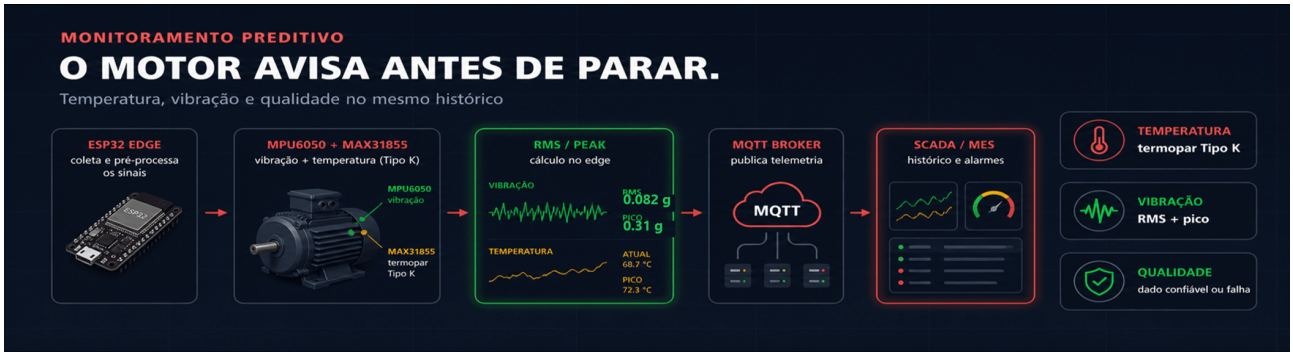
Monitoramento de temperatura e vibração

O motor avisa antes de parar - manual prático



Controlador	ESP32-WROOM-32 ou ESP32-S3
Sensores	MPU6050 e termopar Tipo K com MAX31855
Interfaces	I2C para vibração, SPI para temperatura
Transporte	MQTT com Last Will e telemetria retida
Saída	RMS, pico, fator de crista, temperatura e qualidade
Nível	Avançado
Tutorial online	iiot.esp32.tec.br/tutoriais/monitoramento-de-temperatura-e-vibracao-de-motores

Limite deste material. Este kit é uma referência de aquisição e tendência. Ele não é instrumento de segurança, não substitui proteção de motor ou monitor industrial certificado e não transforma um MPU6050 em medidor conforme uma norma de vibração. Faça a montagem e os testes com profissional habilitado e respeite o bloqueio e etiquetagem da planta.

1. O que o kit mede

O MPU6050 mede aceleração em três eixos. Nesta implementação, o firmware coleta uma janela curta, remove a componente média da gravidade e calcula RMS, pico e fator de crista. Esses números mostram tendência e ajudam a decidir quando investigar; não dizem sozinhos qual peça está falhando.

O MAX31855 lê um termopar Tipo K e também informa condições como circuito aberto. Temperatura de carcaça depende da carga, ventilação, ambiente e posição do ponto de contato. A posição precisa ser repetível para que uma leitura de hoje possa ser comparada com a de amanhã.

O JSON publicado tem esta forma:

```
{
"ts": 1755990000,
"temperature_c": 67.4,
"vibration_rms_g": 0.082,
"vibration_peak_g": 0.31,
"crest_factor": 3.78,
"quality": 192,
"sample_count": 128
}
```

O timestamp é o instante da leitura. Se o NTP ainda não sincronizou, o firmware publica timestamp zero e qualidade 64. Se o termopar falhar, a qualidade cai para zero. O dado nunca é substituído silenciosamente por um valor que pareça válido.

2. Hardware e montagem

A montagem mecânica decide quanto do sinal é vibração do motor e quanto é folga da caixa. Não fixe o MPU6050 com fita dupla-face se a finalidade for comparar tendência: a fita passa a fazer parte do sensor. Use uma fixação rígida e marque o ponto e a orientação dos eixos.

