



ESTUDO COMPARATIVO DO CÁLCULO DO ENLACE DE DADOS SOB INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS DA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA HERMES 900 EM BANDA KU E EM BANDA X NAS REGIÕES DO BRASIL

Al Esp Com Antonio Marcos de Souza Almeida*¹, Al Esp Com Bruno Costa dos Santos¹, 1º Ten QOEng Tel Rodrigo Silva Lemos², 2º Ten QOCon MFS André Luiz Braga de Carvalho¹

1 – Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR), Lagoa Santa – MG, Brasil

2 – Destacamento de Infraestrutura da Aeronáutica de Canoas (DTINFRA-CO), Canoas – RS, Brasil

*Autor de contato: almeidaamsa1@fab.mil.br

RESUMO

A aeronave remotamente pilotada (ARP) HERMES 900 em operação na FAB realiza a comunicação com a estação de terra por meio de uma conexão via satélite em uma banda de frequência contratada de empresas privadas, na faixa de frequência Ku. A utilização do Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC), totalmente brasileiro, e com operação na banda de frequência X traria confiabilidade e segurança nas informações. Esta obra tem o objetivo de realizar um estudo comparativo do enlace de dados dessa aeronave nas duas bandas de frequência mencionadas, e para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória com coleta de dados no esquadrão aéreo que opera o ARP e de informações de manuais técnicos dos satélites envolvidos, além de consulta em tabelas e gráficos que envolvem parâmetros para uma comunicação via satélite. Os dados coletados foram aplicados em uma interface gráfica desenvolvida no MatLab® para tornar a visualização das informações mais claras, possibilitando entender o comportamento do sinal por meio dos gráficos gerados nos cálculos. Observa-se que o Brasil é um país com uma condição climática diversificada, apresentando qualidade de sinal distinto nas diversas regiões, seja em banda Ku ou em banda X. Apesar do tamanho da antena estar relacionada à frequência em uso, este não é um fator limitante para operar em qualquer uma das bandas de frequência. Apesar desse estudo não levar em consideração os investimentos financeiros necessários para a utilização da banda X em uma aeronave projetada para operar em banda Ku, aquela banda de frequência apresentou resultados satisfatórios no cálculo de enlace.

Palavras-chave: HERMES 900. Banda Ku. Banda X. Enlace de dados.

ABSTRACT

The UAV (Unmanned Aerial Vehicle) HERMES 900 in operation at the FAB communicates with the ground station through a satellite connection in a frequency band contracted by private companies, in the Ku frequency band. The use of the Geostationary Defense and Strategic Communications Satellite (SGDC), entirely Brazilian, and operating in the X frequency band, would bring reliability and security to the information. This work aims to carry out a comparative study of the data link of this aircraft in the two mentioned frequency bands, and for this an exploratory research was carried out, with data collection in the air squadron that operates the ARP and information from technical manuals of the satellites involved, in addition to consulting tables and graphs involving parameters for satellite communication. The collected data were applied in a graphical interface developed in MatLab® to make the visualization of the information clearer, making it possible to understand the signal behavior through the graphs generated in the calculations. It is observed that Brazil is a country with a diverse climatic condition, with different signal quality in different regions, whether in Ku band or X band. Although the size of the antenna is related to the frequency in use, this is not a limiting factor to operate in any of the frequency bands. Although this study does not take into account the financial investments required for the use of the X band in an aircraft designed to operate in the Ku band, that frequency band presented satisfactory results in the calculation of the link.

Keywords: HERMES 900. Ku Band. X-band. Data link.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2021, a Força Aérea Brasileira (FAB) completa 80 anos de existência. Ao longo dos anos, tem evoluído tecnologicamente com vistas a manter a soberania do espaço aéreo brasileiro. Alinhada às diretrizes da Estratégia Nacional de Defesa (END) e da Concepção Estratégica Força Aérea 100, a FAB tem dado passos importantes na evolução tecnológica aeronáutica e aeroespacial (BRASIL, 2012).

Pensando nisso, a Concepção Estratégica define como um dos eixos estratégicos a busca de novos meios de Força Aérea. Dentre estes, investimentos em plataformas não tripuladas é um dos objetivos previstos no documento para o

desenvolvimento da infraestrutura aeroespacial (BRASIL, 2018).

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma aeronave pertencente a um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (SARP), que é composto de subsistemas, tais como a estação de controle, os equipamentos embarcados para vigilância (sensores e câmeras), o lançador de aeronaves, o sistema de recuperação da aeronave e os sistemas de comunicação (AUSTIN, 2010).

