



Datasheet

SL-02

REV04



10322-24-06717

" Este equipamento não tem direito à proteção contra interferência prejudicial e não pode causar interferência em sistemas devidamente autorizados "

Para maiores informações, consulte o site da Anatel: www.gov.br/anatel

Sumário

1.	SL-02.....	3
1.1.	Aplicações Típicas.....	4
2.	Especificações Técnicas	5
2.1.	Especificações de Sensoriamento e Entradas.....	5
2.2.	Comunicação e Dados.....	6
2.3.	Especificações Elétricas e Físicas	6
2.4.	Indicações e Interface Humana	7
3.	Informações de Desempenho e Operação	8
3.1.	Modos de Operação'	8
3.1.1.	Modo por Tempo (Periódico)	8
3.1.2.	Modo por Evento (Trigger).....	9
3.1.3.	Modo Horímetro	10
3.2.	Lógica de Coleta e Envio.....	11
3.3.	Sincronismo e Comando Remoto (MQTT)	12
3.4.	Gestão de Memória e Resiliência de Dados.....	12
3.5.	Atualização de Firmware Remota (FOTA)	12
3.6.	Consumo Detalhado de Energia	13
3.7.	Estimativa da Vida Útil da Bateria.....	13
4.	Diagrama em Blocos e Conexões	15
4.1.	Sensor de Pressão	15
4.2.	Contato Seco	16
4.3.	Entrada de Pulso.....	17
4.4.	Sensor de Movimento.....	19
4.5.	Sensor de Inclinação	19
4.6.	Gerenciador de Alimentação.....	21
4.7.	Bateria Interna.....	21
4.8.	Fonte Externa.....	22
4.9.	Unidade de Processamento Central	22
4.10.	Memória de Dados	23
4.11.	Relógio em Tempo Real (RTC)	23
4.12.	Interface USB	24
4.13.	Modem NB-IoT.....	25



4.14.	GNSS.....	26
4.15.	Conexão SMA Externa para Antena Celular.....	28
4.16.	Antena Celular Interna.....	29
4.17.	Conexão SMA Externa para Antena GNSS.....	29
4.18.	Antena GNSS Interna	30
4.19.	SimCard	31
4.20.	eSIM	31
4.21.	Leds de Sinalização.....	32
4.22.	Segurança e proteção de dados	32
5.	Configuração e Integração de Dados.....	34
5.1.	Configuração via Fractum Manager	34
5.2.	Estrutura de Dados (Payload).....	34
5.3.	Estrutura de Tópicos MQTT	35
6.	Dimensões e Instalação.....	36
6.1.	Modo de Fixação	36
6.2.	Recomendações de instalação.....	37
7.	Acessórios.....	38
7.1.	Antena Externa Celular.....	38
7.2.	Antena Externa GNSS	39
7.3.	Fonte Externa.....	39
8.	Modelos e Part Numbers	41
9.	Conformidade e Homologação.....	43
10.	Contato e Suporte Técnico.....	44

1. SL-02

O SmartLogger 02 (SL-02) é um datalogger IoT multicanal de alto desempenho, projetado para o monitoramento remoto contínuo e telemetria avançada em ambientes industriais e externos severos. Utilizando a tecnologia NB-IoT, o dispositivo combina conectividade de longo alcance com eficiência energética superior, permitindo operações autônomas por vários anos.

Além de sua robustez, o SL-02 destaca-se pela versatilidade de sensoriamento: conta com uma interface de pressão com engate rápido BSP 6mm para até 200 MCA e 2 entradas digitais para pulso ou contato seco, permitindo a medição de pressão e vazão em medidores de água, gás, ar comprimido, adutoras e válvulas reguladoras de pressão (VRP). Adicionalmente, possui opcionais de sensores internos de movimento e inclinação (eixos XYZ) e GNSS de alta precisão (centimétrica), redefinindo as possibilidades para gestão de ativos, redes hidráulicas e monitoramento estrutural em setores como saneamento, agronegócio e indústria 4.0.

Característica Técnica	Benefício Operacional e Valor Agregado
Interface de Pressão BSP 6mm	Conexão rápida e estanque para monitoramento de pressão em adutoras, VRPs e linhas de pressão de água, gás ou ar comprimido até 200 MCA.
2 Entradas de Pulso/Contato Seco	Integração direta com hidrômetros e medidores de vazão com saída pulsada, além de monitoramento de status via contato seco.
Acelerômetro e sensor de Inclinação Onboard*	Detecta movimentos, impactos e mudanças de inclinação nos eixos X, Y e Z, ideal para monitoramento de encostas, pontes, taludes, segurança de ativos e monitoramento de integridade física.
GNSS de Alta Precisão*	Fornece localização geográfica com precisão de nível centimétrico, permitindo o rastreamento rigoroso e o mapeamento de ativos em campo.
Bateria Li-SOCl ₂ de 13.000 mAh	Longa autonomia operacional, garantindo que mesmo com múltiplas coletas, o dispositivo permaneça ativo por anos sem trocas de bateria.
Segurança MQTT com TLS	Criptografia de nível industrial para proteger dados sensíveis de consumo e telemetria contra interceptações.



Memória Interna FIFO (50k logs)	Garante a integridade dos dados mesmo em zonas de sombra de sinal, reenviando as informações assim que a conexão é restabelecida.
Grau de Proteção IP68	Construção em ABS resistente a impactos e totalmente vedada contra poeira e água, essencial para instalações ao ar livre.
Dimensões	128mm x 70mm x 52mm (Comprimento x Largura x Altura)
Peso	250g com bateria inclusa ou 150g sem bateria.

“*” – Itens/Componentes opcionais.

1.1. Aplicações Típicas

- Gestão de Utilidades e Saneamento (Smart Metering): Leitura remota e combinada de pressão e vazão em hidrômetros, medidores de gás e energia com saída pulsada, permitindo o controle de perdas e balanço hídrico;
- Monitoramento de Adutoras e Redes de Distribuição: Acompanhamento contínuo da pressão em adutoras e Válvulas Reguladoras de Pressão (VRP) para detecção de vazamentos, rupturas e golpes de aríete;
- Sistemas de Ar Comprimido e Gases Industriais: Monitoramento de pressão em linhas industriais para otimização energética e controle de processos;
- Agronegócio Inteligente: Monitoramento de pressão em sistemas de irrigação, além de conexão com pluviômetros e sensores de solo;
- Cidades Inteligentes: Gestão de infraestrutura hidráulica urbana e monitoramento ambiental através de sensores de temperatura e umidade.

2. Especificações Técnicas

As tabelas a seguir consolidam os dados técnicos necessários para a especificação e integração do SL-02.

2.1. Especificações de Sensoriamento e Entradas

Interface / Sensor	Descrição	Especificações Detalhadas
Interface de Pressão	Transdutor de pressão de alta precisão interno	• Conexão por engate rápido BSP 6mm • Capacidade de pressão: Até 200 MCA (~20 bar / ~2 MPa) • Precisão: $\pm 0,25$ %
Entradas de Pulso/Contato Seco	2 Canais independentes	• Entrada de alta impedância (típico 100K Ohms), mantendo o nível lógico alto na condição aberto e nível lógico baixo na condição de contato fechado. • Leitura de pulsos de 0-3.6 VDC máx • Leitura máxima 30 pulsos/segundo (30 Hz)
Sensores Onboard de Movimento*	Sensor de Movimento	Deteção de qualquer movimento no equipamento. Limiares configuráveis de movimento.
Sensores Onboard de Inclinação*	Sensor de Inclinação	Leitura de inclinação nos eixos X, Y e Z com precisão típica de 0.5°.
GNSS*	Localização	Módulo de alta precisão para rastreamento e mapeamento de ativos.

“*” – Itens/Componentes opcionais.

2.2. Comunicação e Dados

Característica	Especificação
Tecnologia Wireless	NB-IoT (Narrow band IoT)
Bandas de Frequência	B3, B5, B8, B20 e B28
Protocolos de Rede	MQTT, MQTT com TLS, UDP e FTP
Segurança	Criptografia TLS para tráfego de dados seguro
Memória Interna	50.000 logs (Sistema FIFO - First In, First Out)
Atualização	Firmware Over-The-Air (FOTA) via File Transfer Protocol (FTP)
Configuração	Local via USB-C ou Remota via Downlink

2.3. Especificações Elétricas e Físicas

Característica	Valor / Descrição
Alimentação	Bateria Li-SOCl ₂ de 3.6 VDC/13.000 mAh ou Fonte externa de 3.3 VDC
SIMCard	Slot para Nano SIM ou eSIM (VFDFPN-8)
Antena	Externa (Conexão SMA) ou Interna (Adesiva)
Grau de Proteção	IP68 (Totalmente vedado contra poeira e água), opcional de resina interna*
Material da Caixa	ABS de alta resistência com proteção UV



Dimensões	52mm x 70mm x 127mm (A, L, P)
Temperatura de Operação	-20 °C a +85 °C
Umidade de Operação	10% a 90% (não condensante, possui VentValve para equilíbrio da pressão interna e externa evitando condensação)
Entrada de Cabos	Prensa-cabo PG7 para fiação de pulsos e contato seco
Engate Rápido BSP 6mm	Engate rápido BSP do tipo Push-Pull de até 200 MCA (~20 bar)

2.4. Indicações e Interface Humana

Descrição	Função
LEDs de Indicação	Status de rede, operação do sistema e diagnóstico
Conector Interno	USB Tipo C para configuração local e debug da aplicação
Bornes Internos	Conexão segura para fiação de sensores externos

3. Informações de Desempenho e Operação

3.1. Modos de Operação

O dispositivo oferece dois modos principais de funcionamento, selecionáveis conforme a criticidade da aplicação:

- **Modo por Tempo (Periódico):** O equipamento realiza coletas e transmissões em intervalos fixos pré-configurados. É ideal para monitoramento de rotina onde a tendência histórica é o fator principal;
- **Modo por Evento (Trigger):** A cada ciclo de coleta, o SL-02 analisa os dados localmente. Se o valor coletado atingir um "trigger" (gatilho) configurado ou divergir dos parâmetros de normalidade, o dispositivo inicia uma transmissão imediata, garantindo agilidade em situações críticas.

