

Internet das Coisas e Redes Veiculares (TP-546)

Samuel Baraldi Mafra



Baterias e eficiência energética



Os dispositivos IoT possuem dois requerimentos quanto a energia:

- Baterias de alta capacidade que mantêm energia suficiente para operar o dispositivo em um espaço pequeno e com longa vida útil para não perder essa energia com o tempo
- Melhorias na eficiência energética para que consumam menos bateria

Bateria ideal

- 1 Coloque muita energia em um espaço pequeno
- 2 Forneça com eficiência essa energia de forma rápida e / ou incremental, conforme necessário para uma aplicação específica, sem degradar a capacidade da bateria
- 3 Ser facilmente recarregado de várias maneiras, incluindo sem fio, como em redes Wi-Fi
- 4 Torne simples monitorar remotamente a saída da bateria, a vida útil restante da bateria e a integridade geral da bateria
- 5 Evite a autodescarga para manter a carga por longos períodos, mesmo sob condições ambientais adversas
- 6 Ser capaz de ser recarregado muitas vezes, de várias maneiras, sem afetar a capacidade da bateria

Bateria ideal

- 7 Evite emitir calor residual que pode causar problemas
- 8 Duram muito tempo para evitar a necessidade de descarte prematuro e sejam ecologicamente corretos quando finalmente se aposentarem
- 9 Ser barato o suficiente para permitir a implantação generalizada em muitos tipos de dispositivos IoT
- 10 Use um design flexível que torne mais fácil para os fabricantes de dispositivos IoT incorporarem em uma ampla variedade de produtos

Fatores para escolha de uma bateria:

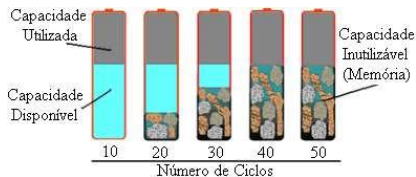
- 1. Densidade de energia: A densidade de energia é a quantidade total de energia que pode ser armazenada por unidade de massa ou volume. Isso determina quanto tempo o dispositivo permanece ligado antes de precisar ser recarregado.
- 2. Densidade de potência: Taxa máxima de descarga de energia por unidade de massa ou volume. Baixo consumo de energia: laptop, i-pod. Alta potência: ferramentas elétricas.
- 3. Segurança: É importante considerar a temperatura na qual o dispositivo que você está construindo funcionará. Em altas temperaturas, certos componentes da bateria podem quebrar e podem sofrer reações exotérmicas. As altas temperaturas geralmente reduzem o desempenho da maioria das baterias.

- 4. Durabilidade do ciclo de vida: A estabilidade da densidade de energia e densidade de potência de uma bateria com ciclos repetidos (carga e descarga) é necessária para a longa vida da bateria exigida pela maioria das aplicações.
- 5. Custo: o custo é uma parte importante de qualquer decisão de engenharia que você tomará. É importante que o custo da escolha da bateria seja compatível com seu desempenho e não aumente o custo geral do projeto de forma anormal.

Internet das Coisas e Redes Veiculares



Efeito Memória:



- Este efeito se deve a cristalização do hidróxido de níquel que compõe o eletrodo positivo.
- Em uma célula em boas condições, os cristais de hidróxido de níquel são extremamente pequenos, resultando numa máxima área superficial.
- O fenômeno do efeito memória surge quando estes cristais se unem aumentando seu tamanho e, com isso, diminuindo a superfície em contato com o eletrólito.

- A capacidade de uma bateria define a sua a capacidade energética sendo expressa em ampere-hora.
- Se uma bateria fornece um ampere (1 A) de corrente (fluxo) por uma hora, tem uma capacidade de $1\text{ A}\cdot\text{h}$.
- Se puder fornecer 1 A por 10 horas, sua capacidade é $10\text{ A}\cdot\text{h}$.