Com a privatização da Embratel em 1998, as Forças Armadas do Brasil perderam a independência que tinham em relação às comunicações por satélite. Naquela ocasião, a antiga estatal operava os satélites da série

Brasilsat, B1 e B2, fabricados pela empresa canadense *Highes*, os quais possuíam *transponders* funcionando nas bandas de frequência C e X. Com a venda da Embratel, as Forças Armadas passaram a depender de contratos com a empresa estrangeira *Star One*, subsidiária da Embratel para o ramo de comunicações por satélite (DEMENECIS, 2018).

Visando recuperar a autonomia e a soberania do Brasil nas comunicações por satélite, em 2017 foi lançado o primeiro Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicação (SGDC), totalmente operado pelo Brasil. O aparelho é equipado com *transponders* para duas bandas de frequência, a Ka e a X, sendo a primeira para cumprir o Plano Nacional de Banda Larga (PNBL), que visa fornecer internet em banda larga e alta velocidade para todo território nacional, e a segunda destinada ao emprego militar, objetivando o trâmite de informações relacionadas às áreas de defesa e governamental (DEMENECIS, 2018).

Atualmente, para realizar a comunicação satelital do HERMES 900, a FAB necessita contratar um canal em satélite privado na banda Ku, entre 12 GHz e 18 GHz (IPPOLITO, 2008), a mesma frequência para qual o ARP supracitado foi construído e programado para operar (ELBIT, 2014).

Com o intuito de contribuir para a evolução

tecnológica, com vistas a manter a soberania do espaço aéreo brasileiro e prover maior segurança na coleta de informações das missões realizadas pelo SARP, este trabalho busca por meio de um estudo comparativo entre as bandas de frequência Ku e X entender o comportamento do enlace de dados na comunicação entre os satélites que operam nas respectivas bandas de frequência já mencionadas com o HERMES 900. A análise foi feita nas diversas regiões do país, considerando os parâmetros necessários para que seja possível, teoricamente, uma transmissão de informação com boa qualidade de sinal.

Sendo assim, o objetivo geral desse estudo é analisar e comparar o comportamento da qualidade do sinal transmitido nas bandas de frequência Ku e X em comunicação com o HERMES 900. E os objetivos específicos são: analisar as frequências das bandas já mencionadas em condições de bom tempo e em chuva, em todas as regiões do país por meio do desenvolvimento de uma interface gráfica feita no MatLab® para gerar os resultados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Comunicação Via Satélite

A comunicação via satélite permite que seja realizada a transferência de dados e transmissão/recepção de voz entre localidades

distantes entre si, cuja conexão por meios terrestres seja inviável. Assim, o satélite se torna um repetidor de informações entre estações terrestres distantes entre si. Atualmente, como descrito em Ipollito (2008), os satélites oferecem amplos recursos envolvendo dados, voz e vídeo, com serviços prestados em *broadcast*¹, comunicações pessoais, redes privadas, dentre outros.

É necessária a existência de dois segmentos para que seja realizada a comunicação, são eles: o segmento espacial e o segmento terrestre. O segmento espacial é composto pelo próprio satélite e os equipamentos de operação, telemetria, rastreamento, controle e monitoração (BRASIL, 2020 A). E o segmento terrestre é a própria estação em solo. Os dois segmentos são compostos por antenas responsáveis em fazer a transmissão e recepção por meio de ondas eletromagnéticas propagadas na atmosfera.

A porção da comunicação na direção do segmento terrestre para o segmento espacial chama-se *uplink*, enquanto que no sentido do segmento espacial para o segmento terrestre chama-se *downlink* (IPOLLITO, 2008).

2.2 Frequência de Operação

A frequência utilizada na comunicação é um fator determinante para definir diversos parâmetros (tamanho de antena, potência de transmissão) e como os efeitos da comunicação entre os segmentos ocorrerá.

A alocação das frequências para os serviços satelitais precisaram ser coordenadas e planejadas pela União de Telecomunicações Internacional (ITU), que determinou as faixas de operação para cada região e a finalidade de uso, conforme descrito na tabela 1 (RODDY, 2006). No Brasil, o espectro de frequências é regulamentado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Para que não ocorra interferências na comunicação entre satélite e estação terrena, são utilizadas frequências diferentes para *uplink* e *downlink*. Por exemplo, em uma comunicação em banda C de frequência, utiliza-se 6 GHz para *uplink* e 4 GHz para *downlink*.

¹ Radiodifusão (*Broadcasting*) – serviço que utiliza um único transmissor potente e inúmeros receptores. Os sinais que propagam as informações fluem somente em uma direção (HAYKIN, 2008).

Tabela 1 - Designação da banda de frequência.

Serviço de Radiocomunicações	Frequência típica para <i>uplink/downlink</i> (GHz)	Terminologia
Serviço Fixo	6/4 8/7 14/12-11 30/20 50/40	Banda C Banda X Banda Ku Banda Ka Banda V
Serviço Móvel	1,6/15 30/20	Banda L Banda Ka
Serviço <i>Broadcasting</i>	12 2,6/2,5	Banda Ku Banda S

Fonte: Maral (2020).

