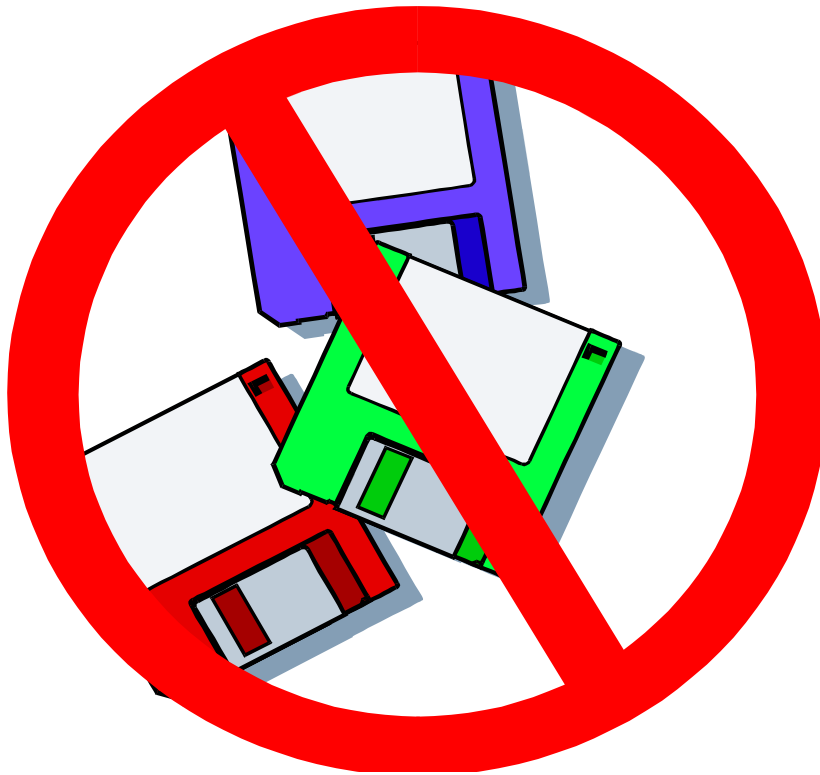


Especial: Enlace de Rádio **MRO, Odyssey, Curiosity NASA**

SEL 413 Telecomunicações

Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!



- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-413: Telecomunicações**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia aeronáutica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

NASA

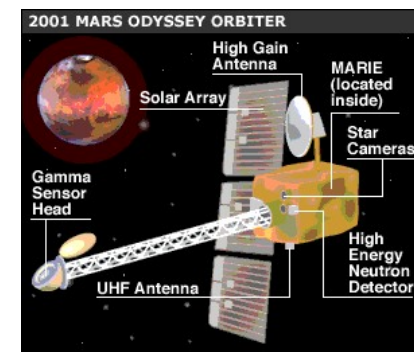
- ✓ National Aeronautics and Space Administration
- ✓ Fundada em 1958
- ✓ Lema: *For the Benefit of All*
- ✓ Programas tripulados
 - Mercury, Gemini, Apollo, Skylab, ônibus espacial, Estação Espacial Internacional
- ✓ Programas não tripulados
 - Mariner, Pioneer, Voyager (no dia 12/9/2013 a Voyager-1 deixou o sistema solar), Viking, Espacial Hubble, Mars Exploration Rovers
- ✓ Orçamento (% orçamento federal dos EUA)
 - 4,41% em 1966 (projeto Apollo); 0,48% em 2012 (~18 bilhões dólares). INPE: ~R\$ 200 milhões
- ✓ “NASA History and the Challenge of Keeping the Contemporary Past” em <http://history.nasa.gov/launiuspharticle.pdf>

Odyssey

- ✓ Lançamento e órbita em 2001, 380 kg, backup para MRO
- ✓ 2 sistemas de rádios
 - UHF (entre Odyssey e veículos na superfície)
 - banda-X (entre Odyssey e Terra)
- ✓ 3 antenas para comunicação com a Terra
 - Principal: parabólica diâmetro 1,3 m, ganho elevado; receber comandos e transmitir dados
 - Antena corneta 7,1 cm, instalada na antena parabólica
 - antena de baixo ganho comprimento 4,4 cm; para emergências ou quando a principal não está apontada para a Terra
 - Peso do sistema de comunicação: 23,9 kg
- ✓ Sistema elétrico
 - Painel solar 7 m²
 - Bateria níquel-hidrogênio 16 ampere-hora

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-1

- ✓ Finalidade
 - procurar evidências de água em Marte
- ✓ NASA, Laboratório de Jatopropulsão
- ✓ Lançamento: 10 de agosto de 2005
 - Foguete Atlas V-40
- ✓ Comunicação com Deep Space Network
 - rede de antenas para comunicação e monitoração
 - Goldstone, Califórnia, EUA
 - Robledo de Chavela, Espanha
 - Camberra, Austrália



Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-2

✓ Sistemas de comunicações, 2 transponders, 1 backup

— Banda-X

- Antena parabólica de 3 metros, ganho elevado, transmissor de 100 W, traveling wave tube amplifier (TWT), lançamento, viagem, órbita

— Banda-Ka

- 32 GHz, 500 MHz de banda, 35 W

— UHF

- 400 MHz, 16 canais, de 390 a 450 MHz, semiduplex em qualquer canal, duplex canais entre 435 e 450 MHz (Tx) e entre 390 a 405 MHz