Tipos de baterias:

- Primárias: As baterias primárias são baterias que não podem ser recarregadas depois de esgotadas. As baterias primárias são feitas de células eletroquímicas cuja reação eletroquímica não pode ser revertida.
- Secundárias: Baterias secundárias são baterias com células eletroquímicas cujas reações químicas podem ser revertidas aplicando-se uma certa voltagem à bateria na direção reversa. Também conhecidas como baterias recarregáveis, as células secundárias, ao contrário das células primárias, podem ser recarregadas após o esgotamento da energia da bateria.

Primárias

- Elas são comumente usados em aplicações onde o carregamento é impraticável ou impossível;
- As baterias primárias sempre têm alta energia específica e os sistemas em que são usadas são sempre projetados para consumir pouca energia para permitir que a bateria dure o máximo possível.

Lítio: As baterias de lítio vêm em muitas variedades. Os mais famosos usados em aplicações IoT em formato de botão ou moeda

- As células de lítio do tipo botão possuem tensão de 3 V e cai para 2,2 V quando descarregada.
- Uma baixa taxa de autodescarga e é ideal para aparelhos que devem funcionar por mais tempo e com menos necessidade de energia. Eles geralmente são usados em *real time clock* e backups de memória. Os modelos comuns incluem BR2032 (190 mAh), BR1225 (48 mAh) etc.



- As células de lítio do tipo moeda (CR) têm maior taxa de descarga em comparação com o tipo botão.
- Elas são usados em dispositivos que não devem ser executados por longos períodos, mas exigem correntes de pulso mais altas, como controles remotos, pequenos dispositivos sem fio, flashes.
- Os modelos comuns incluem CR2032 (225mAh), CR2025 (165mAh) etc.



- Alcalinas: Estas são as baterias mais populares.
- São usadas principalmente em aplicações de baixo ciclo de trabalho.
- A tensão nominal que uma célula possui é de 1,5 V e cai para 0,9 V.
- Possuem uma baixa taxa de autodescarga.



- Zinco-carbono: Essas baterias tendem a ter uma baixa taxa de autodescarga semelhante ao tipo alcalino e podem ser usadas por um período de dez anos.
- A densidade de energia é muito menor, o que leva a um desempenho ruim.
- Essas baterias são usadas somente quando o baixo custo está sendo considerado.



Secundárias:

- Eles são normalmente usados em aplicações de alto consumo e outros cenários onde será muito caro ou impraticável usar baterias de carga única;
- Embora o custo inicial de aquisição de baterias recarregáveis seja sempre muito superior ao das baterias primárias, elas são as mais econômicas a longo prazo.

Secundárias: Classificação de acordo com a composição química

- Íon-lítio (íon-lítio);
- Níquel cádmio (Ni-Cd);
- Níquel-hidreto metálico (Ni-MH);
- Chumbo ácido.

Internet das Coisas e Redes Veiculares

- A bateria de níquel-cádmio é desenvolvida usando hidróxido de óxido de níquel e cádmio metálico como eletrodos.
- As baterias Ni-Cd são excelentes para manter a tensão e manter a carga quando não estão em uso.
- As baterias NI-Cd facilmente se tornam vítimas do temido efeito de "memória" quando uma bateria parcialmente carregada é recarregada, reduzindo a capacidade futura da bateria.
- Descarte adequado.



- Hidreto metálico de níquel (Ni-MH) .
- As baterias NiMH encontram aplicação em dispositivos de alto consumo devido à sua alta capacidade e densidade de energia.
- Uma bateria NiMH pode ter duas a três vezes a capacidade de uma bateria NiCd do mesmo tamanho e sua densidade de energia pode se aproximar da de uma bateria de íon de lítio.
- Este tipo de bateria não vicia.



Internet das Coisas e Redes Veiculares

- As baterias de chumbo-ácido possuem baixo custo e são utilizadas em aplicações pesadas.
- O chumbo-ácido é o tipo mais antigo de bateria recarregável.
- As baterias de chumbo-ácido têm uma relação energia-volume e energia-peso muito baixas, mas têm uma relação potência-peso relativamente grande;
- Fornecer correntes de surto enormes quando necessário. Uso em várias aplicações de alta corrente, como alimentar motores de partida de automóveis e para armazenamento em fontes de alimentação de reserva.