2.3 Satélite Geostacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas

Em 2017 foi lançado o Satélite Geostacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC) pelo foguete Ariane 5 ECA da empresa *ArianeSpace*, do Centro Espacial de Kourou na Guiana Francesa (DEMENECIS, 2018). Estima-se uma vida útil de 18 anos para o SGDC, o qual ocupa a órbita GEO², na posição 75° W (VISIONA, 2021).

Esse satélite faz parte de um projeto nacional de caráter dual, empregando as bandas de frequência X e Ka, conforme faixa de frequência descrita na tabela 1 e aplicações no meio civil e

militar, respectivamente (DEMENECIS, 2018). Os principais objetivos do SGDC é prover serviços de internet a 100 % do território nacional, promovendo a inclusão digital para a população brasileira. Isso se dará pelas frequências disponibilizadas em banda Ka, atendendo o PNBL (DEMENECIS, 2018). Por outro lado, o emprego da banda X, objeto de estudo deste trabalho, a qual é designada pela ITU como a faixa de frequência destinada ao meio militar, objetiva fornecer segurança para as comunicações estratégicas do governo brasileiro e atender as demandas do Ministério da Defesa de forma soberana.

O SGDC é subdividido em plataforma e carga útil, sendo esta última o conjunto de equipamentos embarcados responsáveis pelo cumprimento da missão do satélite. Dentre esses equipamentos há as antenas e os *transponders*. O *transponder*, como descrito em Medeiros

² GEO (*Geostationary Earth Orbiting satellites*) – designação para satélites orbitais cujo posicionamento é estacionário em relação à uma posição fixa na terra. Esta posição é especificada pela sua longitude, por exemplo: longitude 75° W significa que ele está na linha do equador a 75 graus oeste do meridiano de Greenwich (BRASIL, 2020 A).

(2007), é a unidade rádio do satélite que recebe o sinal captado pela antena, converte a frequência, amplifica em potência e devolve à antena. O SGDC é composto por 50 *transponders* em banda Ka e 7 em banda X (ARIANESPACE, 2017).

2.4 Satélite *Star One C3*

O satélite *Star One C3* pertence à empresa Embratel *Star One* e foi lançado em órbita em novembro de 2012. O equipamento opera nas faixas de frequência em banda C e banda Ku e possui 28 *transponders* de banda C e 16 de banda Ku. Atualmente, a FAB contrata canais em banda Ku para realizar a comunicação satelital com as aeronaves remotamente pilotadas que necessitam deste serviço.

Assim como o SGDC, ele está localizado na órbita geoestacionária na posição 75° W e possui cobertura em todo território brasileiro e território andino (EMBRATEL STAR ONE, 2020).

2.5 Bandas de frequência

A faixa de frequência de SHF, 3 a 30 GHz, é utilizada no emprego estratégico e operacional, pois possui alta capacidade de transmissão de informação (banda larga) e possui um bom nível no que tange à segurança da informação (DEMENECIS, 2018).

A banda Ka, escolhida para utilização no SGDC, é amplamente utilizada para transmissão

de vídeos pela internet, utilização do sistema 4G, do serviço de TV por assinatura e da TV digital (DEMENECIS, 2018).

No caso da banda X, destinada preferencialmente à área militar conforme regulamentação da ITU, com uma cobertura em todo território nacional atende às necessidades do Sistema de Comunicação Militares por Satélite (SISCOMIS).

2.6 Aeronave Remotamente Pilotada HERMES 900

Em 2014 iniciou a operação do SARP modelo HERMES 900 pelo Esquadrão Hórus (1°/12° GAV), sediado em Santa Maria – RS. A aeronave é fabricada pela empresa Elbit Systems Ltd e foi projetada para ser controlada tanto com *link* direto entre esta e a estação de controle em solo, quanto com *link* via satélite na banda Ku (ELBIT, 2014).

O primeiro voo controlado por satélite da aeronave foi realizado em 2018. Isso possibilitou que o alcance máximo para as missões com o aparelho, que era limitado a 250 km da estação base em solo devido à limitação do *link* direto, pudesse ser superado, contribuindo para a atuação ilimitada desta aeronave no território nacional (CAIAFA, 2018).

A finalidade da aeronave é operar em missões de reconhecimento, capturando e transmitindo imagens em tempo real, através de



sensores de alta resolução e *link* de dados, e assim coletar informações, que podem ser utilizadas para subsidiar decisões estratégicas e táticas, alinhadas com as diretrizes do END, e com a Concepção Estratégica Força Aérea 100.