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-3

✓ Antenas

– Antena de ganho elevado (HGA)

- Parabólica, 3 metros, comunicação permanente com a Terra
- Banda-X, transmite e recebe, ganhos 46,7 dBi (Tx), 45,2 dBi (Rx)
- Banda-Ka, somente transmissão para a Terra, ganho 56,4 dBi (Tx)

– Antena de UHF

- Comunicação MRO – Curiosity
- Ganhos: 5 dBi em 437 MHz e 2 dBi em 401 MHz

HGA e transponder do MRO



Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-4

- ✓ Antena de ganho baixo (LGA) 1
 - Comunicações especiais: lançamento/emergência, ângulo de $\frac{1}{2}$ potência maior que o da HGA, taxa de dados baixa
 - Apontada na mesma direção que a HGA
 - Ganhos na banda-X: 8,8 dBi (TX) e 8,4 dBi (Rx)
- ✓ Antena de ganho baixo (LGA) 2
 - Mesmas características que a LGA-1
 - Apontada na direção oposta

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-5

- ✓ Sensibilidade (potência mínima)
 - Bandas X e Ka com HGA, LGA-1 e LGA-2
 - -156 dBm
 - UHF
 - -130,8 dBm
- ✓ Dependência da taxa de transmissão em UHF
 - 1 kbps: -130,8 dBm
 - 2 Mbps: -99,6 dBm

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-6

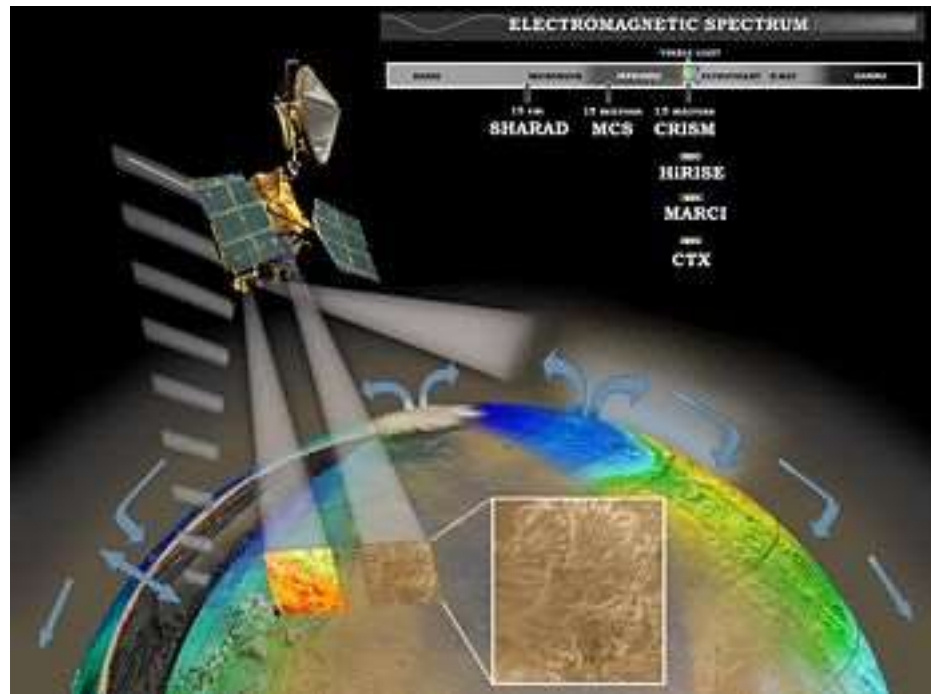
✓ Taxas de transmissão

- Distância máxima da Terra (400×10^6 km): 500 kbps
- Distância mínima da Terra (100×10^6 km): 3 a 4 Mbps

✓ Comunicação com Curiosity

- Esquema armazena e transmite
- Dados armazenados no MRO: 5 GB/dia
- Transmissão 2 vezes por dia, janela 6 a 9 minutos