Internet das Coisas e Redes Veiculares

- Premio Nobel de Química 2019;
- As baterias de íons de lítio são um tipo de bateria recarregável em que os íons de lítio do eletrodo negativo migram para o eletrodo positivo durante a descarga e migram de volta para o eletrodo negativo quando a bateria está sendo carregada.
- As baterias de íon de lítio geralmente possuem alta densidade de energia, pouco ou nenhum efeito de memória e baixa autodescarga em comparação com outros tipos de bateria.

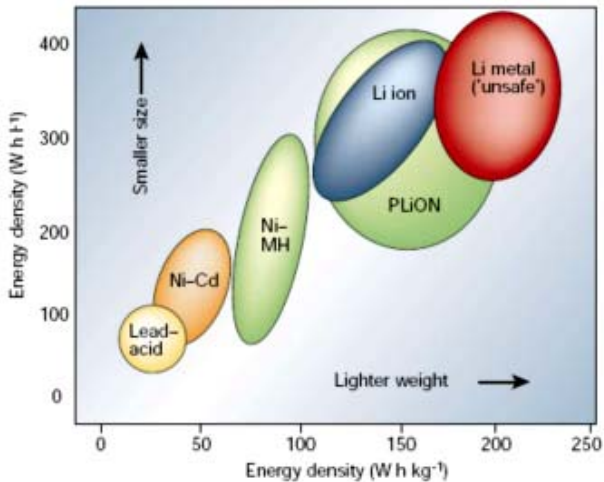




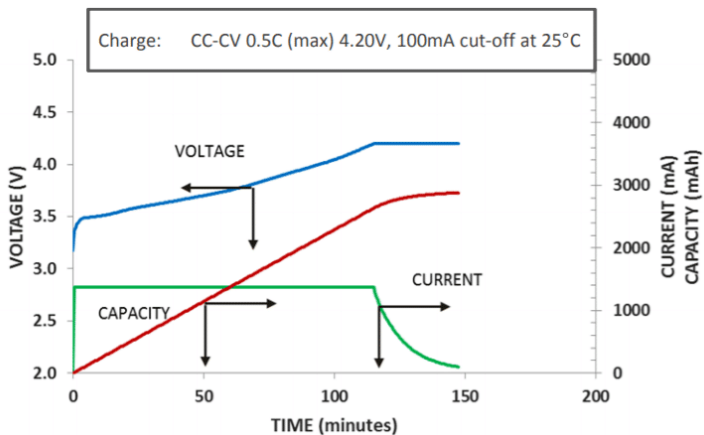
Lithium-ion battery, How does it work?

