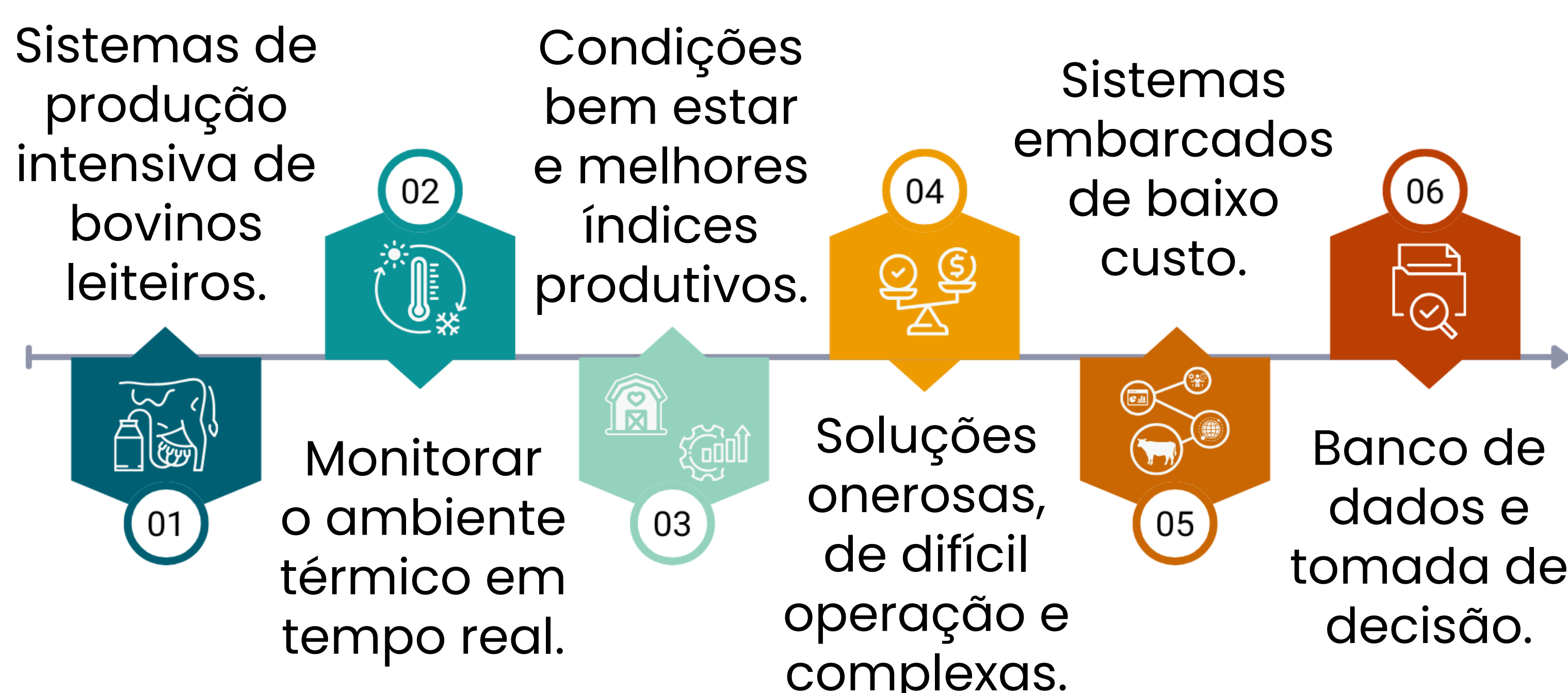


Sistema embarcado de baixo custo para monitoramento remoto e em tempo real do ambiente térmico em instalação *Compost Barn* para bovinos leiteiros

Thalya Aleixo Avelar, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Carlos Eduardo Alves Oliveira, André Luiz de Freitas Coelho, Fernanda Campos de Souza, Alex Lopes da Silva

ODS 2: Fome zero e agricultura sustentável; **ODS 9:** Indústria, inovação e infraestrutura.

Introdução



Objetivo

Calibrar e aplicar um sistema embarcado de baixo custo para monitoramento em tempo real do ambiente térmico em instalações abertas destinadas à produção de bovinos leiteiros, e avaliar se as condições térmicas se encontravam adequadas às exigências dos animais alojados.