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)-6



Sonda e equipamentos em ação

MRO satélite



Goldstone DNS antena, CA, EUA



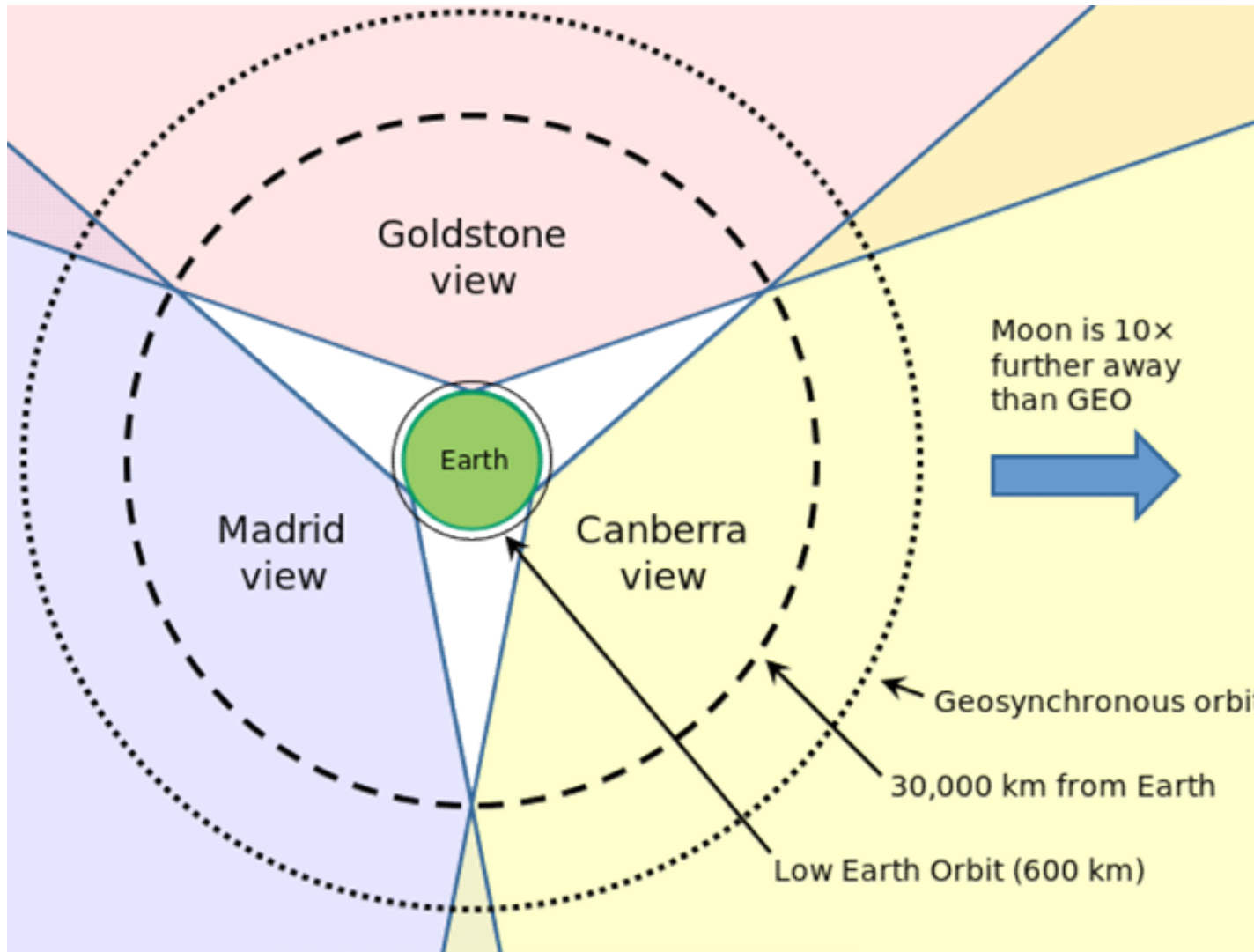
NASA Deep Space Network (DSN)-1



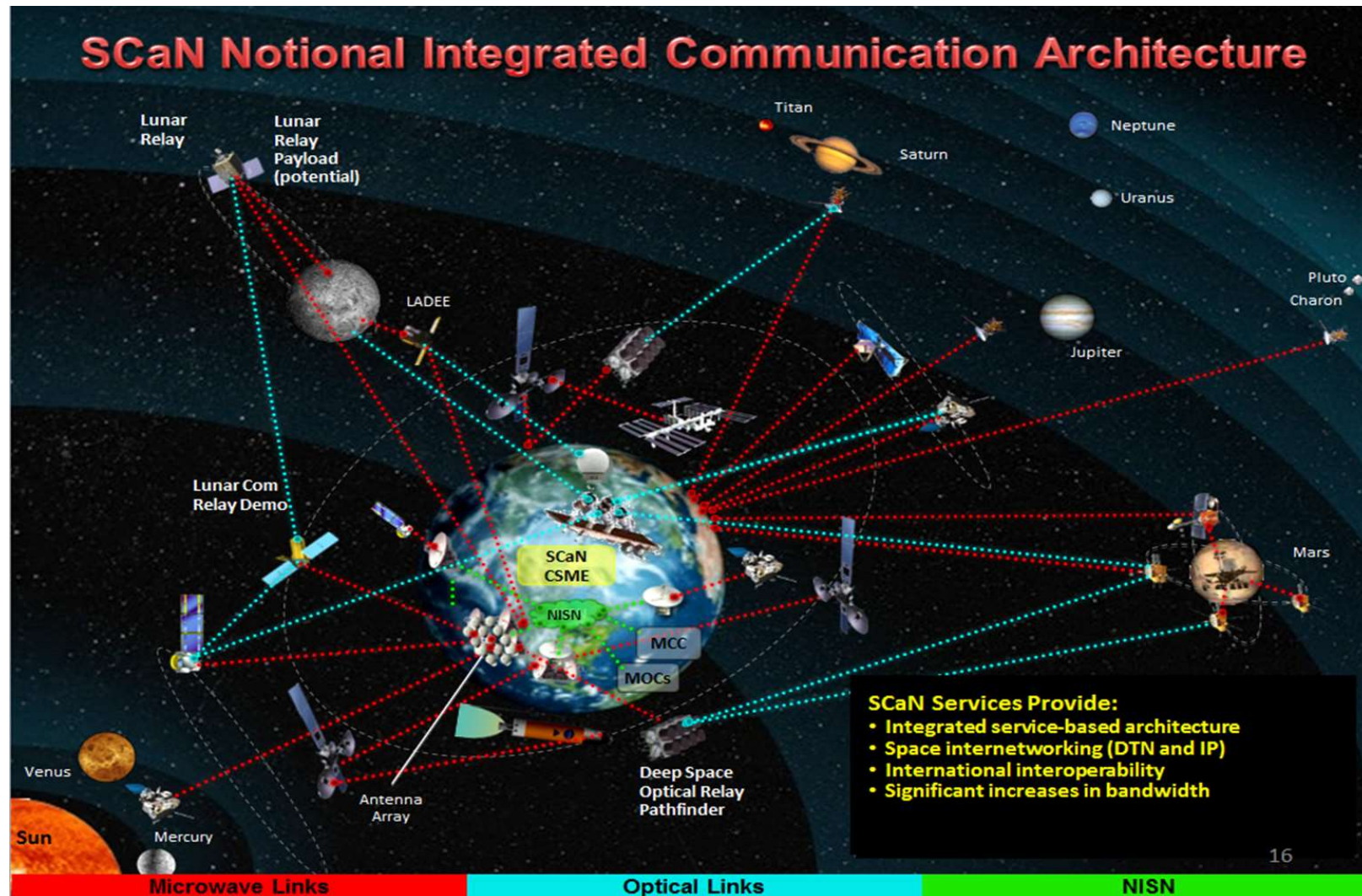
Antena de 70 m, ganho ~ 74 dBi na banda-X,
eficiência 68%
deserto de Mojave, Goldstone, CA, EUA