<https://www.youtube.com/watch?v=VxMM4g2Sk8U>

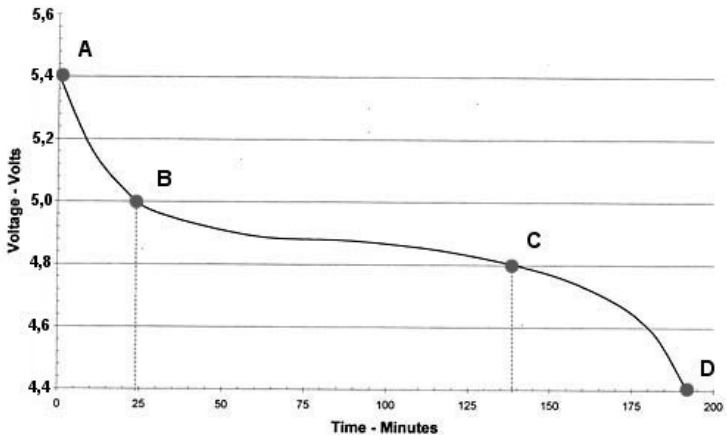
Internet das Coisas e Redes Veiculares



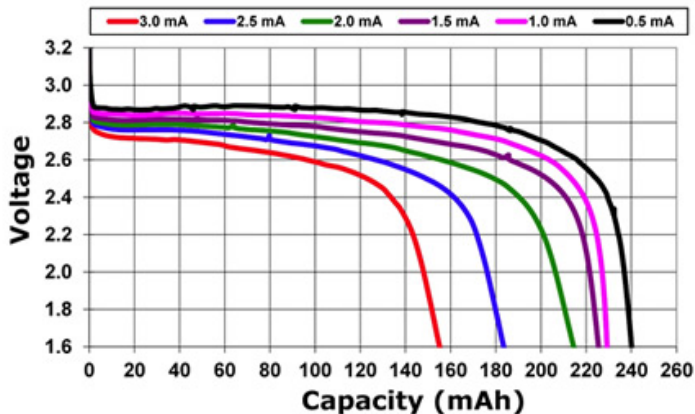
Fases carregamento de bateria



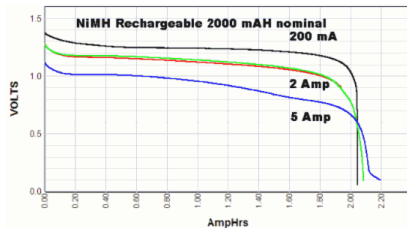
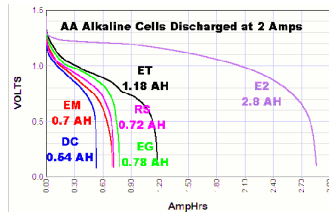
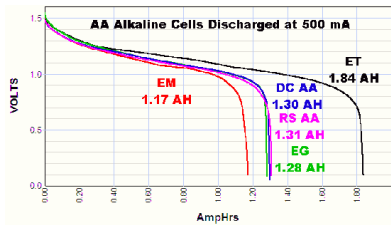
CURVA DE DESCARGA DE UMA BATERIA DE NiCd DE 600ma



Internet das Coisas e Redes Veiculares



Internet das Coisas e Redes Veiculares



Battery Technology Comparison

Specifications	Lead-Acid	NiCd	NiMH	Li-Ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30 – 50	45 – 80	60 – 120	150 – 190	100 – 135	90 – 120
Internal resistance (mΩ/V)	<8.3	17 – 33	33 – 50	21 – 42	6.6 – 20	7.6 – 15.0
Cycle life (80% discharge)	200 – 300	1,000	300 – 500	500 – 1,000	500 – 1,000	1,000 – 2,000
Fast-charge time (hrs.)	8 – 16	1 typical	2 – 4	2 – 4	1 or less	1 or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low	Low	Low
Self-discharge/month (room temp.)	5 – 15%	20%	30%	<5%	<5%	<5%
Cell voltage	2.0	1.2	1.2	3.6	3.8	3.3
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 (2.25 float)	Full charge indicated by voltage signature	Full charge indicated by voltage signature	4.2	4.2	3.6
Discharge cutoff volts (V/cell, 1C*)	1.75	1	1	2.5 – 3.0	2.5 – 3.0	2.8
Peak load current**	5C	20C	5C	> 3C	> 30C	> 30C
Peak load current* (best result)	0.2C	1C	0.5C	<1C	< 10C	< 10C
Charge temperature	-20 – 50°C	0 – 45°C	0 – 45°C	0 – 45°C	0 – 45°C	0 – 45°C
Discharge temperature	-20 – 50°C	-20 – 65°C	-20 – 65°C	-20 – 60°C	-20 – 60°C	-20 – 60°C
Maintenance requirement	3 – 6 months (equalization)	30 – 60 days (discharge)	60 – 90 days (discharge)	None	None	None
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuses common		Protection circuit mandatory		
Time durability				>10 years	>10 years	>10 years
In use since	1881	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	High	High	Low	Low	Low	Low

Source: batteryuniversity.com. The table values are generic, specific batteries may differ.

**C* refers to battery capacity, and this unit is used when specifying charge or discharge rates. For example: 0.5C for a 100 Ah battery = 50 A.