O HERMES 900 provê as imagens necessárias, por meio de vídeos, para cumprir missões de reconhecimento e vigilância, ajuste de artilharia, bem como aquisição e designação de alvos (ELBIT, 2014). A configuração da aeronave é variável, ou seja, os equipamentos embarcados (sistemas de vídeo), conhecidos como *payloads*, são configurados de acordo com o tipo de missão a ser realizada.

A principal função do sistema de comunicação é promover o controle e operação da aeronave, bem como buscar a aquisição das imagens por meio do *payload* e enviar vídeos, dados e telemetria para o Sistema de Controle de Solo (ELBIT, 2014). O *payload* pode ser composto por um D-Compass, SKEYE, e Radar SAR (ELBIT, 2014).

A transmissão de dados, imagens e controle ocorrem por dois terminais: terminal de dados em Terra, cuja sigla em inglês é GDT (*Ground Data Terminal*) e o terminal de dados em ar, cuja sigla em inglês é ADT (*Air Data Terminal*) este último embarcado na aeronave. A comunicação entre estes terminais limita a operação do HERMES 900 com um alcance máximo de 250 km. A

comunicação do HERMES 900 com a estação de solo pode ocorrer de dois modos distintos: por *link* direto, respeitando a limitação de 250 km, ou por *link* via satélite.

O modo de comunicação via satélite expandiu a capacidade da aeronave, permitindo voos mais distantes da sua estação de controle em terra. Atualmente, o HERMES 900 utiliza a banda de frequência Ku (vide tabela 1). O sistema utiliza uma antena parabólica instalada internamente na aeronave e tem um diâmetro de 60 cm (ELBIT, 2014).

2.7 Enlace de Dados Satelital

Na comunicação entre o ARP e a estação terrestre de controle, o GCS (*Ground Control Station*), por meio de um enlace satelital, há dois segmentos a serem considerados: aeronave – satélite e satélite – GCS. O enlace de dados em ambos segmentos é análogo, por isso neste estudo somente o primeiro segmento foi considerado.

A onda eletromagnética, chamada portadora, ao chegar ao satélite, ou à ARP, tem uma potência extremamente baixa. Isoladamente esse fato não seria problemático, pois bastaria amplificar o sinal recebido até obter-se um nível adequado para ser processado no equipamento receptor. No entanto, devido ao ruído elétrico inevitavelmente presente nas comunicações por

ondas de rádio, tanto o sinal da informação quanto o do ruído seriam amplificados juntos, de forma que para se estabelecer o link, a portadora deve estar num nível adequado em relação ao ruído (RODDY, 2006).

Assim o desempenho do enlace deve ser avaliado, a fim de averiguar a viabilidade da comunicação. A avaliação de performance de um *link* é realizada por meio de alguns parâmetros, tais como a *Equivalent Isotropic Radiated Power* (EIRP) do transmissor, a figura de mérito do receptor e a relação potência da portadora por densidade espectral do ruído, que avalia o desempenho global do enlace (MARAL, 2020).

2.7.1 Potência Irradiada Isotrópica Equivalente

A EIRP é uma medida de desempenho do transmissor e é uma relação entre a potência transmitida e o ganho da antena. Em decibéis, ela é calculada com a equação:

$$EIRP = P_T + G_T \quad (1)$$

tal que:

P_T é potência transmitida em dBW; e
 G_T é o ganho da antena em dBi.

O ganho da antena é uma grandeza relacionada a sua diretividade e também depende da eficiência do refletor. Qualitativamente seria uma comparação entre a intensidade da onda irradiada (ou recebida) numa dada direção, pela intensidade que seria obtida

caso essa antena fosse isotrópica. Esta última refere-se ao modelo de antena que irradia o mesmo fluxo de potência em todas as direções (BALANIS, 2016). Quantitativamente, o ganho do refletor parabólico, que somente será máximo na direção do eixo da parábola, é dado pela expressão:

$$G_{MAX} = 10 \cdot \log \left[\eta \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right] \quad (2)$$

tal que:

η é a eficiência do refletor;
 D é o diâmetro da parábola em metros;
 f é a frequência da portadora em Hz; e
 c é a velocidade da luz em m/s.

A eficiência da antena está relacionada à forma como se distribui a energia eletromagnética na superfície do refletor. Além disso, depende do ângulo com que o iluminador (*feed* ou *horn*³) “vê” o refletor, das imperfeições da superfície, da perda ôhmica e do descasamento de impedância. Valores típicos para a eficiência de antenas com refletor parabólico estão na faixa de 55% a 75% (MARAL, 2020).

³ Alimentador (Feed) ou Corneta (Horn) – terminação do circuito de guia de ondas cuja finalidade é entregar a energia da onda eletromagnética ao refletor parabólico, durante a transmissão, e capturar a energia recebida no refletor e entregá-la ao mesmo circuito, durante a recepção (BRASIL, 2020 A).



