células teste tem dimensões de 1x1m e altura de 1,27m, usou-se a fundação do tipo radier e distância 1,5 metros entre cada célula teste.

Características das células teste:

- Paredes: alvenaria convencional (bloco cerâmico de 6 furos - 9,0 x 14 x 19 cm);



- Fundação: radier de concreto armado ( $f_{ck}=15$  MPa, armado com tela de aço CA60 de  $\phi=4,2$  mm e espaçamento de 15 em 15 cm)
- Telhas: as células teste 1 e 2 tem telha de fibrocimento com 6 mm. As telhas foram fixadas sobre a estrutura de madeira (caibros) e constituíram uma cobertura com inclinação de 27%.

A primeira célula de teste manteve sua estrutura original de envoltórios (paredes e cobertura), sem passar por adaptações significativas, exceto por uma limpeza e remoção das cascas que se soltavam das paredes. Por outro lado, na segunda célula de teste, destinada à instalação do telhado verde, a estrutura base foi modificada para acomodar adequadamente essa montagem específica.

De início criou-se uma proteção ao redor para impedir que ações de chuva ou vento faça com que o projeto caia ou se desintegre. Para isso, construiu-se um suporte ao redor, primeiramente, recortando quatro tiras de madeiras, onde duas dessas tiras havia dimensão de 0,15 x 1,80 m e as outras duas tiras de 0,15 x 1,83 m. Com as quatro tiras confeccionadas criou-se o suporte que pode ser observado na Figura 3. Com a limpeza e o suporte montado, se fez possível a montagem do telhado verde.

**Figura 3** – Adaptação da célula teste 2 presente na FACEG

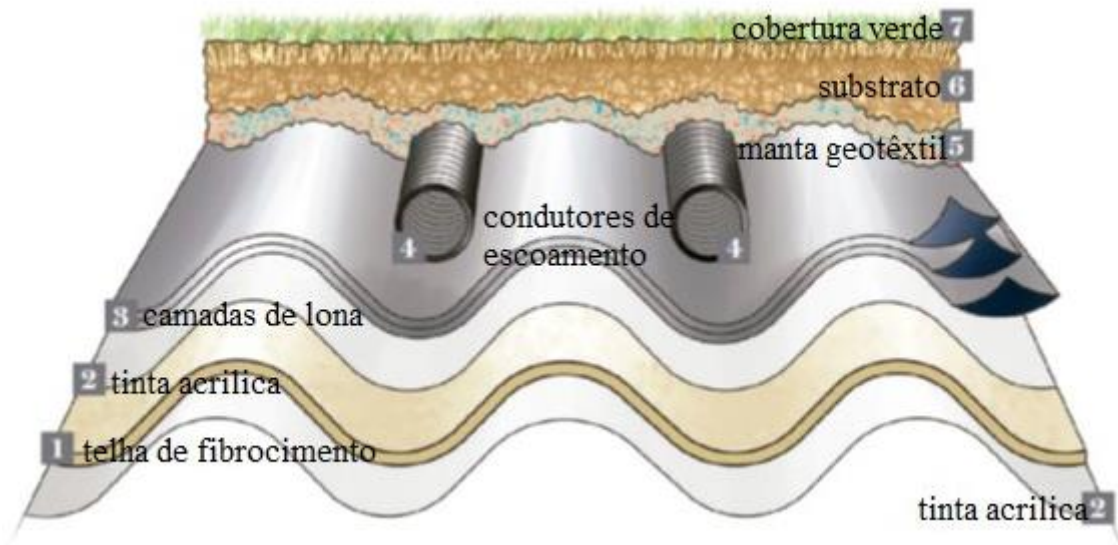


Fonte: do autor (2023)

### 3.1 MONTAGEM DO TELHADO VERDE

A Figura 4 detalha como foi realizado a montagem do telhado verde sobre a telha de fibrocimento.