Material e Métodos

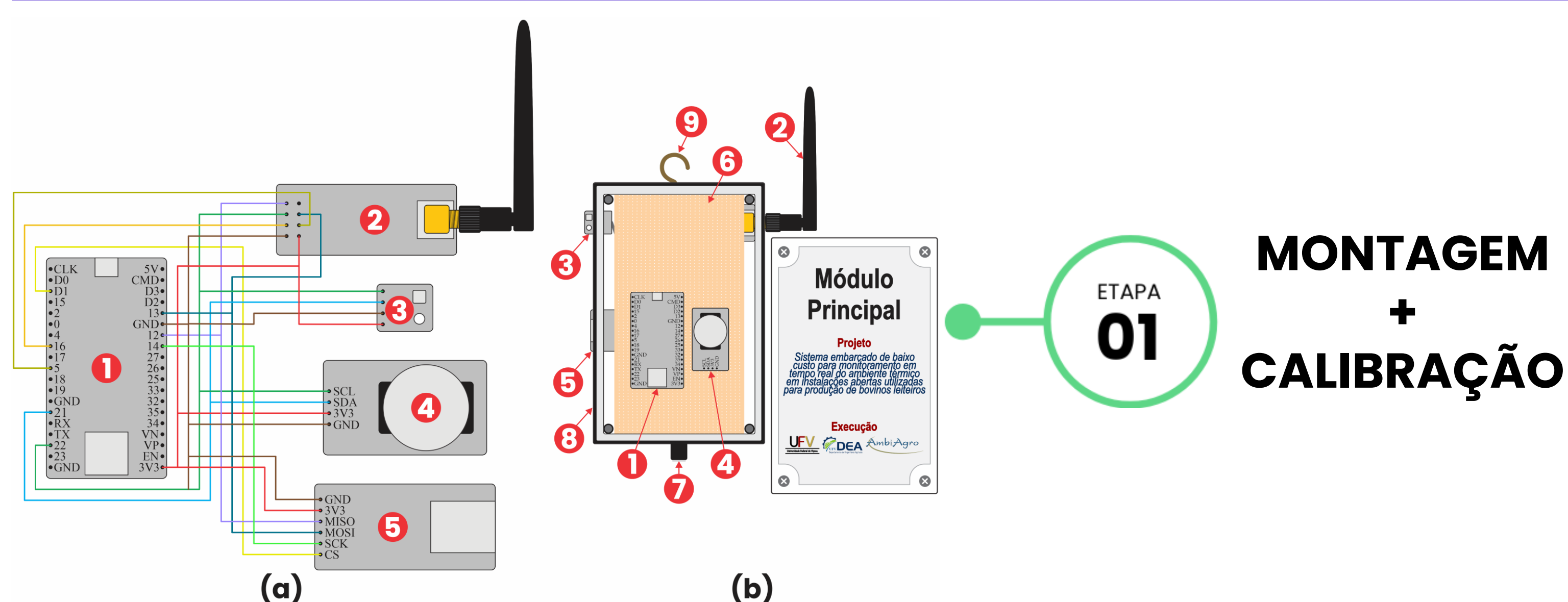