2.7.2 Atenuação no Espaço Livre e Atenuação na Atmosfera

A potência recebida por uma antena é diretamente proporcional à sua abertura efetiva, a qual é função do comprimento de onda da portadora, e ao seu ganho. Além disso, é também dependente da densidade de fluxo de potência, a qual diminui com o quadrado da distância entre as antenas transmissora e receptora. A redução de potência devido à distância chama-se atenuação no espaço livre, que é calculada com o auxílio da expressão $L_{FS} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2$, ou em decibéis:

$$L_{FS} = 92,44 + 20 \cdot \log(R \cdot f) \quad (3)$$

tal que:

R é a distancia em km ao satélite; e

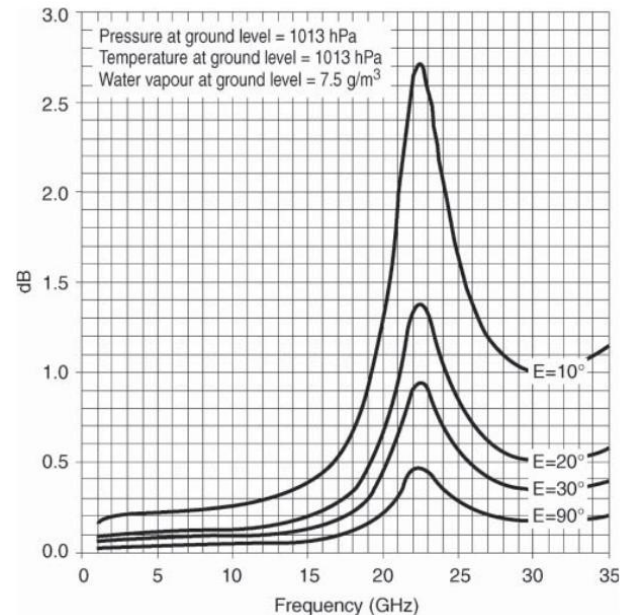
f é a frequência em GHz do sinal da portadora.

Além da atenuação no espaço livre, há absorção de energia da onda eletromagnética pelos gases da atmosfera, a qual depende, dentre outros fatores, da frequência e do ângulo de elevação da antena, conforme observado na figura 1 (IPPOLITO, 2008).

Outra atenuação que ocorre durante a propagação é devido ao fenômeno da cintilação, que é a variação da amplitude da portadora causada pela variação do índice de refração da troposfera e da ionosfera. Na banda Ku essa variação pode exceder 1 dB para 0,01% do

tempo (MARAL, 2020).

Figura 1- Atenuação devida aos gases atmosféricos em função da frequência e do ângulo elevação.



Fonte: Maral (2020).

2.7.3 Ruído Elétrico

Ruído elétrico é qualquer acréscimo indesejado de potência ao sinal transmitido. Pode ser produzido por fontes externas ou internas ao sistema. São exemplos de ruído externo: o atmosférico, das descargas elétricas, o cósmico e o produzido pelas máquinas criadas pelo homem. Por outro lado, o produzido internamente é o gerado nos próprios componentes eletrônicos do receptor, devido às correntes elétricas nos circuitos. Além deste último, há o ruído gerado pelo movimento aleatório de elétrons em condutores, conhecido como ruído térmico (HAYKIN, 2008).

Todos os tipos de ruído elétrico citados acima

podem ser estudados tomando-se por base o modelo chamado ruído branco, no qual a densidade espectral de potência é constante, ou seja, independe da banda de frequência considerada. Nesse modelo a densidade espectral de potência do ruído é dada pela expressão, em dB W/Hz:

$$N_0 = k + T \quad (4)$$

tal que:

$k = -228,6$ dBW/Hz·K é a constante de Boltzmann; e

T é a temperatura de ruído do sistema em dBK, decibéis kelvin.

2.7.4 Temperatura de Ruído da Antena

A Antena é o dispositivo que, na recepção, captura a energia da onda eletromagnética transmitida. Misturados a energia da onda, surge a energia do ruído, cuja potência depende de três fatores: da direção para a qual a antena aponta, do ganho desta e do ambiente ao redor. Assim, a temperatura equivalente de ruído da antena será devido às fontes de ruídos captadas que serão distintas no *uplink* e no *downlink* (MARAL, 2020).

No *uplink*, a antena receptora é a do satélite e, por isso, o ruído capturado é devido à terra e ao espaço exterior, sendo que a primeira é a que mais contribui para a temperatura de ruído da antena. No *downlink*, a antena que recebe os

sinais será a da aeronave, de forma que o ruído capturado será devido ao céu e à terra, capturada pelo lóbulo lateral da antena. Além disso, em condições meteorológicas adversas, haverá o ruído produzido pela formação meteorológica.