**Figura 4** – Passo a passo da montagem do telhado verde sobre telha de fibrocimento



(1) Verificação das telhas: priorizando a avaliação da resistência do material. (2) Aplicação da proteção acrílica: aplicação do impermeabilizante em ambos os lados das telhas. (3) Camadas de lona: foram adicionadas três camadas de lona embutida. (4) Condutores de escoamento: foram instalados utilizando eletroduto corrugado flexível com furos estrategicamente posicionados para evitar o acúmulo de água. Isso visa manter o substrato sempre úmido e saudável para a cobertura verde. (5) Aplicação da camada geotêxtil: uma manta geotêxtil foi aplicada para impedir que as plantas ultrapassem o limite desejado e impeçam o escoamento do substrato. (6) Adição de substrato: Foram utilizados três sacos de 18 litros de substrato, totalizando 0,054m<sup>3</sup>, distribuídos sobre a estrutura. (7) Instalação da cobertura verde: foi instalado um tapete de grama esmerada cobrindo uma área de 3m<sup>2</sup>. Fonte: Adaptado de Brasilit (2021)

Devido ao intenso calor, foi implementado um sistema de irrigação para manter a vitalidade do telhado, conforme ilustrado na Figura 5. Esse sistema envolveu a conexão de uma mangueira às células de teste, operando com auxílio de um sistema de irrigação.

**Figura 5** – (A) Montagem e (B) finalização do telhado verde na célula teste.



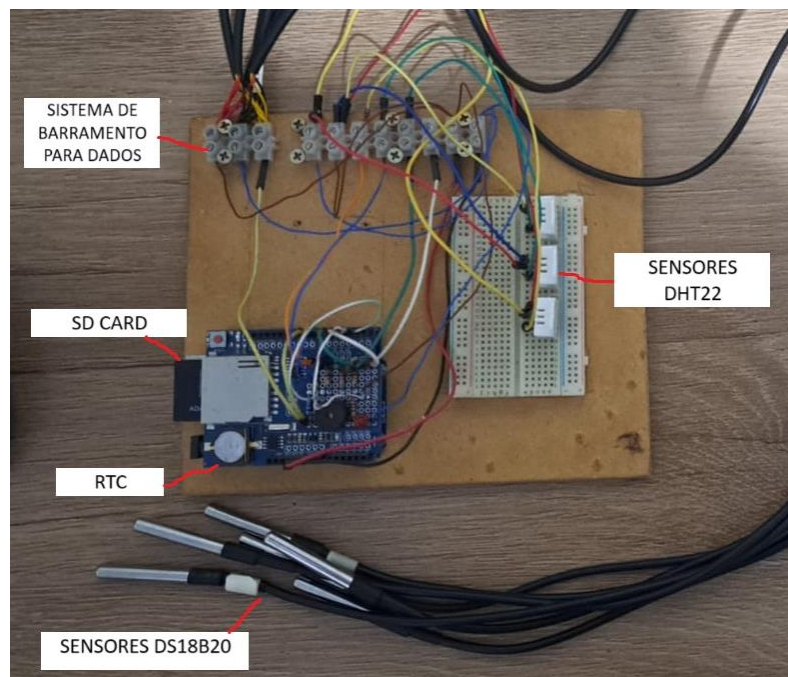
A

B

### 3.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O protótipo foi inicialmente montado em um protoboard para testar o *Shield* e cada um dos sensores. Isso permitiu verificar o funcionamento do *Shield*, que já inclui um *SD Card*, *Real-Time Clock* e alguns componentes. Cada sensor foi testado individualmente para prevenir possíveis erros ou problemas no futuro. Na Figura 6, é apresentado o protótipo final, o qual além dos componentes presentes no *Shield datalogger*, como o *RTC* e o leitor de cartão SD, incluiu 4 sensores DS18B20, 3 DHT22, um *buzzer* e um LED vermelho.

**Figura 6** – protótipo de aquisição de dados



Fonte: do autor (2023)

No protótipo, foram implementadas melhorias visando a instalação do *Shield datalogger* na base de coleta de dados. Devido ao risco de oxidação da *protoboard* devido à poeira e umidade no campo de coleta, todas as saídas da *protoboard* foram removidas e substituídas por um sistema de *jumpers*, comumente utilizados em instalações elétricas. Além disso, os resistores foram soldados na placa, um para cada saída de dados dos sensores. O software do sistema de aquisição de dados captura e armazena esses valores de temperatura e umidade através dos sensores a cada 5 minutos, durante o dia todo, sendo assim, 24 horas do dia.