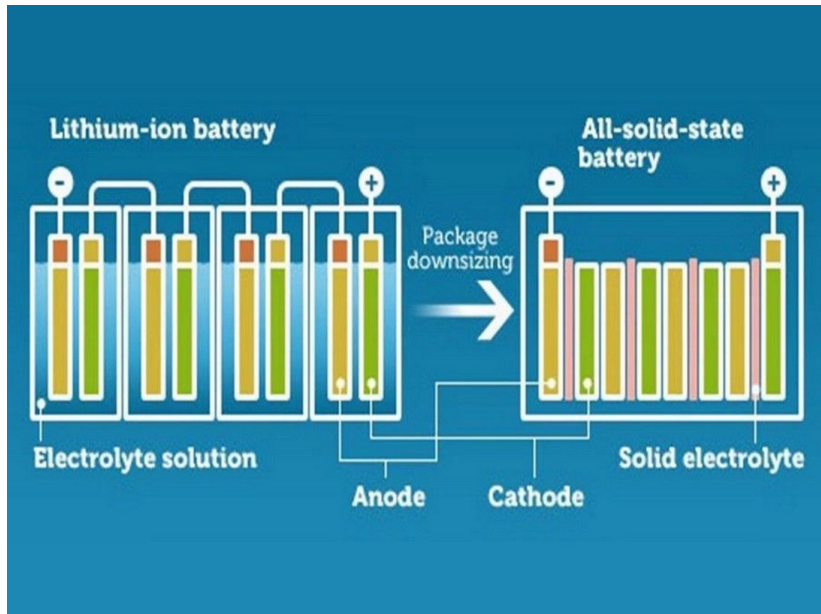
**Peak load current = maximum possible momentary discharge current, which could permanently damage a battery.

Baterias de estado sólido:

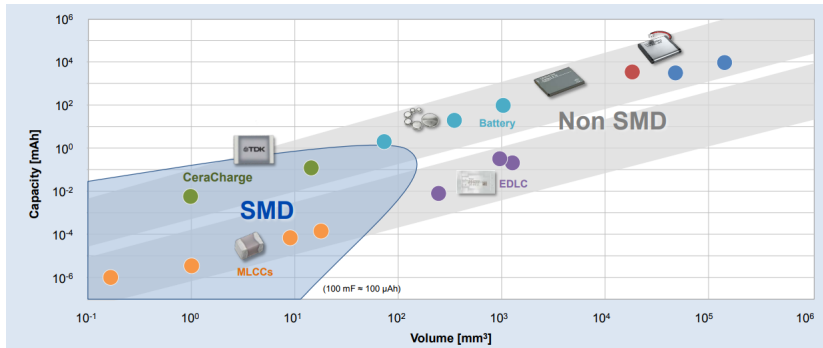
- Bateria recarregável de estado sólido sem eletrólito líquido através da qual os íons de lítio se movem durante a carga ou descarga;
- Maior densidade de energia em um volume muito menor;
- Não há risco de vazamento ou de incêndio;
- Custo alto de produção.



Internet das Coisas e Redes Veiculares



Internet das Coisas e Redes Veiculares

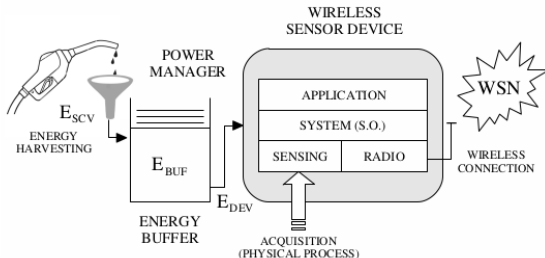


Toyota terá carros elétricos com baterias que carregam em 15 minutos:

- Consórcio Prime Planet Energy & Solutions;
- Panasonic- Toyota;
- Apresentação durante os jogos olímpicos (adiada);
- Venda de carros elétricos com a tecnologia em 2025;
- Garantia de 30 anos com desempenho superior a 90% de todo o seu potencial.



