

Introdução aos Nanossatélites e Cubesats

Walter Abrahão
Lázaro Camargo
DIPST - INPE SJC

EPS

Suprimento de Energia

Design do Sup. de Energia

Requisitos e Objetivos da Missão

Geometria, Orbita, Controle, Serviço e Payload

1. Identificação dos Requisitos

- Requisitos de alto nível, tipo da missão, configuração da S/C, tempo de missão, e definição da carga-útil.
- Especificações de desenvolvimento, perfil elétrico (médio e picos)

2. Selecionar e Dimensionar a fonte de energia

- Tipo de missão, configuração da S/C, consumo médio.
- Requisitos em EOL, tipos de células solares, massa, área e configuração do painel

3. Selecionar e Dimensionar o armazenamento

- Parâmetros orbitais, perfil de consumo.
- Requisitos de armazenamento em eclipse, e alto consumo,
- Dimensionamento das baterias

4. Identificar o método de regulação, controle e distribuição

- Seleção da fonte, tempo de missão, requisitos do barramento de energia, requisitos térmicos
- Controles de pico, qualidade do barramento, dissipação.

5. Estimar a massa, consumo e picos

- Balancear todas as opções de P/L e Serviço, com seus devidos consumos, v.s. as opções de suprimento.
- Massa e volume são principalmente definidos pela fonte e armazenamento.

Suprimento de Energia

- Gerar, Armazenar, Regular, e Distribuir energia para os subsistemas.
- Cada vez mais os subsistemas estão precisando de mais energia.
- Desafios:
 - Maximizar a eficiência, segurança, confiança, e durabilidade frente a radiação
 - X
 - Minimizando a massa, volume, requisito térmicos, e custos.
- Power Supply - PS, Electrical Power Supply – EPS (subsystem)
 - PSS, EPSS ..

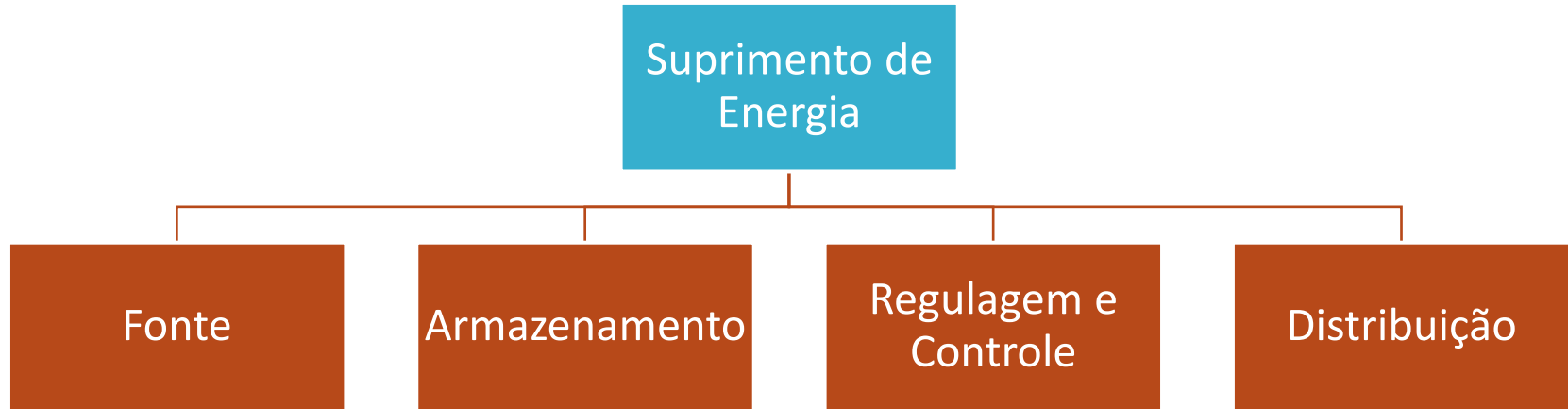
Requisitos de alto nível para o Suprimento de Energia