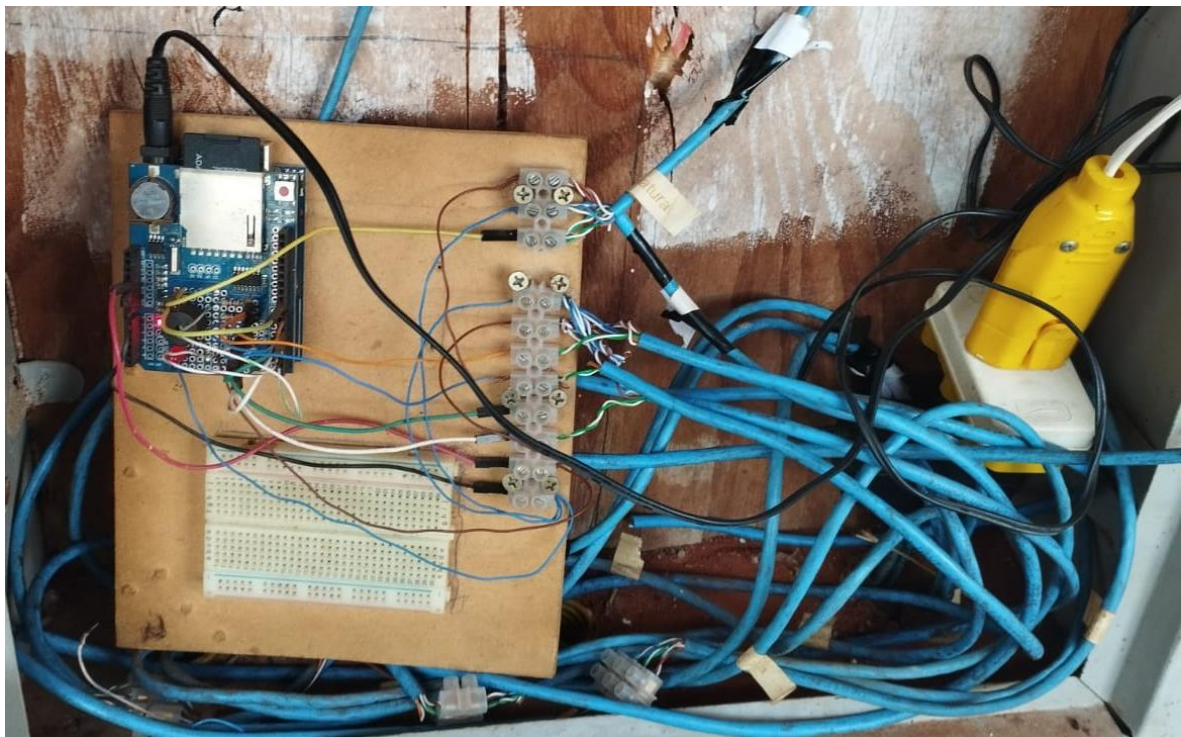
O barramento foi empregado para suprir tanto os cabos de dados do DHT22, anteriormente isolados, quanto para conectar os sensores adicionais, integrados às saídas 4, 5 e 6 do *shield*. O sensor DS18B20 tem a capacidade de conexão em série, utilizando apenas a saída de dados na porta 8 do *Shield*, permitindo a captura de dados de todos os 4 sensores necessários.

Para monitorar o funcionamento e identificar falhas, foi implementado um sistema com um *buzzer*. A cada intervalo de cinco minutos, o *buzzer* emite um sinal sonoro indicando

uma nova captura de dados. No caso de uma falha, o LED vermelho é acionado e o *buzzer* emite sinais sonoros repetidos para alertar sobre o erro ocorrido.

Conforme mostrado na Figura 7, o protótipo foi instalado em uma estrutura menor denominada base de dados. Para garantir a alimentação, optou-se por centralizar tudo no próprio Centro Tecnológico da FACEG. Foi feita a conexão do *Nobreak* a uma extensão que se estendia de uma das salas do Centro Tecnológico até a base de dados. Na base de dados, foram mantidos apenas o protótipo e a fonte de alimentação, conectados à ponta da extensão que supriria energia para todo esse equipamento.