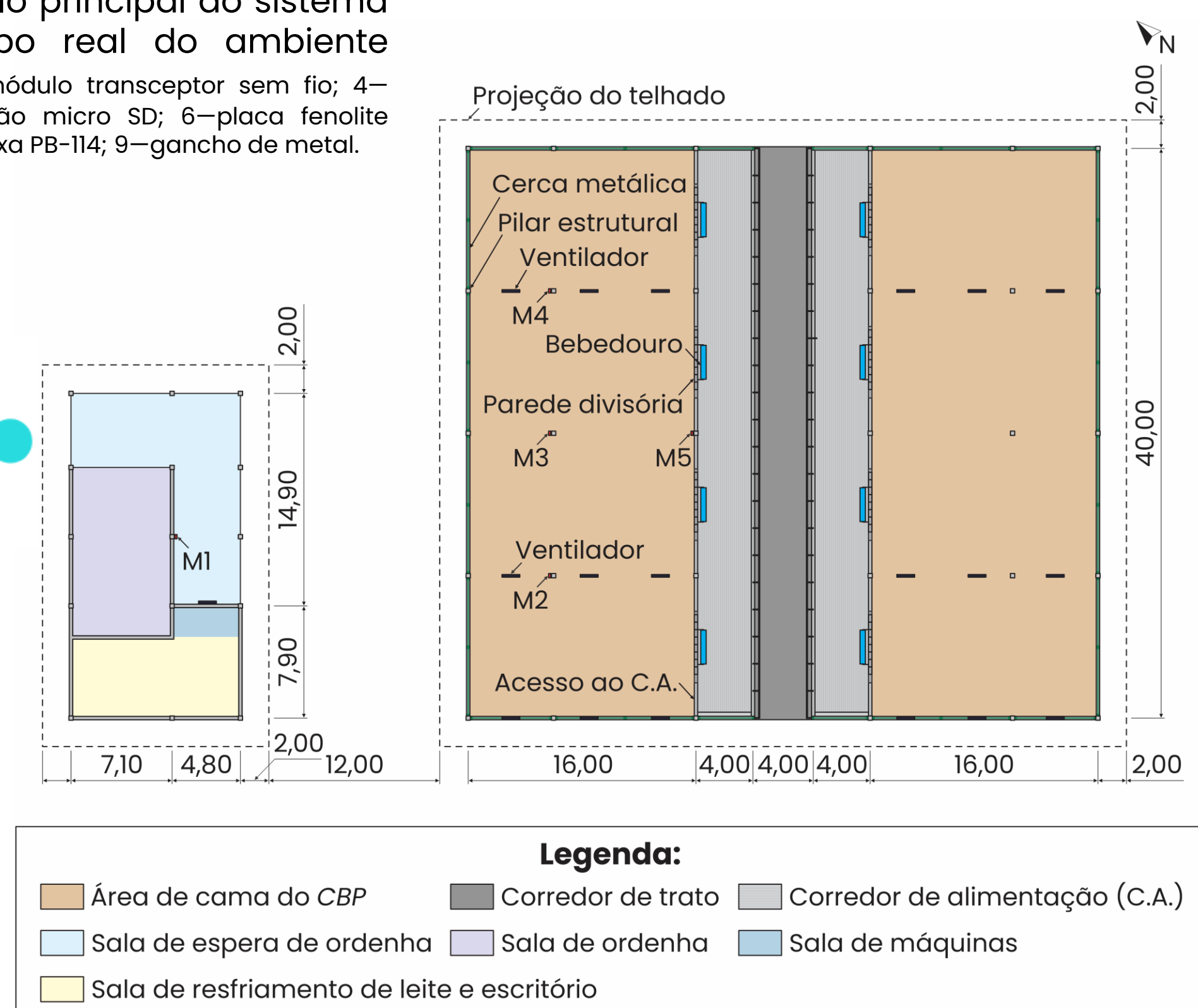