3.1.1. Modo por Tempo (Periódico)

O Modo de Operação por Tempo é a configuração padrão para o monitoramento contínuo e histórico de variáveis. Nesta modalidade, o SL-02 executa um ciclo automatizado de coleta, armazenamento e transmissão de dados baseado em intervalos cronológicos rigorosamente programados.

O funcionamento segue uma lógica de três etapas principais, otimizadas para garantir a integridade dos dados e a eficiência energética:

1. **Coleta de Variáveis:** No instante exato do intervalo de coleta configurado (ex: a cada 10 minutos), o microcontrolador "desperta" os sensores e interfaces (Pulsos, Pressão, etc.), realiza as leituras e processa as informações;
2. **Armazenamento Não Volátil:** Imediatamente após a coleta, os dados são registrados na memória Flash interna utilizando a técnica FIFO. Isso assegura que, mesmo em caso de falha na rede celular, nenhuma informação seja perdida;
3. **Transmissão de Dados:** Quando o contador de tempo atinge o intervalo de envio configurado (que é sempre um múltiplo do intervalo de coleta), o equipamento ativa o modem NB-IoT, estabelece a conexão com o servidor e sincroniza todos os logs armazenados desde a última transmissão bem-sucedida.

Recurso	Descrição Técnica
Intervalo Mínimo	1 minuto (tanto para coleta quanto para envio).
Sincronismo	Ciclos múltiplos orientados a partir da 00:00:00 (Meia-noite).



Resiliência	Dados salvos localmente antes de qualquer tentativa de transmissão.
Eficiência	O modem permanece desligado entre os intervalos de envio para preservar a bateria.

Exemplo de Configuração:

Se o intervalo de coleta for de 15 minutos e o de envio for de 4 ciclos, o SL-02 realizará 4 coletas locais (uma a cada 15 min) e, ao final de 1 hora (60 min), transmitirá o pacote contendo os 4 logs completos para o servidor.

3.1.2. Modo por Evento (Trigger)

O Modo de Operação por Trigger é a funcionalidade de inteligência avançada do SL-02 que garante o monitoramento em tempo real de situações críticas. Este modo opera de forma complementar ao modo periódico, permitindo que o equipamento reaja instantaneamente a mudanças bruscas ou violações de limites pré-estabelecidos.

Enquanto o equipamento mantém sua rotina de coletas programadas (Modo por Tempo), ele monitora continuamente os valores obtidos em relação aos limiares de trigger configurados:

- **Deteção Imediata:** Se qualquer variável monitorada (pressão, entradas digitais, temperatura, umidade ou inclinação/movimento) ultrapassar os limites configurados, o SL-02 interrompe a espera pelo próximo intervalo de envio;
- **Transmissão Prioritária:** O equipamento ativa o modem NB-IoT imediatamente após a detecção do evento e realiza o envio dos dados em tempo real para o servidor, garantindo que a equipe de operação receba o alerta sem atrasos;
- **Cobertura Total de Sensores:** Os gatilhos de evento podem ser configurados individualmente para todas as entradas e sensores disponíveis no hardware, incluindo:
 - **Sensor de Pressão:** Alarmes de alta/baixa pressão, rupturas em adutoras ou golpes de aríete;
 - **Entradas Digitais (IN0-IN1):** Alta vazão, acionamento de botões, falha de máquinas ou pulsos de consumo anômalos;
 - **Sensores de Temperatura/Umididade:** Excursões térmicas fora da faixa de segurança em ambientes críticos;
 - **Acelerômetro/Inclinômetro:** Movimentação não autorizada de ativos ou inclinação perigosa de estruturas.

Recurso	Impacto na Segurança e Operação
---------	---------------------------------



Resposta em Tempo Real	Elimina o tempo de espera entre coletas para eventos que exigem ação imediata.
Otimização de Bateria	O dispositivo mantém o rádio desligado, ativando-o apenas quando a "inteligência de borda" detecta uma anomalia.
Redução de Danos	Essencial para a cadeia de frio e segurança de ativos, onde minutos de atraso podem causar prejuízos.
Configuração Flexível	Permite definir limites superiores, inferiores ou mudanças de estado lógico.

Exemplo Prático:

Um SL-02 monitorando uma adutora está configurado para enviar dados a cada 4 horas. Se ocorrer uma ruptura na rede e a pressão cair bruscamente abaixo do limite de segurança, ou se o hidrômetro registrar um pulso de Alta Vazão contínuo, o Trigger é acionado e o alerta com a pressão atual e o volume acumulado é enviado no mesmo instante para a central de operações.

3.1.3. Modo Horímetro

O Modo Horímetro é uma funcionalidade especializada do SL-02 projetada para a medição precisa de ciclos operacionais e tempo de atividade (uptime/horímetro). Diferente da contagem simples de pulsos, este modo captura a cronologia exata de eventos complexos, permitindo uma análise detalhada da produtividade de máquinas e sistemas de vazão. O sistema monitora as entradas de pulso ou contato seco e utiliza uma lógica inteligente para identificar o início e o fim de um ciclo de trabalho:

1. Detecção de Início: Ao receber o primeiro pulso ou fechamento de contato, o SL-02 registra instantaneamente o Timestamp Inicial (data e hora exata) do evento;
2. Monitoramento do Ciclo: Durante a atividade, o dispositivo contabiliza a quantidade total de pulsos ou eventos ocorridos;
3. Tempo de Silêncio (Timeout): O usuário configura um "tempo de silêncio". Se nenhum novo pulso for detectado durante este período, o SL-02 considera o ciclo como encerrado;
4. Registro do Término: O equipamento registra o Timestamp Final (subtraído o tempo de silêncio) e consolida os dados do evento em variáveis específicas;
5. Transmissão Imediata: Logo após o término do ciclo (ou expiração do tempo de silêncio), o equipamento ativa a transmissão NB-IoT para reportar os dados do ciclo completo.

Para cada ciclo detectado, o SL-02 gera um pacote de informações contendo:

- Timestamp Inicial: Momento exato do início da operação;
- Timestamp Final: Momento exato do encerramento (subtraído o tempo de silêncio);
- Quantidade de Pulsos: Volume ou acionamentos totais dentro do ciclo.

Aplicação	Benefício do Modo Horímetro
Bombas e Motores	Registro exato de quantas horas o equipamento trabalhou para fins de manutenção preventiva.
Medidores de Vazão	Identificação do início e fim de processos de transferência de fluidos.
Máquinas Industriais	Monitoramento de ciclos de produção e tempos de setup ou ociosidade.
Geradores de Energia	Contabilização rigorosa do tempo de operação em regime de emergência.

Diferencial de Precisão:

A capacidade de configurar o tempo de silêncio permite adaptar o SL-02 a diferentes dinâmicas de máquinas, garantindo que pequenas pausas operacionais não sejam interpretadas erroneamente como o fim do ciclo, proporcionando dados muito mais fiéis à realidade do campo.

3.2. Lógica de Coleta e Envio

Para otimizar o consumo de energia, o SL-02 utiliza um sistema de intervalos múltiplos:

Parâmetro	Regra de Configuração	Exemplo Prático
Intervalo de Coleta	Mínimo de 1 minuto.	Configurado para 10 minutos.
Intervalo de Envio	Deve ser múltiplo do intervalo de coleta.	Configurado como 6 (múltiplo).
Resultado Operacional	Coleta a cada 10 min / Envio a cada 60 min.	Serão realizadas 6 coletas antes do dispositivo transmitir os dados.

3.3. Sincronismo e Comando Remoto (MQTT)

No modo MQTT, o SL-02 pode receber novas configurações remotamente através da assinatura de tópicos específicos. O sincronismo de escuta (downlink) é otimizado para não drenar a bateria. A assinatura do tópico ocorre sempre em múltiplos do intervalo de envio.

Exemplo:

Se o fator de sincronismo for 1, o dispositivo verifica novas ordens a cada envio. Se for 2, a verificação ocorre apenas a cada dois envios, e assim sucessivamente.