**Figura 7** – Protótipo final instalado na base de coleta de dados

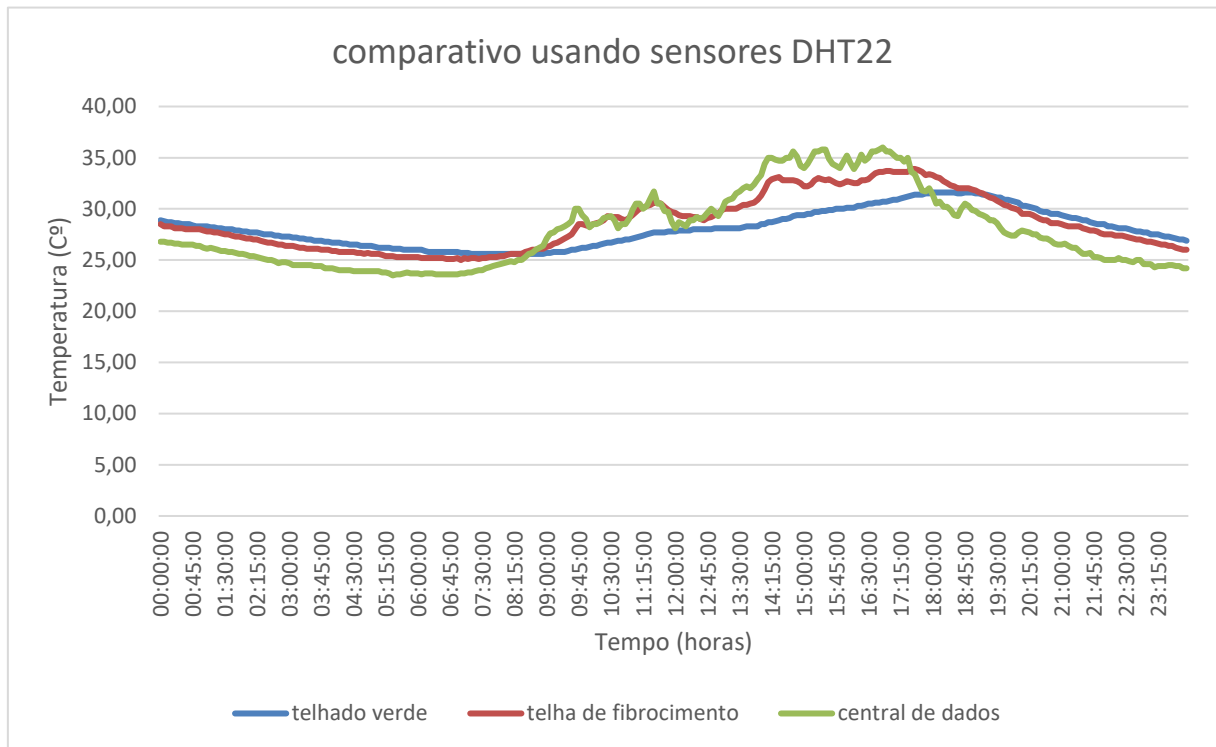


Fonte: do autor (2023)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise de vários dias, o escolhido para o comparativo foi o dia 03 de dezembro. Este dia apresentou altas temperaturas pela manhã e parte da tarde, devido à intensa exposição solar. Contudo, durante uma parte da tarde, houve chuva, seguida por um período nublado à noite. Essa variação climática permitiu uma comparação mais abrangente.

A comparação inicial é vista pela Figura 8, empregando o sensor de temperatura e umidade DHT22. Essa representação oferece uma visão clara da diferenciação entre as duas células testadas, permitindo ainda o monitoramento da temperatura ambiente na base de aquisição de dados.

**Figura 8** – comparativo de desempenho térmico usando os sensores DHT22

Fonte: do autor (2023)

A amplitude térmica, representa a diferença entre as temperaturas máxima e mínima em um determinado local ou intervalo, é crucial na avaliação do conforto térmico e eficiência energética de um ambiente. Na central de dados, essa amplitude foi de aproximadamente 12,3 graus Celsius, variando de 36°C a 23,7°C. No telhado verde, a variação foi menor, cerca de 4 graus Celsius, oscilando entre 30,7°C e 26,7°C. Já na célula teste com cobertura de fibrocimento, a amplitude foi de aproximadamente 7,2 graus Celsius, variando entre 25,4°C e 32,6°C. Essas variações expressivas entre diferentes áreas podem indicar a eficiência do isolamento térmico de cada superfície, impactando diretamente na sensação de conforto térmico e no consumo de energia do ambiente. Para calcular as diferenças percentuais entre as temperaturas máxima e mínima de cada área, utilizou-se a Equação 1:

$$(Diferença\ de\ Temperatura / Temperatura\ Máxima) \times 100\% \quad (1)$$

Aplicando essa fórmula aos dados fornecidos temos as diferenças percentuais entre as temperaturas máxima e mínima para cada área:

- Na central de dados: aproximadamente 34,17%;
- No telhado verde: cerca de 13,03%;
- Na célula teste com cobertura de fibrocimento: aproximadamente 22,09%.