1. Fornecer uma fonte contínua de energia para o satélite durante a vida da missão.
2. Controlar e distribuir energia para o satélite.
3. Garantir o atendimento das necessidades de consumo para situações comuns e de picos de consumo.
4. Prover conversores para CA e reguladores DC (se necessário)
5. Prover comandos e telemetrias para verificar a saúde e status do subsistema, assim como controla-lo via a estação terrena.
6. Proteger o satélite de falhas no próprio subsistema de suprimento de energia

Efeitos dos requisitos no subsistema

Parâmetro	Efeito no design
Valor médio de consumo	Dimensiona o sistema de geração (quantidade de células, bateria) e possibilita que o sistema de geração/armazenamento possam ser adequados para períodos de eclipse e profundidades de descargas que não danifiquem as baterias.
Valor de pico de consumo	Dimensiona o sistema de geração/armazenamento (números de baterias, banco de capacitores) e o processamento/distribuição de energia.
Fim da missão	Longas missões implicam em sistemas redundantes, sistemas alternativos de carga, baterias de alta capacidade.
Parâmetros orbitais	Definem a incidência solar, períodos de eclipse e quantidade de radiação
Configuração	Definem o posicionamento dos componentes internos e dos painéis solares (espinados – no corpo, estabilizados – asas)

Quebra funcional básica



Alternativas de Geração

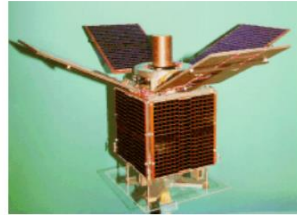
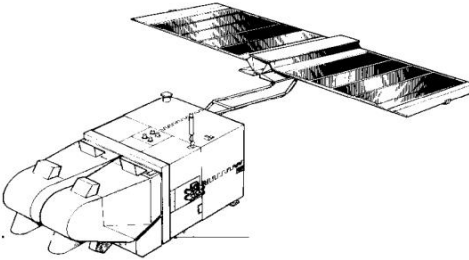
- **Baterias primárias:** São **lançadas carregadas e não aceitam recarga**. São utilizadas para missões de curta duração (voos sub-orbitais e orbitais de curta duração e em lançadores).
- ➔ • **Gerador solar (Gerador fotovoltaico):** Utilizam a captação da energia solar através de **células fotovoltaicas** transformando a energia eletromagnética em elétrica (suscetíveis a interrupção por eclipse).
- **Gerador de potência estática:** Com base em um **gradiente de temperatura** produz uma tensão em uma junção p-n (geração por par termoeletrico) ou através de emissor (em geral quente) e coletor (em geral mais frio) em um ambiente selado com um gás inerte no interior. Os elétrons saem do emissor e vão para o coletor gerando uma corrente (geração termiônica).
- **Gerador de potência dinâmica:** Utilizam uma **fonte de calor e um trocador de calor para acionar um motor de ciclo termodinâmico**. A fonte de calor pode ser energia solar concentrada, radioisótopos ou uma reação de fissão nuclear (geração nuclear).
- **Células de combustível:** Fornecem energia através de **reações químicas e sua vida útil depende da quantidade de reagentes embarcados**. A massa da célula depende da potência a ser produzida e da tecnologia. A massa total (células mais reagentes) é muito grande para missões de longo prazo. As mais utilizadas são a base de oxigênio e hidrogênio (Gemini, Apollo, Space Shuttle).