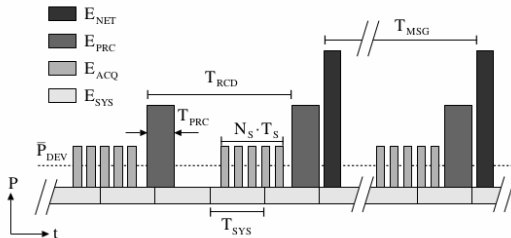
Modelo de consumo de energia



A quantidade de energia armazenada no buffer e captada deve ser maior que a energia necessária para o funcionamento do sensor.

- A maioria das aplicações segue um padrão:
 - Os dados são adquiridos por algum sensor do sistema;
 - Processado em uma unidade controladora;
 - Informações são enviadas por meio de um canal sem fio.

Internet das Coisas e Redes Veiculares



$$P_{DEV} = P_{ACQ} + P_{SYS} + P_{NET} + P_{PRC} \quad (1)$$

Comunicação ponto a ponto ideal:

$$P_{NET} = \sum_0^{N_{MSG}} \frac{E_{MSG}}{T_{MSG}} \quad (2)$$

- E_{MSG} é um parâmetro que depende principalmente da tecnologia de rádio. Dois fatores principais governam essa contribuição: potência de rádio e tempo de transmissão.
- A potência do rádio tende a ser maximizada para aumentar seu alcance.
- O tempo de transmissão é um parâmetro determinado principalmente pela modulação, ele equilibra o complexo compromisso entre taxa de bits (e, portanto, consumo), alcance, confiabilidade e imunidade a interferências.

- As aplicações de monitoramento podem ser classificadas em duas categorias:
 - Detecção regular, ou seja, com um intervalo de aquisição fixo, e detecção orientada a eventos, ou seja, caracterizada por alguma distribuição estocástica;
 - No sensoriamento baseado em eventos, um evento aleatório aciona a aquisição de uma série de amostras do sensor.

$$E_{ACQ} = \begin{cases} E_{SMP} N_S \\ E_{SMP} N'_S P_{Event} \end{cases} \quad (3)$$

A energia de processamento depende basicamente do número de ciclos de clock executadas pelo microcontrolador.

"Os programadores não poderão ignorar o custo de energia dos programas que escrevem ... Você precisa de ferramentas que forneçam feedback e digam o quão boas são suas decisões. Atualmente, as ferramentas não fornecem esse tipo de feedback."(Steve Furber, ARM, 2010)

Fluxo de código:

- Adquirir dados de um sensor;
- Processar e transmitir
- Esperar um tempo;
- Repetir as mesmas tarefas.

ESP8266 modos de baixo consumo

Item		Modem-sleep	Light-sleep	Deep-sleep
Wi-Fi		OFF	OFF	OFF
System clock		ON	OFF	OFF
RTC		ON	ON	ON
CPU		ON	Pending	OFF
Substrate current		15 mA	0.4 mA	~ 20 μ A
Average current	DTIM = 1	16.2 mA	1.8 mA	
	DTIM = 3	15.4 mA	0.9 mA	-
	DTIM = 10	15.2 mA	0.55 mA	

Fluxo de código:

- Adquirir dados de um sensor;
- Processar e transmitir
- Esperar um tempo em *deep mode*;
- Repetir as mesmas tarefas.

MSP430G2452: Ultra low power MCU

- Modo Ativo: Com todos os periféricos ativos;
- Modo Low-Power 0 (LPM0): CPU (Central Processing Unit) desligada. ACLK (Auxiliary Clock) e SMCLK (Sub-Main Clock) permanecem ativos, MCLK (Main Clock) fica desativado;
- Modo Low-Power 1 (LPM1): CPU (Central Processing Unit) desligada. ACLK (Auxiliary Clock) e SMCLK (Sub-Main Clock) permanecem ativos, MCLK (Main Clock) fica desativado. DCO (Digitally Controlled Oscillator) desativado;