Na condição de céu claro, a temperatura de ruído da antena é dada pela equação:

$$T_A = T_{SKY} + T_{GND} \quad (5)$$

tal que:

T_{SKY} é a temperatura de brilho de céu claro; e

T_{GND} é a temperatura de brilho do chão.

A temperatura de brilho do céu pode ser obtida da figura 2 e a temperatura de brilho do chão pode ser aproximada para 10 K para ângulos de elevação entre 10° e 90° (MARAL, 2020).

Para a condição de tempo chuvoso, utiliza-se a expressão abaixo para o cálculo da temperatura de ruído da antena

$$T_A = \frac{T_{SKY}}{L_M} + T_M \left(1 - \frac{1}{L_M}\right) + T_{GND} \quad (6)$$

tal que:

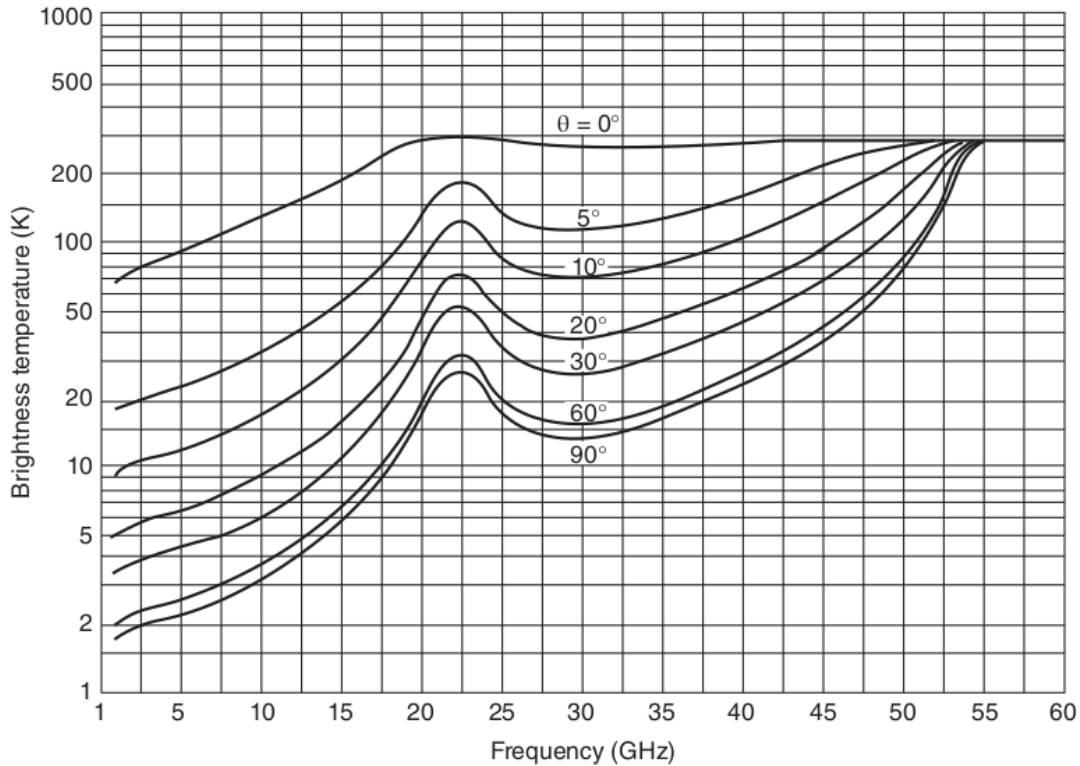
T_M é a temperatura da formação meteorológica;

L_M é a atenuação da formação meteorológica.

A temperatura de ruído devido às formações meteorológicas pode ser considerada igual a 275 K (MARAL, 2020).



Figura 2 - Temperatura de brilho de céu claro em função da frequência e ângulo de elevação da



Fonte: Ippolito (2008).

2.7.5 Temperatura de Ruído do Sistema

Feitas todas as considerações anteriores sobre a presença do ruído no sinal capturado pela antena, define-se a temperatura de ruído do sistema como aquela presente na entrada do receptor, a qual é calculada com a expressão:

$$T = \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_{FRX} \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_{eRX} \quad (7)$$

tal que:

- T_A é a temperatura de ruído da antena;
- T_{eRX} é a temperatura de ruído do receptor;
- T_{FRX} é a temperatura de ruído do circuito de conexão entre o receptor e a antena; e
- L_{FRX} é a atenuação da conexão entre a antena e o receptor.

A temperatura de ruído do circuito de conexão entre a antena e o receptor é normalmente considerada 290 K (temperatura

ambiente).