Comparação

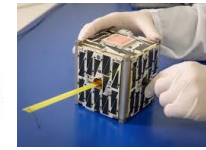
EPS Design Parameters	Solar Photovoltaic	Solar Thermal Dynamic	RTG	Nuclear Reactor	Fuel Cell
Power Range (kW)	0.2–300	5–300	0.2–10	5–300	0.2–50
Specific Power (W/kg)	25–200	9–15	5–20	2–40	275
Specific Cost (\$/W)	800–3,000	1,000–2,000	16K–200K	400K–700K	50K–100K
Hardness					
– Natural Radiation	Low–Medium	High	Very high	Very high	High
– Nuclear Threat	Medium	High	Very high	Very high	High
– Laser Threat	Medium	High	Very high	Very high	High
– Pellets	Low	Medium	Very high	Very high	Medium
Stability & Maneuverability	Low	Medium	High	High	High
Low-orbit Drag	High	High	Low	Medium (due to radiator)	Low
Degradation Over Life	Medium	Medium	Low	Low	Low
Storage Required for Solar Eclipse	Yes	Yes	No	No	No
Sensitivity to Sun Angle	Medium	High	None	None	None
Sensitivity to Spacecraft Shadowing	Low (with bypass diodes)	High	None	None	None
Obstruction of Spacecraft Viewing	High	High	Low	Medium (due to radiator)	None
Fuel Availability	Unlimited	Unlimited	Very low	Very low	Medium
Safety Analysis Reporting	Minimal	Minimal	Routine	Extensive	Routine
IR Signature	Low	Medium	Medium	High	Medium
Principal Applications	Earth-orbiting spacecraft	Interplanetary, Earth-orbiting spacecraft	Interplanetary	Interplanetary	Interplanetary