NASA Deep Space Network (DSN)-2






Space Communications and Navigation (SCaN)-1



“Notional”: mais idealização do que algo real. NASA Integrated Services Network (NISN)

Space Communications and Navigation (SCaN)-2

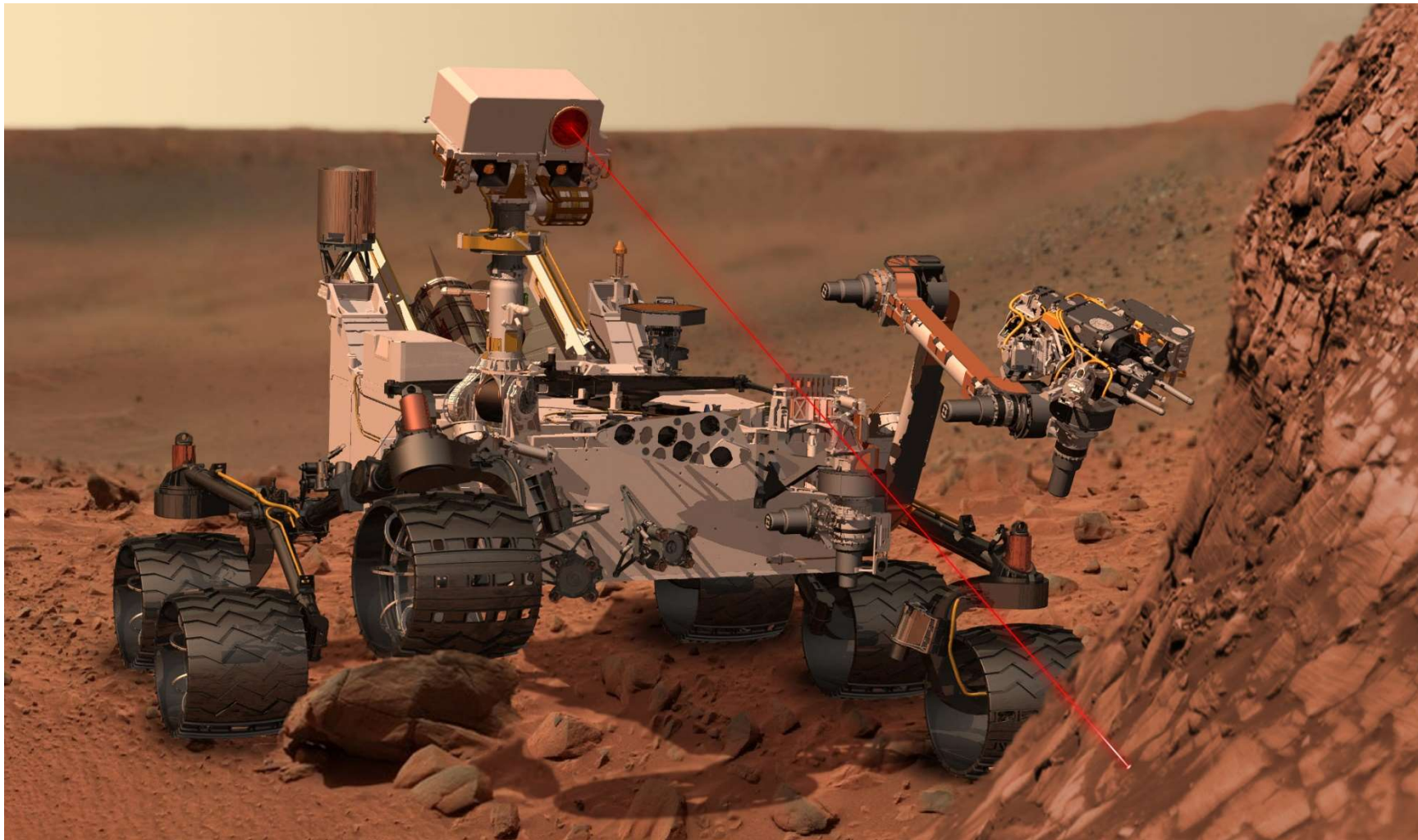
Overview of the SCaN Network

Space Network	Near Earth Network	Deep Space Network
		
DESCRIPTION		
<p>Global orbital satellite communications fleet</p> <p>Optimized for continuous, high data rate communications</p> <p>Critical for human spaceflight safety and critical event coverage</p>	<p>World-wide network of stations</p> <p>Evolved from fully NASA-owned to portfolio of owned assets and procured commercial services (greater than 50%)</p> <p>Surge capability through partnerships (e.g., NOAA)</p> <p>Optimized for cost-effective, high data rate services</p>	<p>Three station global network of large-scale antennas</p> <p>Focused on detecting and differentiating faint signals from stellar noise</p> <p>Optimized for data capture from deep space distances orders of magnitude above near Earth</p>
SAMPLE MISSIONS		
<p>International Space Station</p> <p>Hubble Space Telescope</p> <p>Terra, Fermi Gamma-ray Space Telescope</p>	<p>Aqua, Aura,</p> <p>Lunar Reconnaissance Orbiter,</p> <p>Landsat, Radiation Belt Storm Probes</p>	<p>Kepler, Cassini</p> <p>Mars Rovers and Orbiters ,</p> <p>Voyagers 1 and 2, Spitzer Space Telescope</p>

Curiosity NASA JPL-1

- ✓ Lançamento em 26 de novembro de 2011
- ✓ Pouso em 6 de agosto de 2012
- ✓ Local em Marte: Cratera Gale
- ✓ Missão em 2003 levou os veículos Spirit e Opportunity
- ✓ Satélites para comunicação com veículo explorador
 - Lançamento e órbita em 2001, 380 kg
 - Em 2003: Mars reconnaissance orbiter (MRO), 1 tonelada

Curiosity NASA JPL-2



http://mars.jpl.nasa.gov/images/msl20111115_PIA14760_MSL_Picture-3-full.jpg
<http://mars.jpl.nasa.gov/msl/mission/communicationwithearth/radiowaves/>

Curiosity NASA JPL-3

✓ Antenas

— HGA

- Comunicação direta com a Terra, telemetria e comando
- Antena patch 25×29 cm²
- Ganhos: 25,5 dBi (Tx) e 20,2 dBi (Rx)