Sinal	ESP32	Módulo
SDA	GPIO 21	MPU6050 SDA
SCL	GPIO 22	MPU6050 SCL
SPI SCK	GPIO 18	MAX31855 CLK
SPI MISO	GPIO 19	MAX31855 DO
SPI CS	GPIO 5	MAX31855 CS
Referência	GND	GND comum

O MPU6050 normalmente responde em 0x68. Se AD0 estiver em nível alto, o endereço vira 0x69. O MAX31855 não precisa de MOSI para leitura. Confira a serigrafia do seu módulo antes de alimentar: clones podem alterar a ordem dos pinos.

> Mantenha os fios de baixa tensão afastados de cabos de potência e de saídas de inversor de frequência. Ruído elétrico não é corrigido trocando a biblioteca. O termopar precisa de isolamento e de um ponto de contato definido na carcaça.

3. Preparar e gravar

Abra a pasta do kit no VS Code com o PlatformIO instalado. As dependências já estão declaradas no `platformio.ini`. Na primeira compilação, o PlatformIO baixa o framework e as bibliotecas.

```
[env:esp32-motor-monitor]
platform = espressif32
board = esp32dev
framework = arduino
monitor_speed = 115200
lib_deps =
adafruit/Adafruit MPU6050@^2.2.6
adafruit/Adafruit MAX31855 library@^1.4.2
knolleary/PubSubClient@^2.8
bblanchon/ArduinoJson@^7.2.1
```

Edite `include/config.h` antes de gravar. Troque Wi-Fi, endereço do broker, credenciais, identificador do gateway e a hierarquia de tópicos. Não coloque credenciais de produção em um repositório público.

```
pio run
pio run --target upload
pio device monitor --baud 115200
```

O resultado esperado no monitor serial é **Monitor de temperatura e vibração iniciado**, seguido do tópico de telemetria. Se aparecer **MPU6050 não encontrado**, pare e revise SDA, SCL, alimentação e endereço I2C antes de investigar MQTT.

4. RMS, pico e fator de crista

A janela deste kit tem 128 amostras a aproximadamente 1 kHz. Para cada amostra, o firmware calcula a magnitude dos três eixos. Depois remove a média da janela e calcula a raiz da média dos quadrados:

```
media = soma(amostras) / N
rms = sqrt(soma((amostra - media)^2) / N)
pico = max(abs(amostra - media))
fator_de_crista = pico / rms
```

RMS crescente pode indicar desgaste, desalinhamento ou mudança de carga. Fator de crista alto com RMS baixo pode apontar impactos curtos. Nenhum desses valores deve ser comparado com uma tabela genérica sem linha de base, ponto de fixação e estado operacional iguais.

> FFT é um passo posterior. Ela mostra onde a energia aparece no espectro, mas não conserta sensor frouxo, taxa de amostragem instável ou aliasing. Primeiro valide repetibilidade e RMS; depois aumente a janela e aplique análise espectral.

5. Temperatura e qualidade

Zero é um valor possível. Por isso, uma falha de termopar não pode ser publicada como temperatura zero com qualidade boa. O kit usa uma convenção simples:

Qualidade	Nome	Uso
192	Boa	termopar válido e relógio sincronizado
64	Incerta	sem NTP ou valor fora da faixa esperada
0	Ruim	termopar aberto, curto ou sem resposta

No SCADA, configure a tag para exibir qualidade e não apenas valor. Se o painel esconde qualidade, ele pode mostrar um zero como se fosse uma medição real. Faça o teste desconectando o termopar na bancada e confira a reação.

Não use um único limite para ligar e desligar o alarme: o valor perto da fronteira vai piscar a cada publicação. Use histerese. Por exemplo, uma política provisória pode ligar o alerta térmico acima de 80 graus e só desligá-lo abaixo de 75. O limite real depende do motor, da classe de isolamento, da carga e do fabricante.

> Para vibração, prefira mudança relativa sobre a linha de base e tempo mínimo de permanência. A ISO 10816/ISO 20816 pode orientar a engenharia, mas não transforma automaticamente um MPU6050 montado em uma placa de desenvolvimento em instrumento de conformidade.