Figura 1. Representações esquemáticas do (a) diagrama de circuito eletrônico e (b) hardware do módulo principal do sistema embarcado de monitoramento em tempo real do ambiente térmico. 1—placa ESP32; 2—módulo sensor BME280; 3—módulo transceptor sem fio; 4—módulo de relógio em tempo real (RTC); 5—módulo cartão micro SD; 6—placa fenolite perfurada; 7—adaptador de terminal x plugue fêmea P4; 8—caixa PB-114; 9—gancho de metal.

APLICAÇÃO + ANÁLISE

ETAPA 02

Figura 2. Representação esquemática, simplificada e em planta baixa, da instalação *Compost Barn* e sala de ordenha onde o estudo foi realizado, com destaque para pontos de instalação dos módulos de coleta de dados. M1—módulo de coleta 1 (principal); M2—módulo de coleta 2; M3—módulo de coleta 3; M4—módulo de coleta 4; M5—módulo de coleta 5; N—indicação do norte; dimensões em metros (m).



Resultados

Tabela 1. Equações de calibração e coeficientes de determinação (R^2) obtidos para a temperatura de bulbo seco do ar (T_{bs} , em °C) e umidade relativa do ar (UR, em %) dos módulos sensores BME280.

Módulo Sensor	Temperatura de bulbo seco do ar		Umidade relativa do ar	
	Equação de ajuste	R^2	Equação de ajuste	R^2
M1	$T_{bs-C} = 1,0235 \cdot T_{bs-L} - 0,7902$	0,9977	$UR_C = 1,2145 \cdot UR_L - 12,4876$	0,9952
M2	$T_{bs-C} = 1,0293 \cdot T_{bs-L} - 1,0557$	0,9921	$UR_C = 1,4704 \cdot UR_L - 26,1405$	0,9819
M3	$T_{bs-C} = 1,0265 \cdot T_{bs-L} - 0,8296$	0,9943	$UR_C = 1,4606 \cdot UR_L - 28,4509$	0,9913
M4	$T_{bs-C} = 1,0187 \cdot T_{bs-L} - 0,3367$	0,9885	$UR_C = 1,2749 \cdot UR_L - 15,9491$	0,9826
M5	$T_{bs-C} = 1,0234 \cdot T_{bs-L} - 0,3882$	0,9929	$UR_C = 1,2867 \cdot UR_L - 17,1341$	0,9895

T_{bs-C} —Temperatura de bulbo seco do ar corrigida, em °C; T_{bs-L} —Temperatura de bulbo seco do ar lida pelos módulos sensores BME280, em °C; UR_C —Umidade relativa do ar corrigida, em %; UR_L —Umidade relativa do ar lida pelos módulos sensores BME280, em %; R^2 —Coeficiente de determinação.

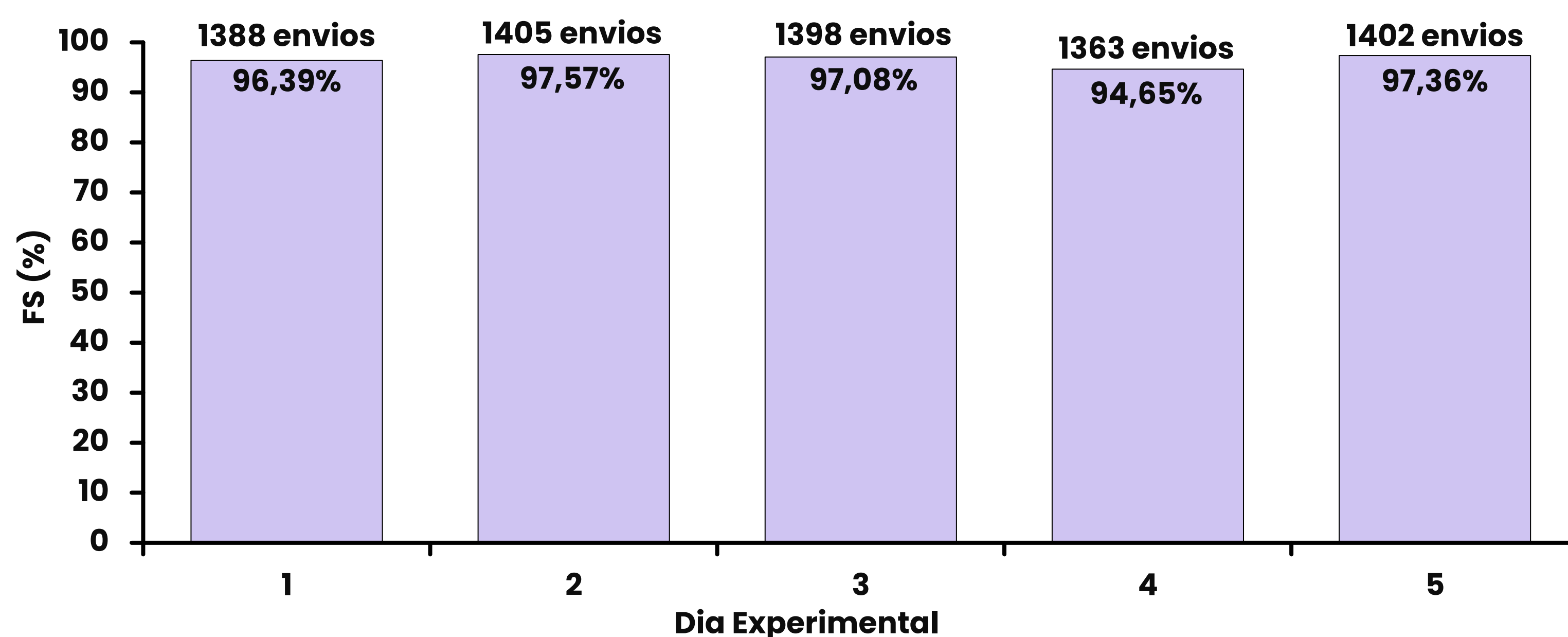


Figura 3. Frequência de sucesso de recebimento de dados (FS, em %) pelo servidor em nuvem para IoT a partir do sistema embarcado de monitoramento do ambiente térmico desenvolvido, ao longo do período experimental de coleta no sistema *Compost Barn*.