RTG – Radioisotope Thermoelectric Generator

Configurações



**Montado em
Painéis**
fixos ou rotatórios

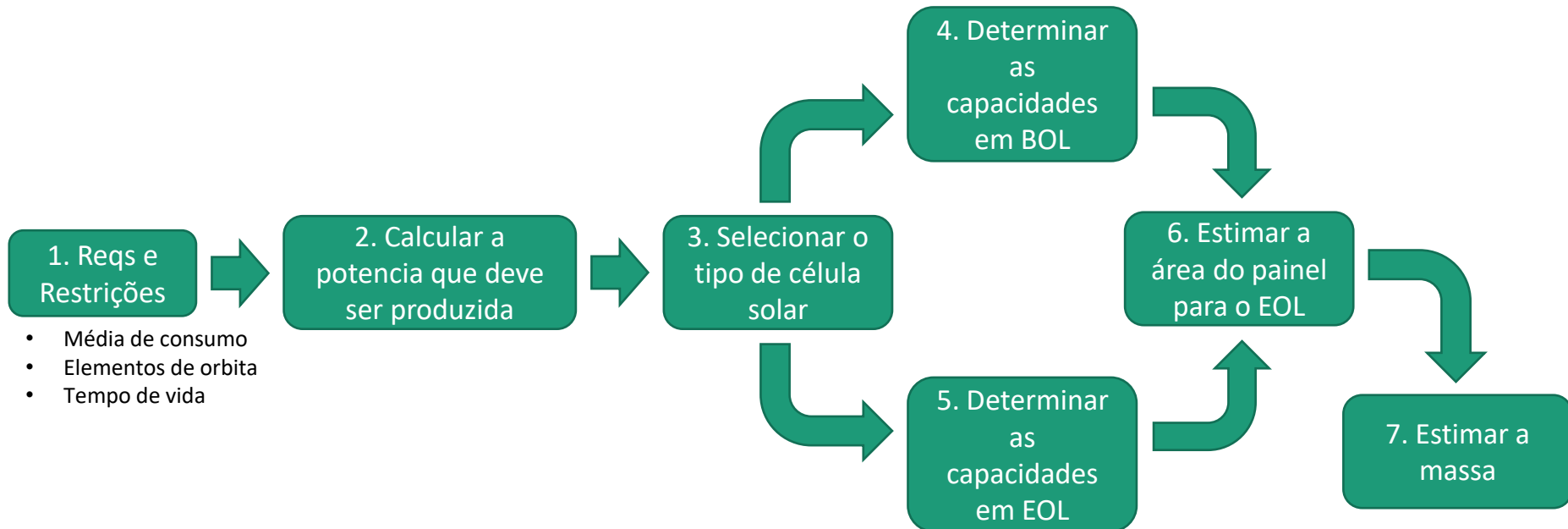


Montado sobre o Corpo
Corpo em rotação

Vantagens/desvantagens das diferentes configurações de painéis solares

- **Painéis fixos fora do corpo** – desacoplamento térmico dos painéis com o corpo do satélite. Reduzida eficiência devido ao ângulo com relação ao Sol (alguns iluminados e outros não). Complexidade média devido a dispositivos de abertura. Para as órbitas baixas aumenta a carga aerodinâmica do controle de atitude.
- **Painéis rotativos (fora do corpo)** – desacoplamento térmicos dos painéis com o corpo e maior eficiência devido ao ângulo com relação ao Sol (em geral todos os painéis estão maior eficiência devido ao ângulo com relação ao Sol (em geral todos os painéis estão em um plano único). A desvantagem é a alta complexidade (dispositivos de abertura e de rotação-transmissão rotativa dos circuitos elétricos dos painéis). Para as órbitas baixas aumenta a carga aerodinâmica do controle de atitude.
- **Painéis fixos no corpo** – Acoplamento térmico com o satélite necessitando de regiões de evacuação do calor protegidas do Sol. Baixa eficiência devido a um grande número de células não apontadas par o Sol.