3.4. Gestão de Memória e Resiliência de Dados

O SL-02 prioriza a integridade da informação, mesmo em condições de rede instável:

- **Armazenamento Local:** Todos os dados são salvos na memória interna e podem ser acessados via interface local (USB-C), podendo ser exportados para .CSV através do software Fractum Manager;
- **Reenvio Automático:** Em caso de falha na comunicação ou indisponibilidade do servidor, os dados permanecem retidos e são reenviados automaticamente assim que a conexão é restabelecida;
- **Controle de Conexão:** Para evitar o esgotamento da bateria em reconexões longas, o usuário pode configurar o Número Máximo de Envios por Conexão, limitando a quantidade de pacotes sincronizados em um único ciclo de comunicação.

3.5. Atualização de Firmware Remota (FOTA)

O SL-02 possui suporte nativo ao recurso de FOTA (Firmware Over-The-Air), permitindo a gestão e atualização remota do software do equipamento através da rede NB-IoT. Este recurso assegura que o parque tecnológico permaneça atualizado com as últimas melhorias de performance e segurança sem a necessidade de intervenção física.

A arquitetura de atualização do SL-02 foi projetada para ser robusta e de fácil implementação pelo usuário final:

- **Protocolo de Comunicação:** Utiliza o padrão FTP (File Transfer Protocol) para a transferência dos pacotes de firmware, garantindo compatibilidade com servidores de rede convencionais;
- **Configuração de Origem:** O usuário indica remotamente os parâmetros de conexão, incluindo o endereço do servidor e o diretório (pasta) onde os arquivos de atualização estão armazenados;
- **Execução Automatizada:** Após o recebimento do comando de atualização, o SL-02 realiza o ciclo completo de forma autônoma:
 - Acessa o servidor FTP configurado;
 - Realiza o download seguro dos arquivos de firmware para a partição de segurança da memória interna;

- Valida a integridade dos dados baixados;
- Executa a atualização e realiza a reinicialização automática do sistema.

Abaixo estão as especificações técnicas do FOTA.

Parâmetro	Descrição
Protocolo de Rede	FTP (File Transfer Protocol)
Interface de Transporte	Rede Celular NB-IoT
Segurança de Memória	Partição dedicada para download (evita corrupção do firmware atual)
Automação	Download, Validação e Reboot automáticos após o comando
Gestão	Configurável via comandos remotos ou Fractum Manager

3.6. Consumo Detalhado de Energia

O SL-02 foi otimizado para operar em regimes de baixíssimo consumo. Abaixo estão os valores típicos de corrente para cada estado de operação.

Estado de Operação	Descrição	Consumo Típico
Deep Sleep	Modo de hibernação profunda	< 10 μ A
Coleta Ativa	Processamento e leitura de sensores (sem transmissão).	~15-25 mA
Inicialização do Modem	Ativação do rádio e busca de rede.	~40-60 mA
Transmissão de Dados	Upload de pacotes via NB-IoT (Pico de corrente).	~120-500 mA

3.7. Estimativa da Vida Útil da Bateria

Considerando a bateria interna de Li-SOCl₂ de 13.000 mAh e um cenário de uso padrão (coleta a cada 15 min), a autonomia estimada varia conforme a frequência de transmissão:



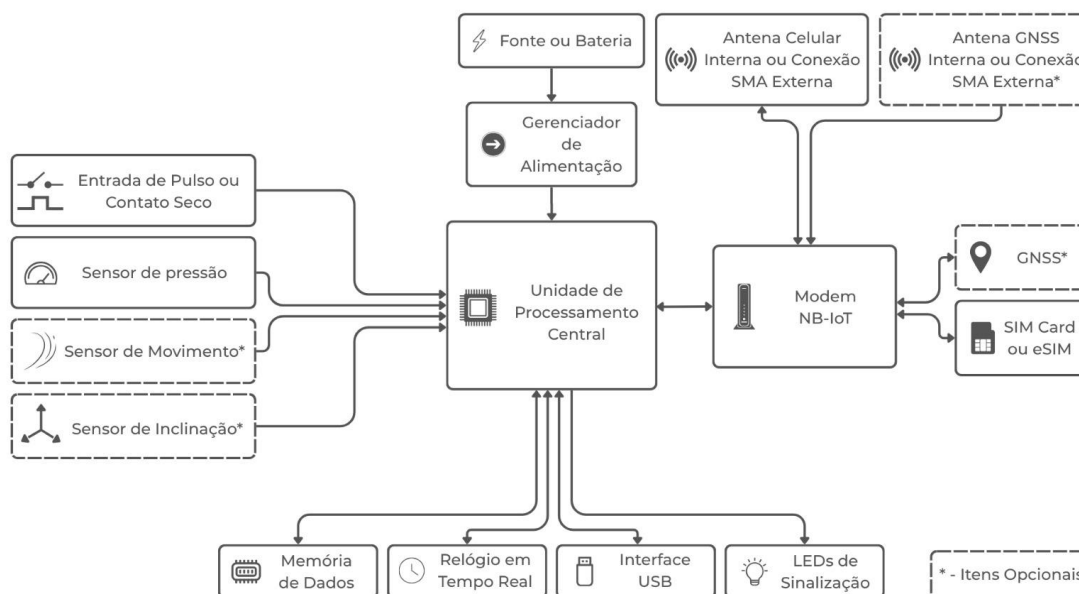
Frequência de Transmissão	Autonomia Estimada	Observações
1 Envio por Dia	> 12 Anos	Limitado pela autodescarga da bateria.
4 Envios por Dia	~8 a 10 Anos	Cenário ideal para monitoramento de utilidades.
1 Envio a cada 4 Horas	~4 a 6 Anos	Equilíbrio entre latência e autonomia.
1 Envio por Hora	~1,5 a 3 Anos	Alta frequência de dados.
Transmissão Contínua	< 6 Meses	Não recomendado para operação a bateria.

Nota:

Cálculos baseados em condições ideais de temperatura (25°C) e sinal de rede estável, sem configuração de warm-up e GNSS.

4. Diagrama em Blocos e Conexões

Abaixo, o diagrama em blocos detalhado do SL-02 com todos os opcionais.



4.1. Sensor de Pressão

O SL-02 é equipado com um transdutor de pressão digital de alta precisão, integrado internamente ao gabinete para máxima proteção contra impactos e intempéries. O dispositivo está disponível em dois modelos comerciais, selecionáveis conforme a necessidade da aplicação:

- Modelo 100 MCA: Escala de medição de até 100 MCA (10 bar);
- Modelo 200 MCA: Escala de medição de até 200 MCA (20 bar).

A leitura de pressão é realizada de forma periódica, seguindo a configuração de coleta definida pelo usuário. O sistema permite a configuração de triggers (gatilhos) de máxima e mínima, garantindo que, caso a pressão ultrapasse os limites de segurança, o equipamento realize uma transmissão imediata.

Para garantir a precisão nominal de $\pm 0,25\%$ FSS, é obrigatório realizar o procedimento de calibração de zero no primeiro uso através do Fractum Manager. Este processo é fundamental para que o sensor identifique a pressão atmosférica local e a compense, garantindo que a leitura final reflita com exatidão apenas a pressão relativa da rede hidráulica.

- Procedimento: Deve ser realizado com o sensor exposto apenas à pressão atmosférica (sem conexão hidráulica com a rede);

- Recorrência: O ajuste deve ser feito apenas uma vez durante a instalação inicial, seguindo as orientações da plataforma.

O sensor de pressão está localizado internamente à caixa IP68 do SL-02. A conexão com a tubulação externa deve ser feita obrigatoriamente mediante tubo de 6mm (PU ou similar resistente à pressão), utilizando o conector BSP de engate rápido (push-pull) integrado ao gabinete, o que garante estanqueidade absoluta e facilidade de manutenção em campo.

4.2. Contato Seco

O SL-02 dispõe de 2 entradas independentes (IN0, IN1) configuráveis para a detecção de Contato Seco. Nesta modalidade, a entrada atua monitorando o fechamento do circuito entre o pino INx e o GND, sendo ideal para a integração com chaves fim de curso, sensores tipo reed switch, saídas de medidores de água, gás e energia, saídas auxiliares de máquinas industriais, relés e botões.

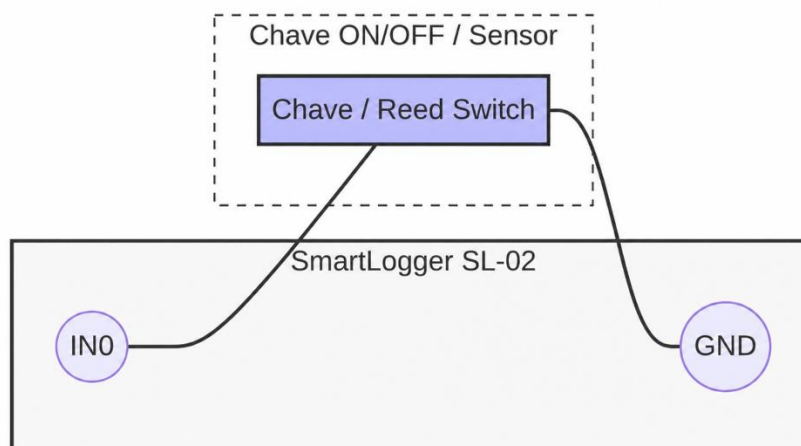
O hardware processa transições de estado com frequência de até 30 Hz, permitindo a contagem precisa de acionamentos e o monitoramento de status em tempo real.