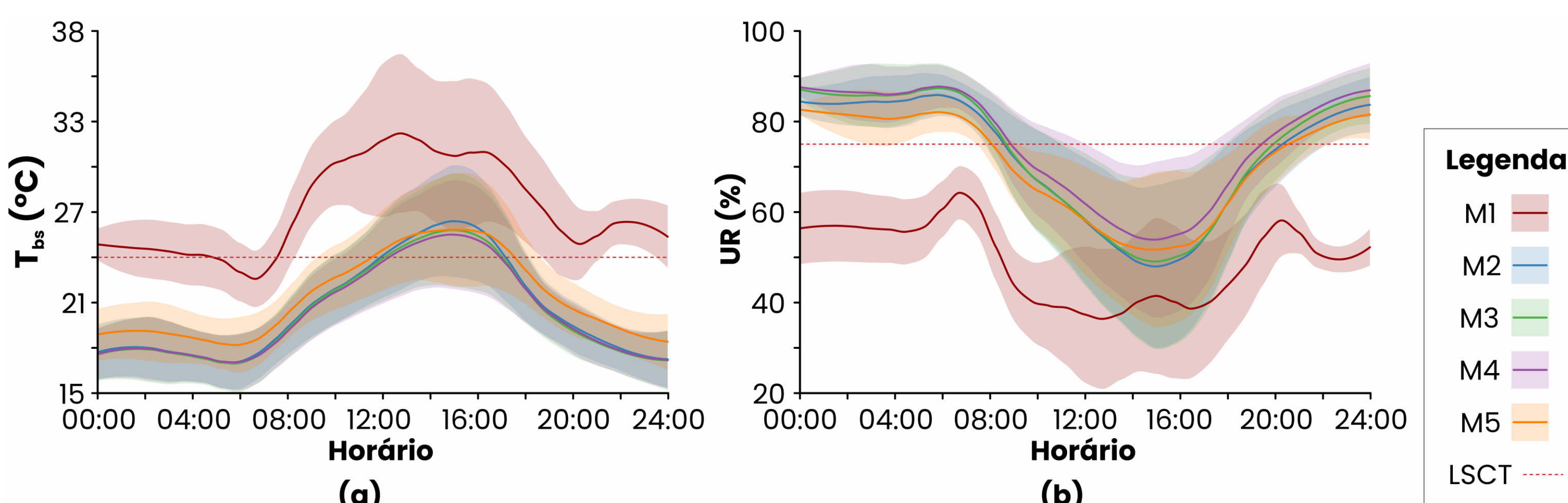


Figura 4. Curvas de comportamento médio, com desvio-padrão, de (a) temperatura de bulbo seco do ar (T_{bs} , em °C) e (b) umidade relativa do ar (UR, em %) ao longo do dia nas regiões monitoradas no interior do sistema *Compost Barn*. M1-M5—módulos de coleta 5; LSCT—limite superior de conforto térmico.

Conclusões

- O sistema embarcado apresentou alta precisão e bom desempenho de transmissão;
- A análise térmica mostrou $T_{bs} > 24$ °C e ITU > 74, indicando estresse nos animais;
- Os resultados reforçam a necessidade manejo preciso da ambiência;
- O sistema tem potencial como ferramenta de apoio ao manejo em instalações CBP.

Bibliografia Principal

- ADELAKUN *et al.* Development of an alternative device for measurement and characterization of selected meteorological parameters. **Scientific Reports**, v.13, p.1–8, 2023.
- ARAÚJO *et al.* Evaluation of low-cost sensors for weather and carbon dioxide monitoring in Internet of Things context. **IoT**, v.1, p.286–308, 2020.
- OLIVEIRA *et al.* Development and validation of data acquisition system for real-time thermal environment monitoring in animal facilities. **AgriEngineering**, v.7, p.45, 2025.
- SARI *et al.* Design and manufacture of radiosonde based on Arduino Pro Mini using BME280 sensor. **Journal of Engineering Research and Reports**, v.23, p.1–9, 2022.