Passos para o design de um painel



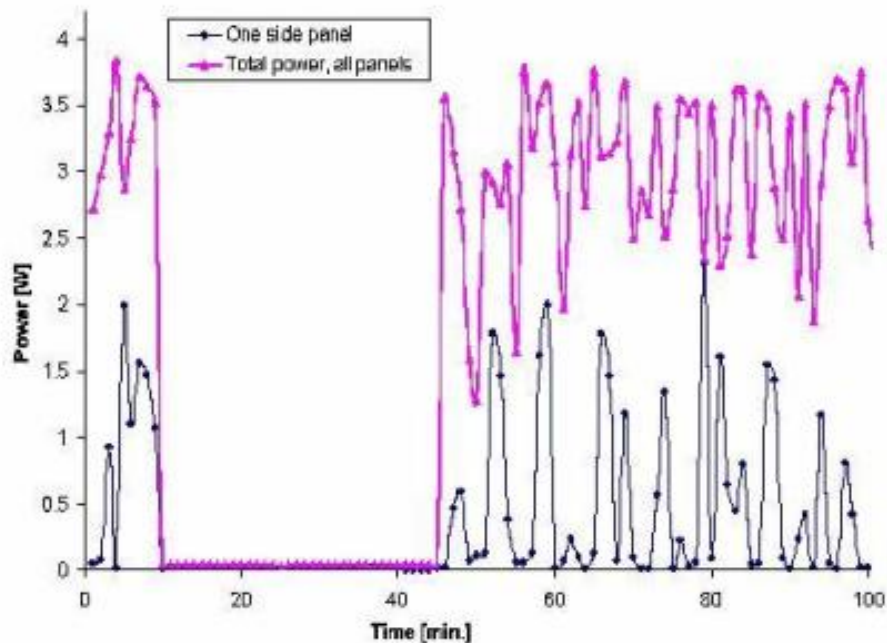


Figure: Energy produced by the solar cells

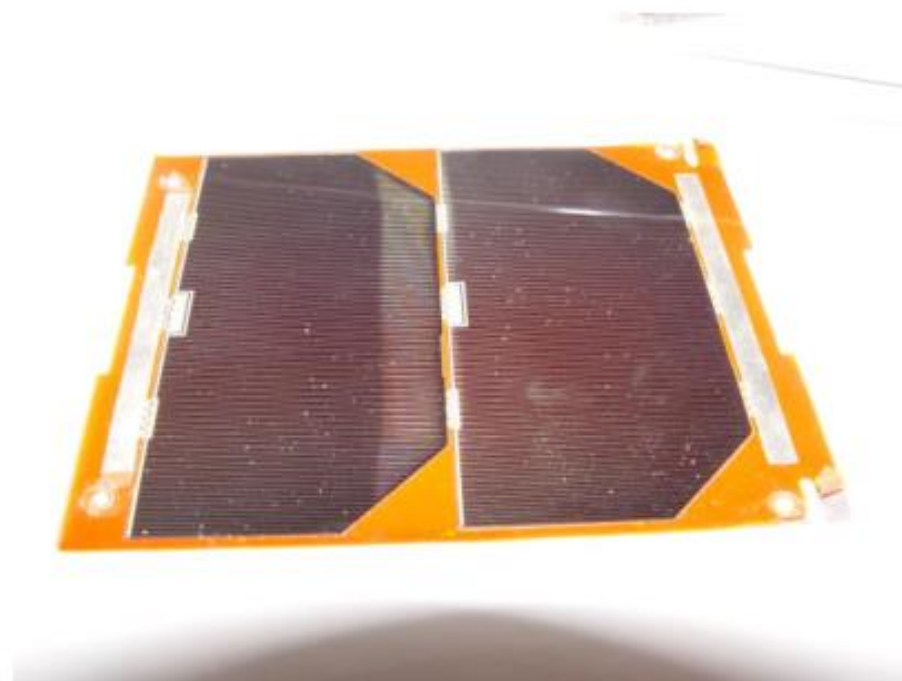


Figure: Highly efficient GaAs solar cell from industry

Desafios dos painéis

- Massa e volume
 - Baterias, estruturas de suporte
- Robustes
 - Tolerancia a falha
- Potencia limitada
 - Geração
 - Consumo
- Sem estabilização
 - Condições variam muito
- Térmica
 - Baterias ciclam muito a temperatura
- Flexibilidade
 - Escala e Reuso



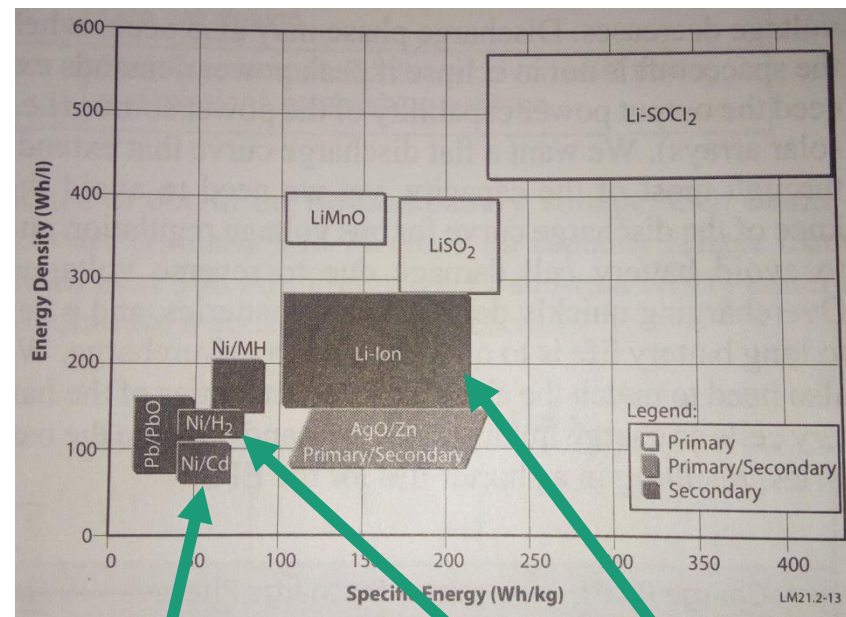
Média
~ 1.7 W

$$2 * 2.37 \text{ V} * 487 \text{ mA} * \sqrt{3} = 2,26 * \sqrt{3} \text{ W} = 3.9 \text{ W}$$

Radio (RX) **600 mW**; Radio (TX) **6 W**; Roda **700 mW**

Baterias

- Pequenas missões, ou fonte de apoio para eclipses ou picos de consumo.
- 3 pontos:
 - **Físicos:** Tamanho, Peso, Posição de operação
 - **Elétricos:** Tensão, corrente de carga, ciclos de trabalho, tempo de carga, limites de descarga, recuperação
 - **Programáticos:** Custo, tempo de vida, missão, confiança, manutenção, produção e segurança



Nickel-Cadmium batteries



Nickel-Hydrogen batteries



Li-ion batteries

Passos para o design de baterias

1. Determinar os reqs de armazenamento

- Tempo de missão
- Fonte primária ou secundária
- Parâmetros orbitais
 - Eclipses
- Perfil de consumo
 - Tensão / Corrente
 - Profundidade de descarga
 - Ciclos de trabalho
- Ciclos de descarga