Canal	Contador por Intervalo (Incremental)	Acumulador Total (Lifetime)	Estado Lógico (Real-time)
IN0	INT0: Contador de acionamentos no intervalo atual	PCT0: Total de acionamentos acumulado	STINT0: Aberto (1) / Fechado (0)
IN1	INT1: Contador de acionamentos no intervalo atual	PCT1: Total acionamentos acumulado	STINT1: Aberto (1) / Fechado (0)

- INT(x): Registra o número de vezes que o contato foi fechado dentro do intervalo de coleta configurado.
- PCT(x): Armazena o somatório histórico de todos os acionamentos (fechamentos de contato) desde o início da operação.
- STINT(x): Indica o estado físico do contato no exato momento da coleta: 1 para contato aberto e 0 para contato fechado (curto com GND).

No modo Contato Seco, o SL-02 utiliza sua referência interna para detectar o fechamento do circuito, dispensando o uso de fontes de tensão externas nas entradas, o que simplifica a instalação e protege o equipamento. A impedância de entrada é de 100K Ohms.

Esquema de ligação:



4.3. Entrada de Pulso

O SL-02 dispõe de 2 entradas de pulso independentes (IN0, IN1), projetadas para a integração direta com medidores de saída pulsada. O hardware é capaz de processar sinais com frequência de até 30 Hz, garantindo alta precisão na coleta de dados.

Para cada entrada, o equipamento gerencia três tipos de variáveis de monitoramento, permitindo uma análise completa tanto do consumo instantâneo quanto do histórico acumulado.

Tabela de Variáveis de Contagem e Estado:

Canal	Contador por Intervalo (Incremental)	Acumulador Total (Lifetime)	Estado Lógico (Real-time)
IN0	INT0: Pulsos no intervalo atual	PCT0: Total acumulado	STINT0: Estado (0 ou 1)
IN1	INT1: Pulsos no intervalo atual	PCT1: Total acumulado	STINT1: Estado (0 ou 1)

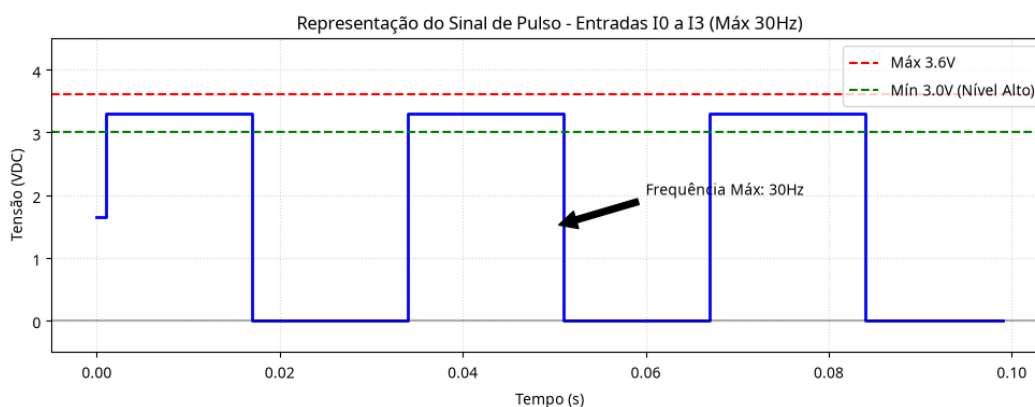
- INT(x): Representa a contagem de pulsos detectados especificamente dentro do último intervalo de coleta configurado.
- PCT(x): Atua como um hodômetro, acumulando continuamente todos os pulsos recebidos pela entrada.
- STINT(x): Indica o nível lógico da entrada (0 ou 1) exatamente no instante em que a coleta foi realizada.

Especificações Elétricas das Entradas (I0 a I3):

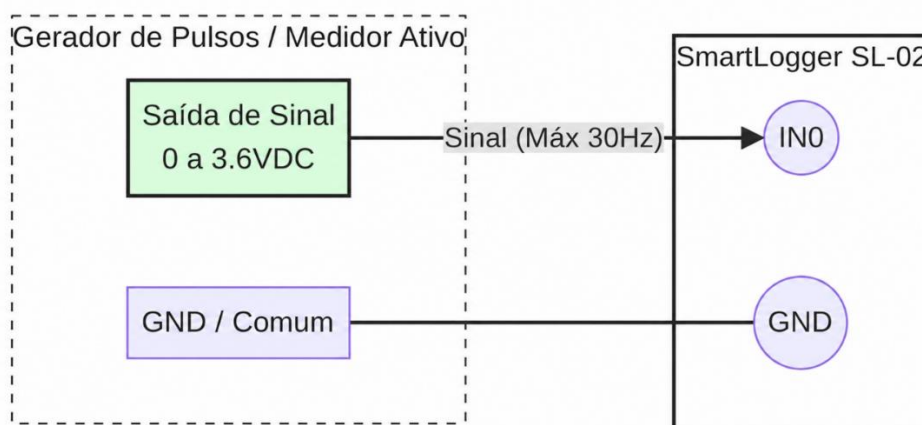
Parâmetro	Valor Mínimo	Valor Máximo	Unidade
Quantidade de Canais	-	2	-
Frequência de Operação	0	30	Hz
Tensão de Entrada (Nível Alto)	3,0	3,6	VDC
Tensão de Entrada (Nível Baixo)	0	0,5	VDC

Nota de Segurança:

Para garantir a integridade do hardware e a precisão das leituras, a tensão aplicada às entradas jamais deve exceder o limite máximo de 3,6 VDC.



Esquema de ligação:



4.4. Sensor de Movimento

O SL-02 pode ser equipado com um acelerômetro digital triaxial de alta sensibilidade, configurado para operar com a tecnologia AnyMotion (ANYM). Este recurso permite que o dispositivo identifique instantaneamente qualquer deslocamento, vibração ou mudança de estado físico que exceda os limites configurados nos eixos X, Y ou Z.

Diferente de sistemas de leitura periódica (polling), que podem perder eventos rápidos, o SL-02 utiliza uma lógica de interrupção por hardware (ANYM_INT). Isso garante uma resposta imediata a eventos dinâmicos. O uso de interrupções permite que o processador permaneça em modo de baixo consumo (Deep Sleep), sendo "despertado" apenas quando um movimento relevante é detectado.

É possível a detecção em Tempo Real, no momento exato em que o movimento ocorre, permitindo que o dispositivo registre e transmita o evento com precisão.

A detecção é realizada simultaneamente nos três eixos (X, Y e Z), garantindo que o movimento seja capturado independentemente da orientação de instalação do equipamento.

Parâmetro	Descrição
AnyMotion (ANYM)	Detecção de movimento baseada em limiar de aceleração.
Triaxial (X, Y e Z)	Monitoramento espacial completo.
ANYM_INT (Interrupção)	Registro imediato de eventos via hardware.
Segurança e Atividade	Detecção de violação, deslocamento de ativos ou início de operação de máquinas.

Nota Técnica:

A implementação do AnyMotion no SL-02 é otimizada para capturar transições rápidas de estado, sendo a solução ideal para o monitoramento de segurança e integridade física de ativos remotos onde a economia de bateria é primordial.

4.5. Sensor de Inclinação

Para aplicações que exigem máxima estabilidade e precisão, o SL-02 pode ser equipado com um Inclinômetro Triaxial (X, Y e Z) de alta performance. Baseado na avançada tecnologia

capacitiva 3D-MEMS, este componente transforma o dispositivo em um tilt meter industrial de nível superior, capaz de operar com extrema confiabilidade em ambientes com severas exigências térmicas e mecânicas.

Este subsistema de inclinação destaca-se pela sua excepcional estabilidade de offset e ultra-baixo ruído, permitindo medições angulares com precisão laboratorial em campo:

- **Resolução Angular Superior:** Oferece uma resolução de saída de até 0,0055°, permitindo detectar variações mínimas de inclinação estrutural ou mecânica;
- **Estabilidade Térmica Avançada:** Projetado para manter a precisão em uma ampla faixa de temperatura operacional (-40°C a +85°C), garantindo dados confiáveis mesmo sob exposição solar direta;
- **Filtros Digitais Configuráveis:** O sensor permite o ajuste fino da sensibilidade e da filtragem de ruído, adaptando-se desde o monitoramento de estruturas estáticas até o controle de máquinas em movimento.