2.7.6 Figura de Ruído

Conforme mencionado anteriormente, o ruído também é produzido internamente nos circuitos eletrônicos. Assim, uma maneira de se medir a performance de um receptor é por meio da figura de ruído, que é a relação entre a potência de ruído total na saída pela porção de ruído de entrada. Outra forma de se calcular a figura de ruído é pela equação:

$$F = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{T_e}{T_0}\right) \quad (8)$$

tal que:

- T_e é a temperatura equivalente de ruído do sistema; e
- T_0 é a temperatura ambiente.

Todas as temperaturas nas equações 7 e 8

são em kelvin.

2.8 Perdas Adicionais

As perdas ou atenuações citadas até aqui foram a que ocorre na propagação no espaço livre e por absorção na atmosfera. Além dessas, há uma atenuação associada ao circuito entre a antena e o transmissor ou o receptor, o qual é formado por cabos, conectores e guias de onda. Essa atenuação é designada por L_{FTX} para a conexão transmissor – antena e L_{FRX} , na conexão antena – receptor.

Outra perda relacionada às antenas é a de desapontamento. Como o ganho da antena só será máximo, valor obtido com a equação 2, no eixo da parábola, haverá uma diminuição desse ganho caso uma das antenas esteja fora da mira, *boresight*, da outra. Quando associada à antena transmissora, ou seja, a receptora fora de sua mira, é designada por L_T e quando associada à antena de recepção designa-se por L_R (MARAL, 2020).

Uma última atenuação referente ao equipamento é a perda por descasamento de polarização da onda eletromagnética, L_{POL} . O sistema de comunicação satelital do HERMES 900 utiliza polarização linear tanto na transmissão quanto na recepção. A onda eletromagnética, ao atravessar a troposfera e a ionosfera, sofre rotações de campo elétrico e, por

isso, tem a polarização original modificada. Isso causa uma diminuição na quantidade de energia que o receptor é capaz de capturar, devido ao descasamento de polarização para a qual está ajustado.

2.8.1 Figura de Mérito

A figura de mérito, G/T , é uma medida de desempenho do receptor. Se G_R é o ganho máximo da antena receptora e T a temperatura de ruído do sistema dado pela equação 7, então a figura de mérito será, em decibéis:

$$G/T = G_R - L_{FRX} - L_R - L_{POL} - T \quad (9)$$

tal que:

T é a temperatura de ruído do sistema em kelvin.

2.8.2 Relação Potência de Sinal por Densidade Espectral do Ruído

A performance global do *uplink* ou do *downlink* pode ser avaliada pela razão entre a potência da portadora e a densidade espectral do ruído, C/N_0 , a qual é dada pela expressão, em dBHz:

$$C/N_0 = (EIRP - L_T - L_{FTX}) - (L_{FS} + L_A) + (G/T) - K \quad (10)$$

tal que:

$EIRP$ é dada pela Equação 1;

G/T é dada pela Equação 9;

$k = -228,6$ dBW/Hz·K é a constante de Boltzman; e

L_T , L_{FTX} , L_{FS} , L_A são as atenuações citadas anteriormente.



2.8.3 Probabilidade de Erro de Bit e a Energia do Bit por Densidade Espectral de Ruído

Conforme mencionado anteriormente, o sinal da portadora que carrega a informação deve possuir uma potência suficiente maior que a do ruído para que possa ser discernido pelo receptor. Porém, diversos fatores limitam a potência transmitida do sinal da portadora, de forma que haverá um compromisso entre a energia transportada pela onda e a probabilidade de se recuperar corretamente a informação transmitida, ou seja, há uma associação entre a potência do sinal na entrada do receptor e a probabilidade de erro de bit.

A BER (*Bit Error Rate*) é uma medida que fornece uma estimativa para BEP (*Bit Error Probability*), dentro de um intervalo de confiança definido. A partir da BEP, pode-se determinar a E_b/N_0 , definida a seguir, conforme a expressão $BEP = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{E_b/N_0})$, na qual erfc é a função erro complementar $\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} du$ da função de erro de Gauss (IPPOLITO, 2008).

A relação entre energia do bit com a densidade espectral do ruído, E_b/N_0 , dada pela expressão, em dBHz/bps:

$$E_b/N_0 = (C/N_0) - R_b \quad (11)$$

tal que:

C/N_0 é dado pela Equação 10; e

R_b é a taxa de transferência de dados em bits por segundo expressa em decibéis.

O gráfico da figura 3 mostra a relação entre a E_b/N_0 e a BEP. A qualidade do enlace, ou sua viabilidade, é verificada pela E_b/N_0 , a qual é requerida em função da taxa de erro de bit tolerada na comunicação. Assim, define-se, conforme a performance do modem associado à recepção, a BEP tolerada e a partir dela atua-se nos parâmetros dos equipamentos (potência, tamanho da antena, sensibilidade do receptor, etc) de forma a conseguir na entrada do receptor o valor correspondente da E_b/N_0 para a BEP estipulada.