Esses percentuais demonstram as variações proporcionais entre as temperaturas máximas e mínimas de cada área, revelando diferenças significativas nos comportamentos térmicos de acordo com os materiais e a configuração das coberturas.

Ao observar a análise realizada pelo sensor DHT22, identificou-se uma variação de temperatura média de 14% a 17% entre as coberturas, abrangendo desde as temperaturas mais baixas até as mais elevadas. Essa média se manteve constante durante o estudo, independente do período de medição. Esses dados refletem a diferença percentual entre as temperaturas extremas, oferecendo insights valiosos sobre o comportamento térmico de cada superfície e suas respostas a diferentes condições climáticas.

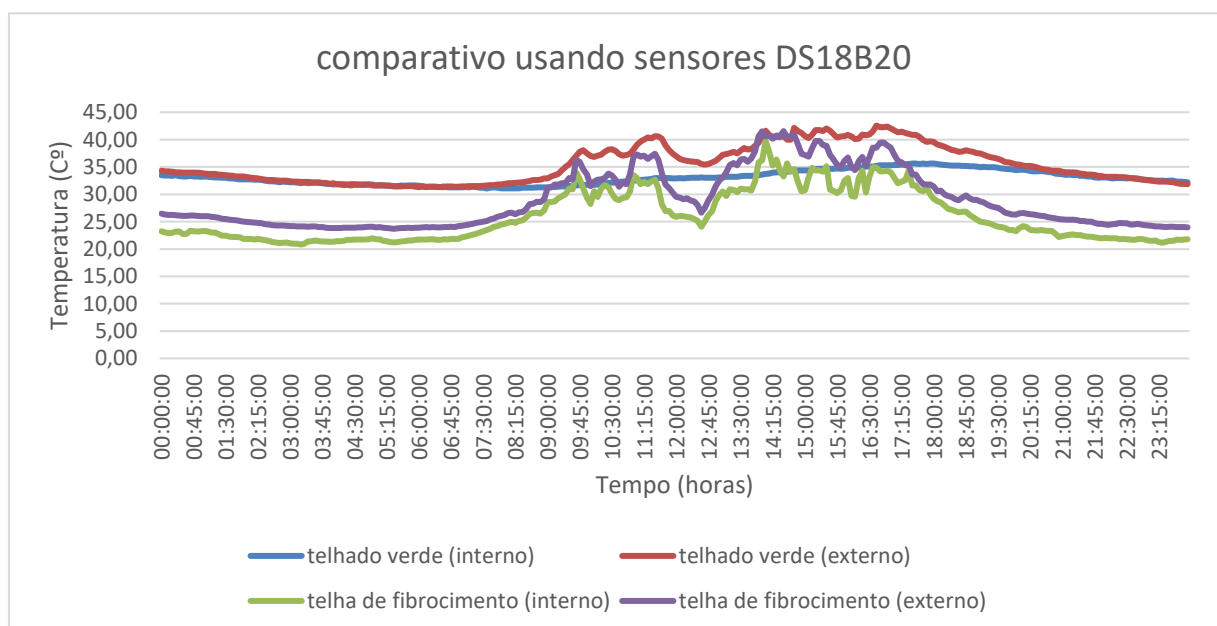
Conforme observado na Figura 8, a central de dados apresenta uma variabilidade maior devido à exposição ao ambiente, diferentemente das duas células de teste, onde cada uma exibe variações mais consistentes. No estudo comparativo, nota-se que, apesar de começar e terminar com temperaturas mais elevadas que as outras, o telhado verde mantém uma estabilidade notável.

A camada de vegetação consegue absorver de forma mais eficiente os raios solares durante períodos ensolarados, mantendo a temperatura ambiente mais estável. Mesmo durante períodos chuvosos, o telhado verde mantém essa estabilidade térmica. Esse aspecto demonstra sua vantagem, pois tanto em períodos de temperaturas mais altas quanto mais baixas, o telhado verde mantém um desempenho térmico próximo a uma temperatura ambiente agradável, proporcionando um conforto térmico consistente e sem grandes variações.

Para o sensor DS18B20, a comparação foi conduzida de forma isolada, com o intuito de identificar a variação de temperatura ao passar do ambiente externo para o interno.