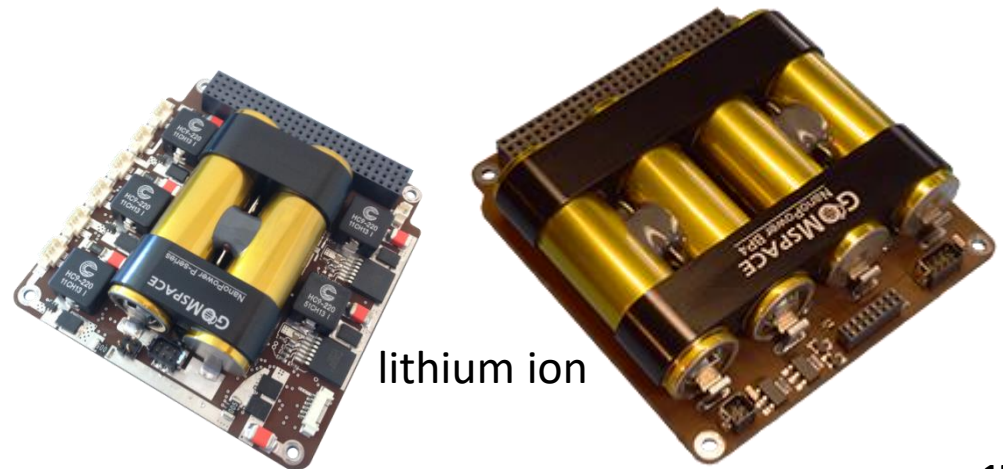
2. Selecionar o tipo de bateria

- Densidade de armazenamento (W-hr/kg)
- Eficiência
- Dissipação térmica
- Descarga diária
- Faixa de temperatura
- Efeito memória
- Indicador de carga
- Modularidade
- Herança de voo



3. Determinar o tamanho das baterias

- Número de baterias
- Eficiência de transmissão da bateria para a carga

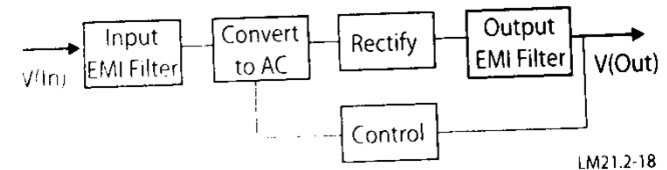
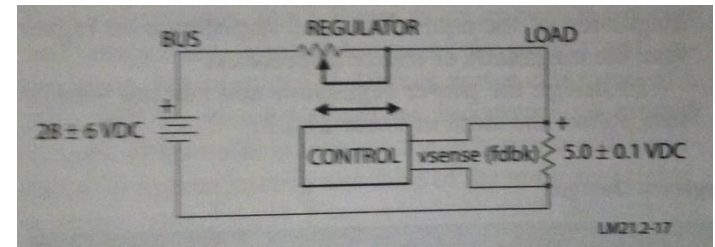