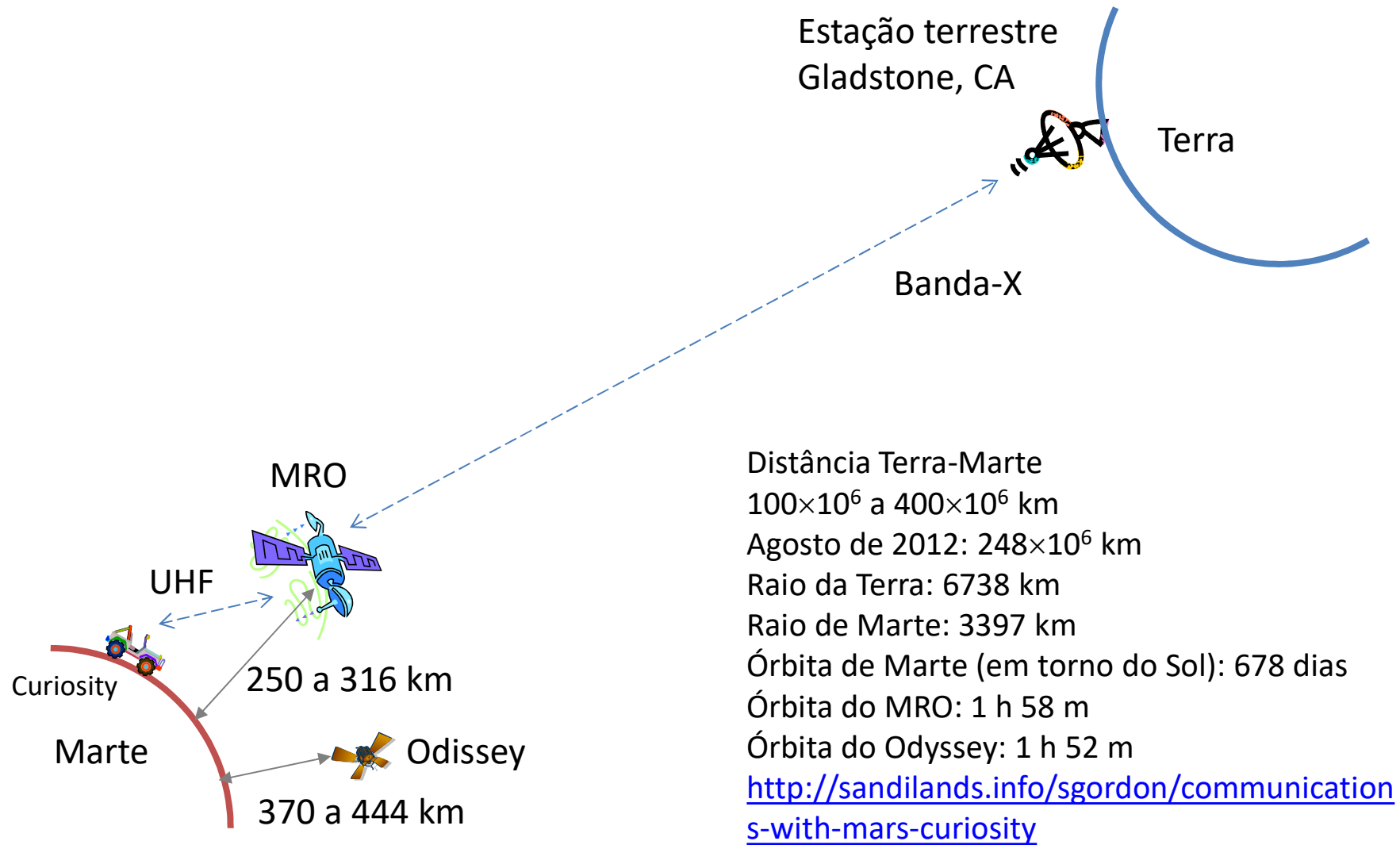
— LGA

- Comando em taxa reduzida, ganho: 5 dBi

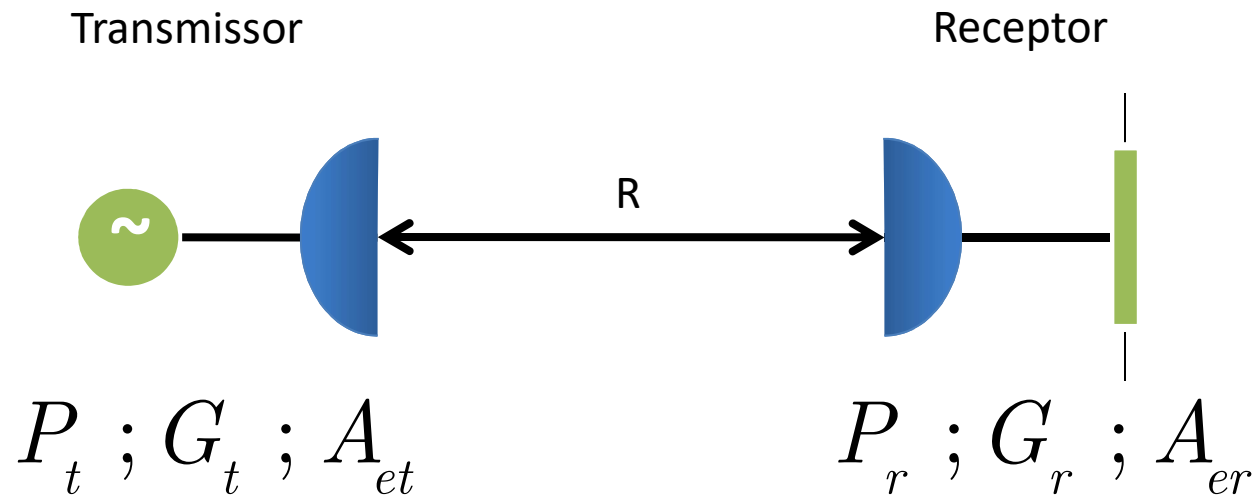
— UHF

- Comunicação com MRO e Odissey

Curiosity



Enlace de rádio



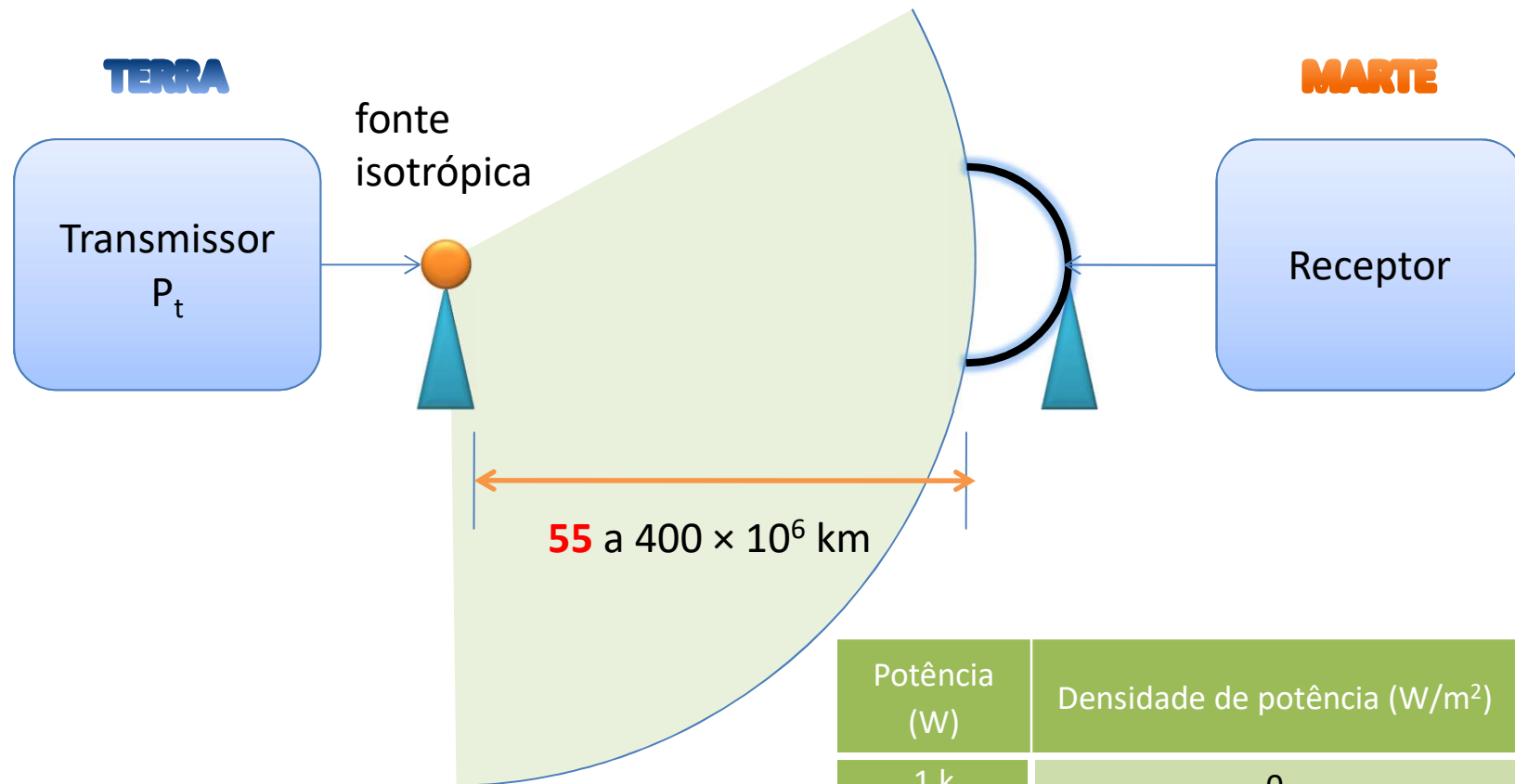
P_t : potência radiada pela antena, W

$4\pi R^2$: área da esfera, m²

A_{et} : área efetiva da antena transmissora