Parâmetro	Especificação	Unidade
Eixos de Medição	Triaxial (X, Y e Z)	-
Resolução Angular	0,0055	graus (°)
Densidade de Ruído	Ultra-baixo (0,001)	°/√Hz
Tecnologia de Sensoriamento	Capacitiva 3D-MEMS	-
Estabilidade de Offset	Alta Performance Industrial	-

Exemplo de Aplicações:

- **Monitoramento Estrutural (Structural Health Monitoring):** Detecção de inclinações em pontes, viadutos, torres de telecomunicação e barragens.
- **Nivelamento e Controle de Máquinas:** Alinhamento preciso de braços robóticos, guindastes e equipamentos de terraplanagem.
- **Segurança de Ativos Críticos:** Monitoramento de inclinação em postes de energia e estruturas metálicas para prevenção de quedas.
- **Sistemas de Posicionamento:** Auxílio na orientação e guia de sistemas que exigem referência angular rigorosa.

Nota Técnica:

A integração desta tecnologia de alta performance com a conectividade NB-IoT e a proteção IP68 do SL-02 permite o monitoramento preventivo e autônomo de infraestruturas, onde a precisão é o fator determinante para a segurança e a continuidade operacional.

4.6. Gerenciador de Alimentação

O SL-02 integra um circuito avançado de gerenciamento de energia, projetado para garantir a estabilidade operacional de todos os componentes internos e sensores conectados. Este bloco é o núcleo responsável pela eficiência energética do dispositivo, permitindo uma transição suave entre diferentes estados de consumo (Deep Sleep e Transmissão) sem comprometer a integridade dos dados.

4.7. Bateria Interna

O SL-02 pode ser alimentado por uma bateria interna de tecnologia Li-SOCl₂ (Lítio-Cloreto de Tionila) de 3.6 VDC do modelo ER34615M, reconhecida mundialmente como a melhor escolha para dispositivos IoT de baixo consumo que exigem máxima confiabilidade e longevidade em campo.

Especificações técnicas da bateria:

Parâmetro	Especificação	Unidade
Química	Li-SOCl ₂ (Lítio-Cloreto de Tionila)	-
Tensão Nominal	3,6	VDC
Capacidade Nominal	13.000	mAh
Taxa de Autodescarga	< 1% ao ano (a 25°C)	-
Faixa de Temperatura	-40 a +85	°C

Vantagens da Tecnologia Li-SOCl₂ no SL-02

A escolha desta célula de energia proporciona diferenciais críticos para a operação do SL-02:

- Alta Densidade de Energia: Oferece a maior densidade energética entre as baterias primárias, permitindo um design compacto com alta capacidade de armazenamento;
- Longevidade Operacional: Graças à baixíssima taxa de autodescarga, o SL-02 pode permanecer ativo por mais de uma década em perfis de uso otimizados;
- Estabilidade de Tensão: A tensão de saída permanece extremamente estável durante quase toda a vida útil da bateria, garantindo o funcionamento preciso dos sensores e do modem NB-IoT;
- Resiliência Térmica: Mantém o desempenho superior mesmo em condições de frio ou calor extremos, sendo ideal para instalações externas expostas ao tempo.

Nota de Manutenção:

A bateria Li-SOCl₂ é do tipo primária (não recarregável). Quando for necessária a substituição, utilize apenas células originais com as mesmas especificações para garantir a segurança e a autonomia do equipamento.

4.8. Fonte Externa

O dispositivo suporta alimentação via fonte externa regulada na faixa de 3,3 VDC a 3,6 VDC. Esta fonte deve ser capaz de suportar correntes de pico de até 500 mA sem apresentar ripple de tensão, garantindo a estabilidade do modem NB-IoT durante as transmissões. Um modelo recomendado para esta aplicação é uma fonte de 3,3 VDC / 2A.

4.9. Unidade de Processamento Central

O núcleo de inteligência do SL-02 é composto por um microcontrolador de 32 bits de alto desempenho, baseado na arquitetura Arm® Cortex®-M0+. Equipado com um firmware customizado e otimizado para aplicações de IoT industrial, este processador é o responsável por coordenar todas as lógicas de funcionamento, desde o gerenciamento de energia até a interface com periféricos críticos.

O microcontrolador atua como o hub central do equipamento, gerenciando as seguintes frentes:

- Controle de Periféricos: Interfaceamento direto com a memória interna, modem NB-IoT, portas USB, LEDs de indicação e todos os sensores (Pulsos, Pressão e Acelerômetro);
- Gestão de Energia: Controle ultra-eficiente dos modos de baixo consumo (Sleep, Stop, Standby), garantindo que o dispositivo opere com a mínima corrente necessária;
- Segurança de Dados: Unidade de cálculo de CRC integrada para garantir a integridade das informações e suporte a proteções de memória para o firmware.

A utilização de um núcleo Cortex-M0+ de 32 bits permite que o SL-02 execute algoritmos complexos de filtragem de sinal e criptografia de dados com um consumo de energia

significativamente menor do que arquiteturas tradicionais, sendo o equilíbrio perfeito entre poder de processamento e autonomia de bateria.

4.10. Memória de Dados

O SL-02 é equipado com uma memória Serial Flash de alta performance com capacidade de 128 Mbits (16 Mbytes). Esta unidade de armazenamento é fundamental para garantir a integridade das informações coletadas, as configurações do sistema e a segurança durante os processos de atualização remota de firmware.

A memória é segmentada em três áreas lógicas distintas para otimizar a confiabilidade e o desempenho do equipamento:

- **Área de Logs (Histórico de Dados):** Partição dedicada ao armazenamento de até 50.000 logs de eventos e sensores. O salvamento nesta área utiliza a técnica FIFO (First In, First Out), garantindo que os dados mais recentes sejam sempre preservados, sobrescrevendo os mais antigos automaticamente quando a capacidade máxima é atingida;
- **Área de Configurações:** Espaço reservado para os parâmetros operacionais do equipamento, garantindo que todas as definições (como intervalos de coleta, senhas e tópicos MQTT) sejam mantidas mesmo após quedas de energia ou reinicializações;
- **Área de Atualização de Firmware (FOTA):** Partição de segurança utilizada para o recebimento e validação de novos firmwares via rede NB-IoT, permitindo atualizações remotas seguras sem o risco de corromper a aplicação principal.

Parâmetro	Especificação Detalhada
Capacidade Total	128 Mbits (16 Mbytes)
Retenção de Dados	Superior a 20 anos
Ciclos de Escrita/Apagamento	Mínimo de 100.000 ciclos por setor
Tecnologia de Gravação	FIFO (para Área de Logs)

4.11. Relógio em Tempo Real (RTC)

O SL-02 integra um Relógio em Tempo Real (RTC) de alta precisão, componente vital para a organização cronológica dos logs e para a execução de tarefas agendadas. O RTC permite que o datalogger opere com base em horários absolutos, garantindo que todas as coletas de dados sejam devidamente carimbadas com data e hora exatas (timestamping).



Para assegurar que o relógio interno permaneça sempre atualizado, o SL-02 suporta múltiplos métodos de sincronismo:

- Rede Celular NB-IoT: Atualização automática através das informações de tempo fornecidas pela rede da operadora;
- Servidor NTP (Network Time Protocol): Sincronismo via internet com servidores de tempo de alta precisão;
- Interface USB: Ajuste manual ou automático durante a configuração local via software Fractum Manager.

O equipamento pode ser configurado para realizar o ajuste do RTC a cada nova conexão celular ou em intervalos fixos de 24 horas, compensando qualquer desvio natural do cristal oscilador.

Diferente de sistemas que iniciam a contagem de tempo de forma aleatória, as coletas do SL-02 são orientadas e múltiplas a partir da 00:00:00 (meia-noite). Esta lógica garante o alinhamento temporal perfeito entre diferentes dispositivos em campo.

Exemplo Prático:

Se o intervalo de coleta for configurado para 5 minutos, as leituras ocorrerão exatamente às 00:05:00, 00:10:00, 00:15:00, e assim sucessivamente. Esse recurso facilita a análise de dados em massa, permitindo a comparação direta de grandezas medidas por diversos sensores no mesmo instante de tempo.

Recurso	Descrição Técnica
Precisão	Cristal oscilador de 32.768 KHz compensado.
Fontes de Sincronismo	Via NB-IoT ou USB.
Frequência de Ajuste	Configurável (A cada conexão ou a cada 24h).
Referência de Coleta	Baseada em horário absoluto (UTC/Local).
Backup de Energia	Mantém o tempo durante breves interrupções de energia.

4.12. Interface USB

O SL-02 é equipado com uma interface USB Tipo C interna, projetada para facilitar o comissionamento, a manutenção e o diagnóstico avançado do equipamento em campo ou



em laboratório. Esta interface robusta e moderna garante uma conexão estável e veloz para a gestão completa do dispositivo.

Através de um cabo USB Tipo C padrão conectado a um computador, o usuário tem acesso total às ferramentas de gestão do SL-02 via software Fractum Manager:

- **Configuração Local:** Ajuste simplificado de todos os parâmetros operacionais, incluindo APN da operadora, intervalos de coleta/envio, triggers de evento e credenciais de segurança (TOKEN);
- **Monitoramento de Status:** Visualização em tempo real do estado de saúde do equipamento, nível de carga da bateria, qualidade do sinal NB-IoT (RSSI) e status de registro na rede celular;
- **Debug Avançado:** Acesso aos logs de sistema e ferramentas de depuração para análise do comportamento do firmware, verificação de comunicação com sensores e diagnóstico de protocolos de rede;
- **Download de Dados:** Possibilidade de extrair os logs salvos na memória interna diretamente via cabo, servindo como uma alternativa segura em locais sem cobertura de rede celular.