Baterias

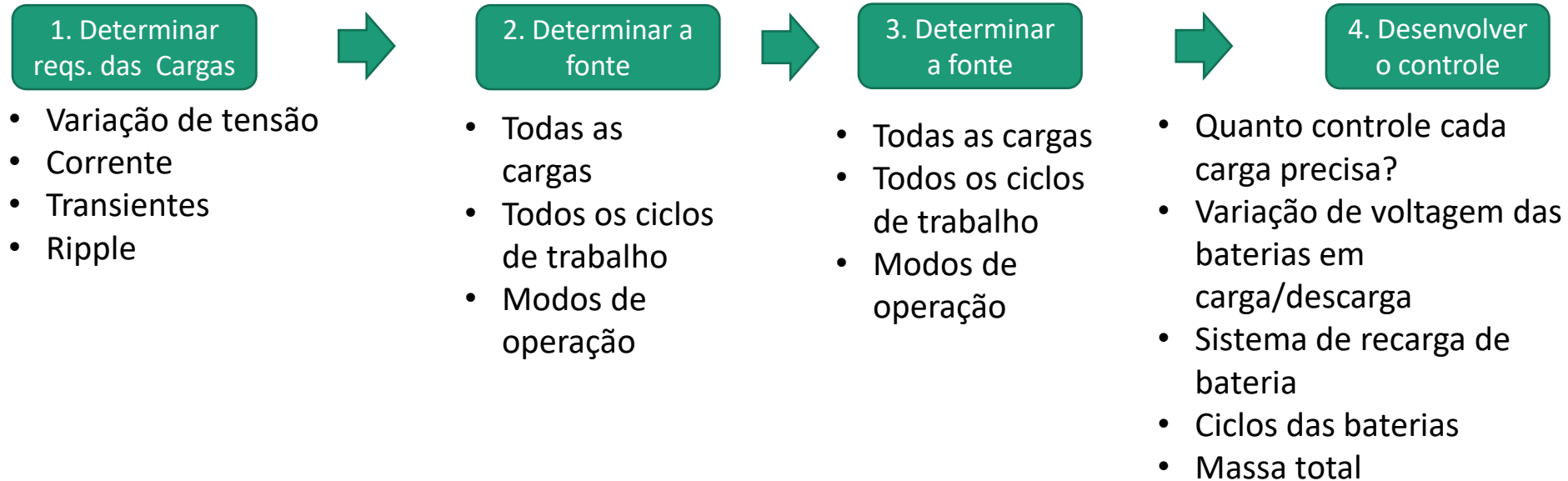
- Baterias tem vida útil limitada, que depende da “Profundidade de Descarga” (DoD) e de seus ciclos de operação. Quanto maior a DoD, menor a vida útil. O dimensionamento da bancada de baterias deve necessariamente considerar este efeito.
 - Capacidade (carga) – Ah // Capacidade (energia) – Wh
- Ex de construção: Para um barramento com 28v são necessários 24 acumuladores (ou células) em serie tendo cada um 1,2v de tensão de descarga.
 - Lembrar relação série (aumenta tensão) e paralelo (aumenta corrente).
- O dimensionamento deve ser feito para o pior caso em termos da capacidade de fornecimento e pelo DoD médio para a determinação da vida útil.

Regulador de Barramento

- Manter a tensão (e corrente) no barramento
- Usava um resistor para sangrar o excesso.
- Hoje usa um sistema de “fonte chaveada”
- Considerar as fontes, as cargas e os ciclos/modos de operação.

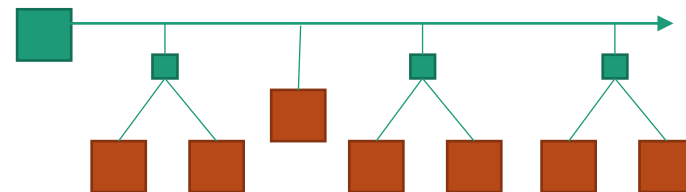
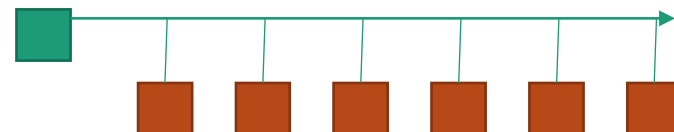


Passos para o design do regulador



Distribuição

- Elementos para distribuição entre as cargas
 - Cabeamentos
 - Proteções
 - Chaveamentos
- Geralmente DC (painéis)
 - Reduções / inversores
- Centralizado/Descentralizado
- Controles via TC
- Medições via TM



Passos para o design da distribuição

1. Determinar o perfil de uso

- Todas as cargas
- Ciclos de trabalho
- Modos de operação
- Inversores para AC
- Comportamentos transientes
- Isolamento/Levantamento de falhas



2. Centralizar / Descentralizar

- Requisitos de cargas individuais
- Massa total



3. Determinar sistema de proteção de falhas

- Modos de detecção
- Modos de Isolamento
- Modos de Correção

Arquitetura Comum