A_{er} : área efetiva da antena receptora

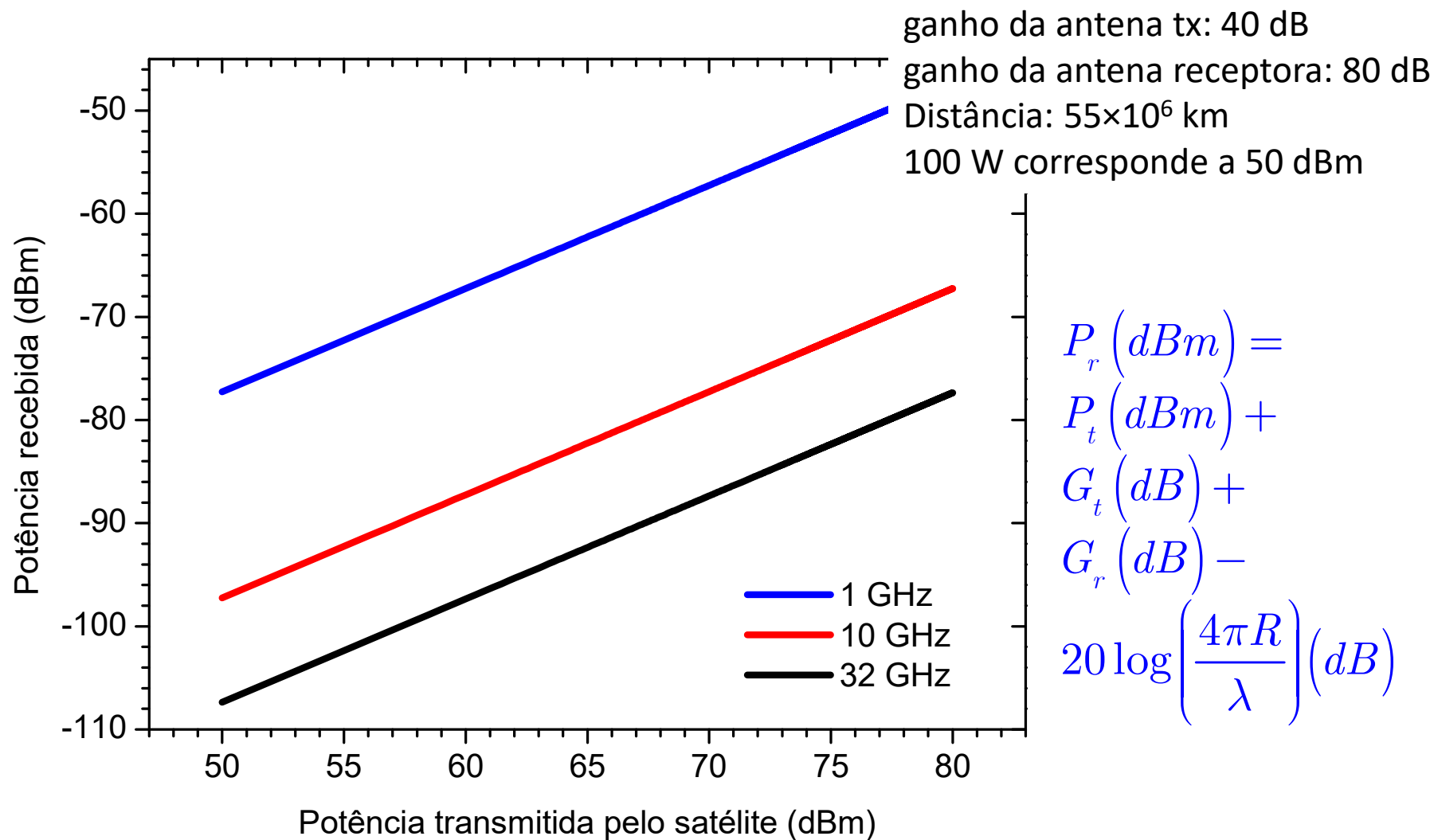
Distância Terra-Marte-1



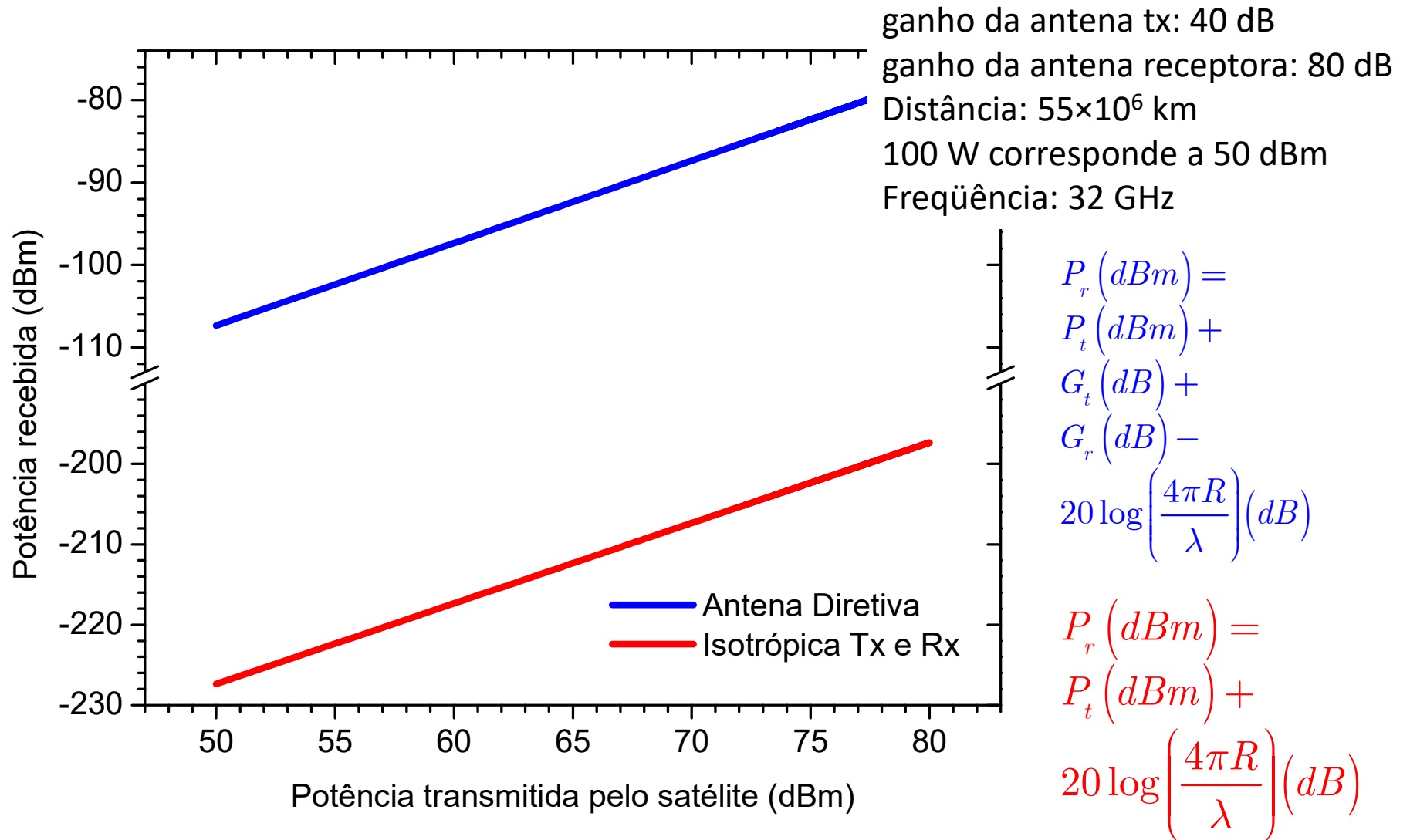
$$S = \frac{P_t}{4\pi R^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Potência (W)	Densidade de potência (W/m ²)
1 k	0
1 M	0
100 M	$2,6 \times 10^{-15}$
1 G	$2,6 \times 10^{-14}$
100 G	$2,6 \times 10^{-12}$

Distância Terra-Marte-2



Distância Terra-Marte-3



Curiosity Rover Nasa



Curiosity vídeos

Simulação

<https://www.youtube.com/watch?v=CAM3kGOAkcc>

pouso

http://www.youtube.com/watch?v=N9hXqzkH7YA&list=FLO4aIMf38WFQWgUQIncZ_yg&feature=plcp

Sites das principais agências espaciais

- ✓ Agência Espacial Brasileira
 - www.aeb.gov.br/
- ✓ NASA
 - www.nasa.gov/
- ✓ European Space Agency (ESA)
 - www.esa.int/ESA
- ✓ China National Space Administration
 - www.cnsa.gov.cn/n615709/cindex.html
- ✓ Russian Federal Space Agency
 - www.federalspace.ru/
- ✓ Indian Space Research Organisation (ISRO)
 - www.isro.org/
- ✓ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
 - <http://global.jaxa.jp/>