MSP430G2452: Ultra low power MCU

- Modo Low-Power 2 (LPM2): CPU (Central Processing Unit) desligada. MCLK (Main Clock) e SMCLK (Sub-Main Clock) desativados. DCO (Digitally Controlled Oscillator) permanece ativo. ACLK (Auxiliary Clock) Ativo;
- Modo Low-Power 3 (LPM3): CPU (Central Processing Unit) desativado. MCLK (Main Clock) e SMCLK (Sub-Main Clock) desativados. DCO (Digitally Controlled Oscillator) desativado. ACLK (Auxiliary Clock) Ativo;
- Modo Low-Power 4 (LPM4): CPU (Central Processing Unit) desativado. ACLK (Auxiliary Clock) desativado. MCLK (Main Clock) e SMCLK (Sub-Main Clock) desativados. DCO (Digitally Controlled Oscillator) desativado. Cristal Oscilador Desativado.

Low-Power Mode Supply Currents (Into V_{CC}) Excluding External Current

over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted)^{(1) (2)}

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_A	V_{CC}	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{LPM0,1MHz}$ Low-power mode 0 (LPM0) current ⁽³⁾	$f_{MCLK} = 0$ MHz, $f_{SMCLK} = f_{DCO} = 1$ MHz, $f_{ACLK} = 32768$ Hz, BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ, DCOCTL = CALDCO_1MHZ, CPUOFF = 1, SCG0 = 0, SCG1 = 0, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V		55		μA
I_{LPM2} Low-power mode 2 (LPM2) current ⁽⁴⁾	$f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, $f_{DCO} = 1$ MHz, $f_{ACLK} = 32768$ Hz, BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ, DCOCTL = CALDCO_1MHZ, CPUOFF = 1, SCG0 = 0, SCG1 = 1, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V		22		μA
$I_{LPM3,LFXT1}$ Low-power mode 3 (LPM3) current ⁽⁴⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, $f_{ACLK} = 32768$ Hz, CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V		0.7	1.0	μA
$I_{LPM3,VLO}$ Low-power mode 3 current, (LPM3) ⁽⁴⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, f_{ACLK} from internal LF oscillator (VLO), CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V		0.5	0.7	μA
I_{LPM4} Low-power mode 4 (LPM4) current ⁽⁵⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, $f_{ACLK} = 0$ Hz, CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 1	25°C	2.2 V		0.1	0.5	μA
		85°C			0.8	1.5	

(1) All inputs are tied to 0 V or to V_{CC} . Outputs do not source or sink any current.

(2) The currents are characterized with a Micro Crystal CC4V-T1A SMD crystal with a load capacitance of 9 pF.

(3) Current for brownout and WDT clocked by SMCLK included.

(4) Current for brownout and WDT clocked by ACLK included.

(5) Current for brownout included.

Internet das Coisas e Redes Veiculares

Table 1. Power consumption for some common radios

Radio	Producer	Power Consumption	
		Transmission	Reception
CC2420	Texas Instruments	35 mW (at 0 dBm)	38 mW
CC1000	Texas Instruments	42 mW (at 0 dBm)	29 mW
TR1000	RF Monolithics	36 mW (at 0 dBm)	9 mW
JN-DS- JN513x	Jennic	111 mW (at 1 dBm)	111 mW

Table 2. Power consumption for some off-the-shelf sensors

Sensor	Producer	Sensing	Power Consumption
STCN75	STM	Temperature	0.4 mW
QST108KT6	STM	Touch	7 mW
SG-LINK (1000 Ω)	MicroStrain	Strain gauge	9 mW
SG-LINK (350 Ω)	MicroStrain	Strain gauge	24 mW
iMEMS	ADI	Accelerometer (3 axis)	30 mW
2200 Series, 2600 Series	GEMS	Pressure	50 mW
T150	GEFRAN	Humidity	90 mW
LUC-M10	PEPPERL+FUCHS	Level Sensor	300 mW
CP18, VL18, GM60, GLV30	VISOLUX	Proximity	350 mW
TDA0161	STM	Proximity	420 mW
FCS-GL1/2A4-AP8X-H1141	TURCK	Flow Control	1250 mW

Há sensores que podem consumir mais energia que circuitos de radio.