A amplitude térmica entre a temperatura máxima e mínima para a célula teste com a telha de fibrocimento pode ser observada na Figura 9, a temperatura mais elevada atingiu 40,25 °C, enquanto a temperatura mais baixa foi registrada em 21,25 °C. Nesse contexto, a amplitude térmica corresponde à diferença entre essas duas temperaturas, totalizando 19 °C. Com base nos dados fornecidos, a diferença percentual entre a temperatura máxima externa e a temperatura mínima interna se aproxima de 47,19%. Esse percentual reflete a variação entre as temperaturas extremas medidas na célula teste. No que diz respeito aos períodos de maior calor, conforme os dados apresentados, a temperatura externa máxima registrada foi de 40,25 °C.

**Figura 9** – comparativo de desempenho térmico usando os sensores DS18B20



Fonte: do autor (2023)

A célula teste com telhado verde, a maior temperatura externa atingiu 42,25 °C, enquanto a menor temperatura interna foi de 31,19 °C. Portanto, a amplitude térmica nesse caso seria de aproximadamente 11,06 °C. Utilizando os valores fornecidos, a diferença percentual entre a maior temperatura externa e a menor temperatura interna seria de aproximadamente 26,20%. Essa porcentagem representa a variação entre as temperaturas extremas observadas na célula teste com telhado verde. Quanto aos períodos de maiores temperaturas, especificamente com base nos dados fornecidos, a maior temperatura externa foi registrada em 42,25 °C.

Para comparação entre o interior das duas células teste, a amplitude térmica na célula com telha de fibrocimento foi de aproximadamente 17,07 °C, variando de uma temperatura máxima de 37,88 °C a uma mínima de 20,81 °C. Já na célula com telhado verde, essa variação foi de aproximadamente 6,01 °C, oscilando entre 35,63 °C e 28,62 °C. No contexto da temperatura interna das células teste, a diferença percentual entre a maior temperatura da célula com telha de fibrocimento (37,88 °C) e a menor temperatura (20,81 °C) seria de aproximadamente 45,59%. Já na célula com telhado verde, a diferença percentual entre a maior temperatura (35,63 °C) e a menor temperatura (28,62 °C) seria de aproximadamente 19,65%. A maior temperatura interna foi registrada na célula com telha de fibrocimento, atingindo 37,88 °C, enquanto na célula com telhado verde, a temperatura máxima foi de 35,63 °C.

Durante a madrugada, o telhado verde registrou temperaturas mais elevadas. Entretanto, ao longo do dia, evidenciou-se sua capacidade de manter a temperatura interna do ambiente de forma mais estável, sem grandes variações. Em contraste, a telha de fibrocimento apresentou uma adaptação à temperatura ambiente, resfriando ou aquecendo conforme as condições externas.

A análise detalhada do gráfico revela um aumento significativo de temperatura entre 9:00 e 17:00, devido a uma intensa onda de calor. Na célula de teste com telha de fibrocimento, esse aumento foi mais expressivo, implicando em um possível desconforto para os usuários. Isso ocorre porque a temperatura interna acompanha as variações externas. Por outro lado, na célula com telhado verde, a temperatura se manteve mais estável e constante, mantendo-se entre 30°C e 35°C.

O telhado verde conseguiu manter uma temperatura interna mais constante ao longo do período analisado, demonstrando uma estabilidade térmica notável mesmo diante das mudanças climáticas bruscas.

## **5 CONCLUSOES**

Considerando a análise dos dados, é possível afirmar que as coberturas atendem aos requisitos estipulados pela Norma de Desempenho para Edificações Habitacionais NBR 15575/2021. Elas estão em conformidade nos critérios de segurança estrutural e contra incêndios, conforto ambiental, desempenho térmico e durabilidade. No entanto, ao comparar os dados obtidos pelo protótipo, percebe-se que o telhado verde contribui para a sustentabilidade ambiental, sendo mais estável do que a telha convencional de fibrocimento. Tanto o sensor DS18B20 quanto o sensor DHT22 apresentaram resultados semelhantes na comparação, evidenciando sua capacidade de proporcionar conforto térmico em diferentes condições climáticas, o que reduz a necessidade de uso de recursos artificiais, como ar condicionado ou aquecedores.

A análise das variações de temperatura entre diferentes áreas oferece dados valiosos sobre o conforto térmico e a eficiência energética dos ambientes. As amplitudes térmicas observadas na central de dados, no telhado verde e na célula de teste com cobertura de fibrocimento destacam a influência direta do isolamento térmico na sensação térmica e no consumo de energia.