Parâmetro	Especificação
Tipo de Conector	USB Tipo C (Interno)
Funções Suportadas	Configuração, Debug, Monitoramento e Download de Logs
Software Compatível	Fractum Manager
Compatibilidade OS	Windows / Linux / macOS (via software de gestão)

4.13. Modem NB-IoT

O SL-02 oferece flexibilidade de hardware através da utilização de dois modelos de modems de última geração, permitindo a escolha da solução ideal conforme a necessidade da aplicação:

- **Variante NB-IoT:** Focada exclusivamente na conectividade de dados de baixo consumo e longo alcance;
- **Variante NB-IoT + GNSS:** Integra conectividade de dados e posicionamento geográfico global no mesmo módulo, ideal para rastreamento e gestão de ativos.

O modem NB-IoT oferece recursos de ponta que garantem a conectividade do SL-02 mesmo nas condições mais desafiadoras:

- Multibanda NB-IoT: Suporte total às bandas LTE-FDD globais, garantindo compatibilidade com as principais operadoras de telefonia celular;
- Alta Sensibilidade de Recepção: Excelente performance de RF com sensibilidade de até -129 dBm em NB-IoT, permitindo a comunicação em locais de difícil acesso, como subsolos e áreas rurais;
- Segurança Integrada: Suporte nativo a protocolos de segurança como TLS/SSL, garantindo a integridade e confidencialidade dos dados transmitidos.

Parâmetro	Especificação Detalhada
Tecnologia	LTE Cat-NB1 / Cat-NB2
Bandas Suportadas	B1, B3, B5, B8, B20 e B28 (Global NB-IoT)
Velocidade de Dados	Uplink até 150 Kbps / Downlink até 136 Kbps
Potência de Saída	Classe 5 (20 dBm) / Classe 3 (23 dBm)
Protocolos de Rede	TCP/UDP, HTTP/HTTPS, MQTT/MQTTS, FTP/FTPS, NTP
GNSS*	GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo (Variante GNSS)

Nota Técnica:

O modem gerencia automaticamente a transição entre os estados de energia, permitindo que o SL-02 "acorde" apenas para transmitir dados e retorne instantaneamente ao modo de economia, maximizando a autonomia energética do equipamento.

4.14. GNSS

O SL-02 oferece a opção de integração de um módulo GNSS (Global Navigation Satellite System) de alta sensibilidade, permitindo que o dispositivo atue não apenas como um datalogger, mas também como um rastreador de ativos (Asset Tracker) de alto desempenho. Esta funcionalidade é ideal para a gestão de frotas, segurança de cargas e monitoramento de equipamentos móveis.

O sistema GNSS do SL-02 é altamente configurável, permitindo o ajuste fino entre precisão e consumo de energia:

- Coleta Periódica de Dados: O equipamento pode ser programado para coletar e transmitir coordenadas de Latitude, Longitude e Altitude em intervalos regulares;

- Controle de Precisão (Erro de Medição): É possível configurar o nível de erro aceitável para a coleta. O dispositivo reporta o erro estimado de cada medição, garantindo a confiabilidade da localização enviada ao servidor;
- Rastreamento Inteligente por Movimento: O SL-02 possui uma lógica avançada que ativa o GNSS apenas quando o acelerômetro interno detecta movimento. Esta função permite que o dispositivo opere como uma isca de carga ou rastreador de ativos, economizando bateria enquanto o objeto está parado e fornecendo trilhas precisas durante o deslocamento.

Parâmetro	Descrição / Valor
Sistemas Suportados	GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo
Dados Reportados	Latitude, Longitude, Altitude, Velocidade, Erro Estimado
Sensibilidade (Tracking)	-162 dBm
Sensibilidade (Cold Start)	-148 dBm
Tempo para Primeira Fixação (TTFF)	< 35s (Cold Start) / < 1s (Hot Start)
Lógica de Ativação	Periódica ou Ativada por Movimento (AnyMotion)

Exemplos de aplicação:

- Isca de Carga: Dispositivo oculto para recuperação de mercadorias em caso de roubo;
- Asset Tracking Industrial: Monitoramento de contêineres, geradores, máquinas de construção e outros ativos de alto valor;
- Gestão de Frotas e Logística: Acompanhamento em tempo real da rota e do tempo de permanência em pontos de interesse;
- Segurança de Ativos Remotos: Alerta imediato de localização caso o equipamento seja movido sem autorização;
- Inteligência de Energia: A integração do GNSS com o recurso AnyMotion é o diferencial que permite ao SL-02 manter uma autonomia de anos, mesmo em aplicações de rastreamento, ao eliminar o consumo desnecessário do GPS quando o ativo está estacionário.

4.15. Conexão SMA Externa para Antena Celular

O SL-02 oferece conexão SMA externa, proporcionando máxima flexibilidade para a otimização do sinal de rede em locais com cobertura desafiadora. Esta interface permite a utilização de uma ampla gama de antenas, desde modelos compactos para uso interno até sistemas de antenas externas de alto ganho montadas em torres ou mastros.

A implementação da conexão externa no SL-02 foi projetada para manter a integridade do equipamento em ambientes industriais:

- **Proteção IP68:** A conexão é realizada através de um pigtail interno selado, garantindo que o dispositivo mantenha seu grau de proteção contra poeira e imersão em água, mesmo com a utilização da interface externa;
- **Conector Padrão SMA:** Utiliza o padrão industrial SMA, facilitando a conexão direta de antenas indoor ou a interligação de cabos coaxiais para a instalação de antenas remotas de alto desempenho;
- **Antena Inclusa:** Quando configurado com esta opção, o SL-02 é fornecido com uma antena de 2 dBi de alto desempenho, otimizada para cobrir todas as faixas de frequência NB-IoT suportadas pelo equipamento.

Parâmetro	Especificação Detalhada
Tipo de Conector	SMA (Fêmea) externo
Proteção de Vedação	IP68 (via pigtail interno selado)
Antena Fornecida	2 dBi Multibanda
Faixas de Frequência	Compatível com todas as bandas NB-IoT (B1, B3, B5, B8, B20 e B28)
Impedância	50 Ohms

Aplicações Recomendadas para Antena Externa:

- **Instalações Subterrâneas:** Uso de cabos extensores para posicionar a antena acima do nível do solo em bueiros ou subsolos;
- **Painéis Metálicos:** Instalação da antena no exterior de gabinetes metálicos que poderiam atuar como uma gaiola de Faraday, bloqueando o sinal;
- **Áreas Rurais ou Remotas:** Conexão de antenas direcionais de alto ganho (Yagi ou similares) para estabelecer comunicação em zonas de sinal fraco;
- **Dica de Instalação:** Para garantir a melhor performance e manter a proteção IP68, certifique-se de que o conector SMA esteja devidamente apertado e, em instalações

externas expostas, recomenda-se o uso de fita de autofusão para proteção adicional da junção do cabo.

4.16. Antena Celular Interna

Para aplicações que exigem um design compacto, discreto e máxima proteção contra vandalismo ou intempéries, o SL-02 pode ser equipado com uma Antena Celular Interna de alta eficiência.

Vantagens:

Mantém o perfil externo do equipamento totalmente liso, sem partes salientes, e elimina o risco de danos físicos ou desconexão acidental da antena. Tornando-se ideal para instalações em áreas públicas, caixas de passagem e locais com boa cobertura de sinal onde a integridade física do dispositivo é a maior prioridade.

4.17. Conexão SMA Externa para Antena GNSS

Para as variantes equipadas com o recurso de posicionamento global, o SL-02 oferece a opção de Conexão SMA Externa para Antena GNSS. Esta interface é fundamental para aplicações que exigem alta precisão de localização em ambientes onde o dispositivo está instalado em locais com visibilidade restrita do céu, como gabinetes metálicos ou sob estruturas densas.

A interface de antena GNSS externa foi projetada para maximizar a sensibilidade de recepção dos satélites sem comprometer a durabilidade do hardware:

- **Proteção IP68 Garantida:** Assim como na interface celular, a conexão GNSS utiliza um pigtail interno selado de alta qualidade, assegurando que o SL-02 permaneça totalmente protegido contra poeira e imersão em água (IP68), mesmo com a antena externa conectada;
- **Conector Padrão SMA:** Permite a conexão de antenas GNSS ativas ou passivas, facilitando o posicionamento da antena em locais estratégicos com "visão clara" do céu para uma fixação rápida (TTFF) e precisa;
- **Compatibilidade Multi-Constelação:** A interface é otimizada para receber sinais das redes GPS, BeiDou, GLONASS e Galileo, aproveitando ao máximo a capacidade multi-satélite do modem interno.