6. MQTT e integração com SCADA

A hierarquia usada pelo kit é estável e separa telemetria, status e alarmes:

```
usina1/linha2/motor03/telemetria
usina1/linha2/motor03/status
usina1/linha2/motor03/alarmes
```

O último estado de telemetria e o status podem ser retidos. Alarmes momentâneos e comandos nunca devem ser retidos: ao reconectar, um comando velho poderia ser reexecutado. O Last Will publica `{"online":false}` quando o gateway cai sem despedida; após conectar, o firmware publica online.

Acompanhe o broker com:

```
mosquitto_sub -h 192.168.1.100 -u gateway -P senha -v -t 'usina1/linha2/motor03/#'
```

Ao derrubar o broker, o firmware deve continuar rodando e tentar de novo a cada cinco segundos. Ao derrubar o Wi-Fi, ele não deve iniciar tentativas MQTT sem rede. Quando a rede voltar, a sequência correta é Wi-Fi primeiro, MQTT depois.

7. Linha de base e teste seguro

Registre alguns minutos com o motor parado, em vazio e em uma carga conhecida. Guarde RMS, pico, fator de crista, temperatura, rotação, carga e horário. Um valor sem contexto não é uma linha de base.

Repita a medição no mesmo ponto e com a mesma orientação. Se a repetição variar mais que a tendência que você quer detectar, corrija a montagem antes de mexer no dashboard.

> Para testar o pipeline, publique uma carga simulada em tópico separado ou use um gerador de carga controlado pela engenharia. Não afrouxe parafuso, remova proteção ou introduza defeito em uma máquina energizada. O objetivo do teste é provar o caminho de dados, não criar uma falha real.

Roteiro mínimo:

Etapa	O que deve acontecer
Bancada	MPU6050 aparece em 0x68 e o termopar não indica circuito aberto
Motor parado	magnitude próxima de 1 g antes da remoção da média
Carga conhecida	RMS e temperatura ficam registrados com timestamp
Broker desligado	firmware continua e reconecta sem travar o loop
Termopar desconectado	temperatura não é tratada como zero válido
Gateway desligado	SCADA recebe offline pelo Last Will ou por ausência

8. Solução de problemas

Sintoma	Causa provável	Ação
MPU6050 não encontrado	SDA, SCL, alimentação ou endereço	Revise GPIO 21/22, GND e 0x68/0x69.
RMS alto na bancada	sensor frouxo ou cabo transmitindo vibração	Fixe o módulo rigidamente e repita a linha de base.
Temperatura fica em zero	termopar aberto ou leitura ignorada	Confira qualidade e a flag do MAX31855.
Alarme oscila	limite sem histerese	Use limite de ligar e limite de desligar separados.
Tudo chega no mesmo horário	timestamp no broker	Carimbe a leitura no ESP32 depois do NTP.
MQTT cai em ciclo	client id duplicado ou credencial	Use DEVICE_ID único e confira rc no serial.
Reinicia ao conectar TLS	heap insuficiente no handshake	Meça memória; reduza firmware ou use PSRAM.

Se um valor parece estranho, preserve o JSON original, a qualidade e o timestamp. Apagar a leitura ruim antes de investigar remove justamente a evidência que explica o defeito.

9. Checklist de entrega

	Item
[ ]	MPU6050 fixado rigidamente e orientação registrada
[ ]	Termopar montado em ponto definido e seguro
[ ]	SDA/SCL e SPI conferidos contra a serigrafia do módulo
[ ]	Credenciais e DEVICE_ID configurados fora do repositório público
[ ]	NTP sincronizado antes do timestamp de produção
[ ]	Qualidade muda em falha de termopar e relógio incerto
[ ]	RMS comparado com linha de base da própria máquina
[ ]	Carga e rotação registradas junto da tendência
[ ]	Last Will e heartbeat conferidos no SCADA
[ ]	Nenhum comando ou alarme momentâneo retido
[ ]	Broker, Wi-Fi e termopar derrubados em teste controlado
[ ]	Decisão de limite revisada pela engenharia responsável