Os dados do sensor DHT22 evidenciaram uma variação média de temperatura de 14% a 17% entre as coberturas, independentemente do período de medição. Essa análise fornece informações cruciais sobre o comportamento térmico das superfícies em diferentes condições climáticas.

Considerando os dados obtidos pelos sensores DS18B20 nas diferentes células de teste, é possível destacar aspectos cruciais relacionados à amplitude térmica, variações percentuais e períodos de maior calor. Na célula teste com telha de fibrocimento, observou-se uma amplitude térmica significativa de aproximadamente 19 °C entre a temperatura máxima externa de 40,25 °C e a mínima interna de 21,25 °C. Essa variação representou uma diferença percentual expressiva de cerca de 47,19%, evidenciando a amplitude de variação entre as temperaturas extremas registradas. Já na célula teste com telhado verde, a amplitude térmica foi menor, atingindo cerca de 11,06 °C entre a temperatura externa máxima de 42,25 °C e a interna mínima de 31,19 °C. Isso refletiu em uma diferença percentual de aproximadamente 26,20%, indicando uma menor variação entre as temperaturas extremas na célula com telhado verde.

Ao comparar o interior das duas células de teste, a amplitude térmica na célula com telha de fibrocimento foi de aproximadamente 17,07 °C, enquanto na célula com telhado verde foi de cerca de 6,01 °C. Isso resultou em diferenças percentuais de aproximadamente 45,59% e 19,65%, respectivamente, indicando variações mais acentuadas de temperatura na célula com telha de fibrocimento.

Em suma, os dados revelam que a célula com telha de fibrocimento apresentou uma maior amplitude térmica e variações percentuais mais expressivas em relação às temperaturas extremas, enquanto a célula com telhado verde demonstrou uma menor amplitude térmica e diferenças percentuais mais modestas. Essas informações são fundamentais para compreender o comportamento térmico de diferentes coberturas e seu potencial impacto no conforto e eficiência energética dos ambientes.

Notavelmente, o telhado verde mostrou uma estabilidade térmica impressionante, absorvendo eficientemente os raios solares mesmo em dias ensolarados e mantendo uma temperatura ambiente estável. Mesmo durante períodos chuvosos, o telhado verde preservou essa estabilidade, evidenciando sua capacidade de manter um desempenho térmico consistente e confortável, independentemente das flutuações de temperatura externa.

Em resumo, a análise revela que o telhado verde, com sua capacidade de regular a temperatura ambiente de maneira mais estável, destaca-se como uma solução eficaz para proporcionar conforto térmico constante, minimizando grandes variações de temperatura e favorecendo um ambiente agradável em condições climáticas diversas.



## REFERÊNCIAS

ABNT. Norma 15220 - Desempenho Térmico, 2003.

ABNT. NBR 15575: Desempenho térmico. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2021.

BELLO, L. G. Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco, PR. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013, 67f.

BORGES, C. A. M.; SABBATINI, F. H. O. Conceito de Desempenho de Edificações e a sua Importância para o Setor da Construção Civil no Brasil. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/515).

FLACH, R. S. Estruturas para Telhados: Análise Técnica de Soluções. Trabalho de diplomação (Departamento de Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo. — 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001.

JESUS, Laina Maria Santana de. Telhado verde "Revisão bibliográfica". 2018. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018.

LOPES, D. A. R. Avaliação do Comportamento Térmico de Coberturas Verdes Leves (CVLs) Aplicadas aos Climas Tropicais. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.

NARANJO, A.; MARINOSKI, D. L.; BATISTA, J. O.; CARLO, J. C.; ABREU, A. L. P.; GHISI, E. LAMBERTS, R. 6. ed. Desempenho térmico das edificações. Florianópolis, 2011. 196 p.

RORIZ, M. Apostila da Disciplina Conforto e Desempenho Térmico de Edificações. n. 016, p. 63, 2008.

SEABRA, G.; MENDONÇA, I. T. L (Org.). Educação ambiental: Responsabilidade para a conservação da sociobiodiversidade. João Pessoa: UFPB, 2011, v. 1, 2, 3 e 4.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. Ambiente Construído, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 139–154, 2013.

VECCHIA, F. Cobertura Verde Leve (CVL): ensaio experimental. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., Maceió, 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005.