Parâmetro	Especificação Detalhada
Tipo de Conector	SMA (Fêmea) externo
Proteção de Vedação	IP68 (via pigtail interno selado)



Sistemas Suportados	GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo
Alimentação para Antena	Suporte a Antenas Ativas (LNA integrado no modem)
Impedância	50 Ohms

Cenários recomendados:

- Rastreamento de Ativos em Contêineres: Instalação do SL-02 dentro do contêiner com a antena GNSS posicionada externamente para garantir o sinal durante o transporte;
- Painéis de Controle Externos: Montagem da antena no topo do painel para evitar a atenuação causada pela estrutura metálica do gabinete;
- Monitoramento Estrutural e de Obras: Uso de antenas externas para garantir que o erro de posicionamento seja minimizado em áreas com obstruções parciais.

Nota Técnica:

Para obter os melhores resultados de precisão centesimal e rapidez na primeira fixação (Cold Start), recomenda-se o uso de antenas GNSS ativas, que aproveitam o ganho adicional do amplificador interno do modem do SL-02.

4.18. Antena GNSS Interna

Para aplicações que priorizam a compacidade, facilidade de instalação e proteção total contra fatores externos, o SL-02 oferece a opção de Antena GNSS Interna. Esta solução integra o elemento radiante de posicionamento diretamente dentro do invólucro IP68, eliminando a necessidade de cabos ou acessórios externos.

A utilização da antena interna no SL-02 proporciona benefícios estratégicos para operações de rastreamento e monitoramento:

- Design "All-in-One": O equipamento torna-se uma unidade única e autônoma, facilitando a instalação rápida em ativos móveis ou estruturas remotas sem a preocupação com a fixação de antenas externas;
- Proteção Contra Vandalismo e Intempéries: Ao estar alojada dentro do gabinete selado, a antena fica totalmente protegida contra danos físicos, tentativas de desconexão, corrosão salina ou acúmulo de sujeira que poderiam degradar o sinal;
- Discrição Operacional: Ideal para aplicações de isca de carga ou monitoramento de ativos de alto valor, onde o dispositivo deve permanecer oculto e não possuir elementos externos que denunciem sua presença.

4.19. SimCard

O SL-02 utiliza o padrão de mercado para conectividade celular compacta, garantindo compatibilidade com as principais operadoras de rede NB-IoT globais.

Especificação:

- Formato: O dispositivo é equipado com um slot interno para Nano SIM (4FF), o menor e mais moderno padrão de chip físico disponível;
- Localização: O slot está posicionado internamente para garantir a máxima proteção contra vibrações, umidade e acesso não autorizado, mantendo a integridade da conexão mesmo em ambientes industriais severos;
- Compatibilidade M2M: O hardware é totalmente compatível com SIM Cards de nível industrial (M2M - Machine to Machine), que oferecem maior durabilidade térmica e resistência a ciclos de leitura/escrita, ideais para operações de longa duração em campo.

Parâmetro	Especificação
Tamanho do Chip	Nano SIM (12.3mm x 8.8mm)
Tecnologia de Rede	NB-IoT (LTE Cat-NB1/NB2)

Nota Técnica:

Para aplicações que exigem alta confiabilidade em temperaturas extremas ou vibração constante (como em máquinas industriais ou transporte), recomenda-se a utilização de Nano SIM Cards industriais, que possuem materiais reforçados para evitar a oxidação dos contatos e garantir a continuidade do serviço NB-IoT.

4.20. eSIM

Além do slot para Nano SIM convencional, o SL-02 oferece a opção de ser equipado com um eSIM de Silício (Embedded SIM) no formato MFF2. Esta é a solução de conectividade mais robusta e avançada para o mercado de IoT industrial, proporcionando níveis superiores de confiabilidade e segurança.

Diferente dos chips de plástico tradicionais, o eSIM de silício é um componente eletrônico soldado diretamente na placa de circuito impresso (PCB) do equipamento, oferecendo diferenciais críticos:

- **Máxima Resistência Mecânica:** Por ser soldado, o eSIM é imune a falhas de contato causadas por vibrações intensas, choques mecânicos ou oxidação, sendo a escolha ideal para máquinas industriais e transporte de carga;
- **Durabilidade de Nível Industrial:** Projetado para operar em condições extremas, suportando temperaturas de -40°C a +105°C e oferecendo uma retenção de dados superior a 10 anos;
- **Segurança Inviolável (Anti-Furto):** Como o chip não pode ser removido fisicamente sem a desmonte do hardware e dessoldagem, o risco de furto do chip para uso indevido é virtualmente zero.

4.21. Leds de Sinalização

O SL-02 é equipado com três LEDs de indicação estratégicos, permitindo que o técnico ou instalador realize um diagnóstico rápido do estado operacional do equipamento em campo, sem a necessidade de ferramentas externas.

LED	Significado Operacional
RUN	Indica que o equipamento está em operação ativa, realizando a coleta de dados dos sensores ou transmitindo pacotes.
REDE	Sinaliza que o SL-02 estabeleceu conexão com sucesso com a rede celular NB-IoT.
ERRO	Alerta que o equipamento detectou uma falha interna ou de comunicação, exigindo verificação. Intermitente quando o cabo USB está conectado.

4.22. Segurança e proteção de dados

O SL-02 incorpora camadas avançadas de segurança para garantir a integridade das informações coletadas e impedir o acesso não autorizado ao controle do equipamento.

Comunicação Criptografada (TLS)

Para proteger os dados contra interceptação durante o tráfego pela rede NB-IoT, o SL-02 suporta o protocolo MQTT com TLS (Transport Layer Security).

Criptografia de Ponta a Ponta: Garante que apenas o servidor autorizado consiga ler as mensagens enviadas pelo dispositivo.



Autenticação de Servidor: Previne ataques de "man-in-the-middle", assegurando que o dispositivo se conecte apenas a brokers MQTT confiáveis.

Gestão de Autenticação via TOKEN

O acesso às configurações e comandos do SL-02 é protegido por uma credencial exclusiva (TOKEN).

- Comando TOKEN: Responsável pelo gerenciamento da chave de autenticação. Este comando permite ao administrador alterar a credencial utilizada para validar todos os comandos protegidos enviados ao dispositivo;
- Proteção de Comandos: Sem o TOKEN correto, o dispositivo ignora qualquer tentativa de alteração de parâmetros, garantindo que a configuração de campo permaneça inviolável.

Controle de Acesso e Bloqueio (UNLOCKCMD)

Para aumentar a segurança operacional, o SL-02 utiliza um sistema de bloqueio temporário de comandos.

- Comando UNLOCKCMD: Este mecanismo gerencia o estado de bloqueio do equipamento, oferecendo as seguintes funcionalidades:
 - Desbloqueio Temporário: Permite abrir uma janela de tempo específica para que o equipamento aceite novos comandos;
 - Bloqueio Imediato: Possibilita reativar a proteção de comandos instantaneamente após a manutenção;
 - Configuração de Timeout: Permite definir por quanto tempo o dispositivo permanecerá em estado "aberto" antes de se bloquear automaticamente, minimizando riscos de exposição prolongada.



5. Configuração e Integração de Dados

O SL-02 foi projetado para uma integração simplificada, oferecendo ferramentas locais e remotas para o gerenciamento do dispositivo.

5.1. Configuração via Fractum Manager

A configuração inicial e o diagnóstico do equipamento são realizados através do software Fractum Manager.

- Interface de Conexão: O dispositivo possui um conector USB interno (Tipo C) para conexão direta com um computador;
- Software: O Fractum Manager permite o ajuste de todos os parâmetros de rede, intervalos de coleta/envio, triggers de evento e todas as configurações do equipamento;
- Documentação completa e detalhes de comandos: Manuais detalhados e o instalador do software estão disponíveis em: docs.fractum.com.br.

5.2. Estrutura de Dados (Payload)

O SL-02 utiliza o formato JSON ou STRING para o envio de dados via MQTT/UDP/FTP, garantindo fácil leitura por sistemas de backend. Abaixo, um exemplo típico de payload em JSON:

```
{
  "MODEL": "SL01",
  "VFW": "4.05",
  "IMEI": "358833270151089",
  "INT0": 10,
  "INT1": 20,
  "Bat": 3.62,
  "Data": "2026-01-27",
  "Hora": "13:38:00",
  "Pacote": 1,
  "RSSI": 7,
  "OP": "FRACTUM_NB-IOT",
  "TAG": "Fractum",
  "SN": "99999",
  "ORI": "1",
  "BND": "3"
}
```

O formato e tipo de pacote a ser enviado é totalmente configurável, podendo adicionar ou retirar variáveis ao pacote.



5.3. Estrutura de Tópicos MQTT

O SL-02 pode ser configurado para postar em qualquer tópico MQTT de acordo com a necessidade do cliente. O equipamento publica as informações em um tópico e assina o mesmo ou outro tópico de configuração para receber as configurações remotas.

Função	Padrão de Tópico	Descrição
Publicação (Uplink)	fractum/sl02/{imei}/	Onde o dispositivo publica as coletas.
Comandos (Downlink)	fractum/sl02/cfg/{imei}/	Onde o servidor publica novas configurações.

6. Dimensões e Instalação

A estrutura do gabinete é fabricada em uma combinação de Plástico ABS e Policarbonato (PC), garantindo alta resistência mecânica e estabilidade térmica. O acabamento superficial é do tipo espelhado, o que facilita a limpeza e reduz o acúmulo de detritos.

Características	Especificação
Dimensões Externas	128 mm x 70 mm x 52 mm
Peso do Gabinete	250g com bateria ou 150g sem bateria
Grau de Proteção	IP68 (À prova d'água e poeira)
Faixa de Temperatura	-45 °C a +85 °C
Vedação	Anel de silicone de alta durabilidade



6.1. Modo de Fixação

O SL-02 pode ser montado em superfícies verticais ou horizontais.

O sistema de fixação é composto por 2 pontos estratégicos localizados nos cantos do gabinete. Para realizar a instalação, o técnico deve utilizar os parafusos de aço inoxidável inclusos, que garantem a fixação sem comprometer a vedação interna. O kit acompanha tampas decorativas (blind covers) que, além de oferecerem um acabamento estético superior, protegem os parafusos de fixação contra a corrosão direta e o acúmulo de umidade.



6.2. Recomendações de instalação

Para assegurar a manutenção da certificação IP68 e a longevidade dos componentes internos, devem ser seguidas as seguintes diretrizes:

- **Orientação de Montagem:** Recomenda-se a instalação com o prensa-cabo e a interface de pressão (Posições A e B) voltados para baixo. Esta orientação utiliza a gravidade a favor da vedação e permite que a Vent Valve opere corretamente no equilíbrio da pressão interna;



- **Fechamento da Tampa:** Ao fechar o gabinete, certifique-se de que o anel de silicone esteja limpo e corretamente posicionado em seu canal. Os parafusos da tampa devem ser apertados de forma cruzada para garantir uma pressão uniforme sobre a junta.

7. Acessórios

7.1. Antena Externa Celular

O SmartLogger SL-02, quando configurado com interface de SMA externa, é acompanhado por uma Antena Celular, cujas especificações técnicas garantem a máxima eficiência para comunicações NB-IoT em ambientes industriais e externos.

Especificações Elétricas e Mecânicas:

Parâmetro	Especificação Detalhada
Faixa de Frequência	700 ~ 2700 MHz
Ganho Nominal	2,8 dBi
Impedância de Entrada	50 Ohms
VSWR (ROE)	≤ 2.5
Polarização	Vertical / Omnidirecional
Conector	SMA
Material / Cor	Cobre e ABS de alta resistência / Preto
Dimensões	13 mm (Diâmetro) x 180 mm (Altura)

Para assegurar que as características elétricas acima sejam mantidas ao longo de toda a vida útil do equipamento, as seguintes práticas de campo são mandatórias:

- Padrão Omnidirecional: A polarização vertical e o padrão de radiação Omni permitem que a antena capture sinais de todas as direções, facilitando a instalação em locais onde a posição da torre da operadora é desconhecida.
- Vedação Hidrofóbica Crítica: É indispensável o uso de fita de autofusão na conexão entre a antena e o conector SMA do SL-02. Esta vedação impede a entrada de umidade, que poderia alterar o VSWR (ROE) e causar perdas de sinal por oxidação dos elementos internos de cobre.

7.2. Antena Externa GNSS

O SmartLogger SL-02, quando equipado com o opcional de localização, utiliza uma Antena GNSS Ativa de Alta Performance. Este acessório é fundamental para garantir um posicionamento geográfico rápido e preciso, mesmo em ambientes onde a visibilidade do céu é parcial ou desafiadora.

Parâmetro Técnico	Especificação Detalhada
Frequência de Operação	1575,42 MHz (L1 Band)
Ganho Ativo Típico	28 dB (Amplificação interna de alto ganho)
Filtro de Ruído (LNA)	Filtro sintonizado de baixo ruído (2 dB)
Tensão de Operação	3,0 VDC a 5,0 VDC
Consumo de Corrente	7 mA a 10 mA (Ultra-baixo consumo)
Conector	SMA Macho com banho de ouro industrial
Cabo e Fixação	Cabo de 3 a 5 metros com Base Magnética integrada

Recomendação de Vedação Crítica:

Assim como na antena celular, é indispensável o uso de fita de autofusão na conexão SMA. Embora o conector seja banhado a ouro, a vedação hermética impede a entrada de umidade entre o cabo e o conector do equipamento, preservando o grau de proteção IP68 do SmartLogger e garantindo que a amplificação de 28 dB não seja prejudicada por perdas resistivas decorrentes de oxidação.

7.3. Fonte Externa

Para aplicações que demandam operação contínua e transmissões frequentes de dados via rede NB-IoT, o SmartLogger SL-02 pode ser fornecido com uma Fonte de Alimentação Industrial de alta confiabilidade. Este componente foi dimensionado para garantir que o sistema de rádio e os sensores operem sempre em condições ideais de energia.

Parâmetro Técnico	Especificação Detalhada
-------------------	-------------------------



Tensão de Saída	3,3 VDC (Regulada)
Corrente Nominal	2,0 A
Picos de Corrente	Suporte a transientes de até 500 mA (Transmissão de Rádio)
Local de Conexão	Posição B (Gabinete)
Tipo de Conversão	Chaveada (Alta eficiência e baixo aquecimento)

Importância da Estabilidade Energética:

- Suporte a Rajadas de Rádio: Durante o processo de conexão e upload de dados para a rede celular, o modem NB-IoT exige picos rápidos de corrente. A capacidade de 2 A da fonte garante que a tensão de 3,3 VDC permaneça estável, evitando quedas de energia que poderiam causar reinicializações do microcontrolador ou falhas na escrita da memória Flash;
- Filtragem de Ruído: O projeto da fonte minimiza o ripple (ruído de tensão), o que é essencial para preservar a precisão dos sensores analógicos e digitais conectados ao equipamento, garantindo que as leituras de temperatura e umidade não sofram interferências elétricas.

Recomendação Técnica:

Ao utilizar a fonte externa, o instalador deve assegurar que o cabo esteja devidamente fixado e que a vedação do prensa-cabos esteja apertada corretamente. A estabilidade de 3,3 VDC fornecida por este acessório é um fator determinante para a longevidade dos componentes eletrônicos internos do SmartLogger.

8. Modelos e Part Numbers

Estrutura de Codificação do Part Number do SL-02.

O código do produto segue a seguinte padronização modular:

SL02 - [Modem] - [Antena] - [Interface / Sensor Principal] - [NANOSIM / eSIM]

Legenda de Componentes e Opcionais:

Modem: N (Somente NB-IoT)

G (NB-IoT + GNSS Multi-Constelação)

Antena: INT (Interna Adesiva)

SMA (Conector Externo IP68 com Antena 2dBi inclusa)

Interface / Sensores: P2(1 interface de pressão de 200MCA)

P1(1 interface de pressão de 100MCA)

ANM(Sensor de Movimento)

INC(Inclinômetro de Alta Precisão 3D-MEMS + AnyMotion XYZ)

ALL (Pacote Completo: Inclinômetro + Sensor de Movimento + 2 Interfaces Digitais + 1 Interface de pressão de 200MCA)

SIM Card: NANO (Slot Físico Nano SIM 4FF)

ESIM (eSIM Industrial de Silício MFF2 soldado)

Observações:

- Grau de Proteção IP68: Todas as variantes mantêm a estanqueidade contra poeira e imersão. Modelos com antenas externas utilizam pigtails internos selados, preservando a proteção IP68;
- Equilíbrio de Pressão: Todos os modelos vêm equipados de fábrica com a Vent Valve (Membrana ePTFE), evitando condensação interna decorrente de variações térmicas;
- Alimentação: Compatível com bateria interna de Lítio-Cloreto de Tionila (Li-SOCl₂) de 3.6 VDC / 13.000 mAh ou fonte externa regulada de 3,3 VDC a 3,6 VDC (mínimo 500mA de pico);
- Segurança e FOTA: Todos os modelos suportam criptografia TLS para MQTT, comandos protegidos por TOKEN/UNLOCKCMD e atualização remota via FOTA.

Exemplo:

SL02-N-SMA-P2-NANO

- Modem NB-IoT;
- Conexão SMA para antena externa;
- 1 interface de pressão de 200 MCA;
- 2 entradas de contato seco/pulso;
- Slot físico para SimCard Nano.



9. Conformidade e Homologação

Este equipamento é homologado pela Anatel e cumpre com os requisitos técnicos aplicáveis. Está homologado pelo seguinte número: ANATEL 10322-24-06717

“ Este equipamento não tem direito à proteção contra interferência prejudicial e não pode causar interferência em sistemas devidamente autorizados ”

Para maiores informações, consulte o site da Anatel: www.gov.br/anatel

ANATEL 10322-24-06717



10. Contato e Suporte Técnico

Para suporte técnico, dúvidas sobre integração ou solicitações comerciais, utilize nossos canais oficiais:

- Suporte Técnico: suporte@fractum.com.br
- Vendas e Comercial: vendas@fractum.com.br
- Portal de Documentação: docs.fractum.com.br
- Site Oficial: www.fractum.com.br

Todos os Produtos da Fractum são desenvolvidos e fabricados em Santa Rita do Sapucaí, MG, o Vale da Eletrônica, Brasil.