2.8.4 Codificação do Canal

Codificar um canal de dados digitais é acrescentar bits de redundância aos bits de informação, os quais são usados pelo receptor para detectar e corrigir erros. O objetivo dessa técnica, chamada FEC (*Forward Error Correction*) é, portanto, melhorar a taxa de erro de bit. A taxa da dados codificados irá depender da quantidade de bits de redundância incluídos e se relaciona à taxa de transferência de dados pela expressão:

$$R_c = R_b/\text{FEC} \quad (12)$$

tal que:

R_b é a taxa de dados da informação em bps; e FEC é a razão entre a quantidade de bits de informação pelos bits de redundância mais os da informação.

O efeito de se utilizar essa técnica é notado na redução da E_b/N_0 requerida para uma

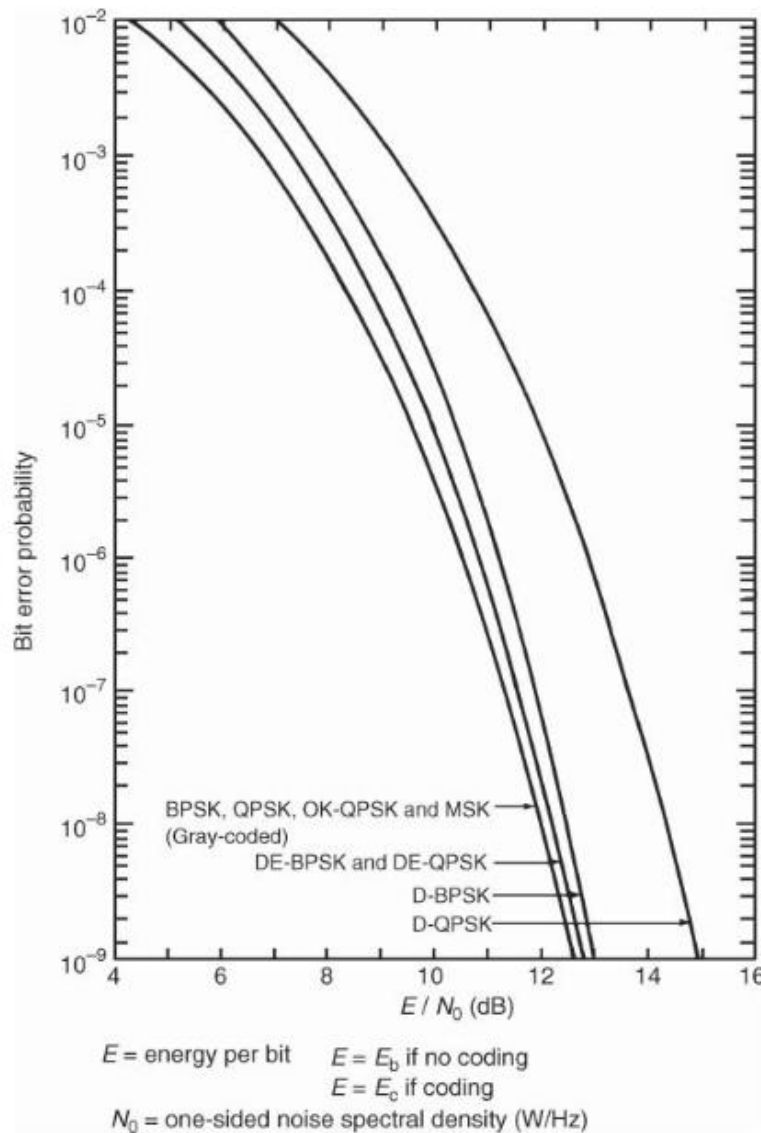
determinada taxa de erro de bit, que pode ser determinado pela equação, em dB/K:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{Requerido}} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{Teórico}} + 10 \cdot \log \text{FEC} \quad (13)$$

Por exemplo, para uma BER de 10^{-6} a figura 3 mostra que é necessária uma E_b/N_0 de

10,52 dB/K. No entanto, ao utilizar-se uma FEC de 1/3, acrescentando dois bits de redundância para cada bit de informação, reduz-se a E_b/N_0 a 5,75 dB/K requeridos para a BER de 10^{-6} .

Figura 3 - Relação entre o valor teórico para a BEP em função da E_b/N_0 .



Fonte: Maral (2020).

3. MÉTODOS

Este estudo é uma pesquisa exploratória,

pois visa comparar o desempenho do enlace de dados via satélite do SARP HERMES 900, nas



bandas de frequência Ku e X. Para isso, iniciou-se o cálculo de E_b/N_0 , energia do bit por densidade espectral do ruído, em Ku para o *uplink* e para o *downlink*, no trecho entre a aeronave e o satélite, considerando as condições climáticas de céu claro e de tempo chuvoso. Em seguida, repetiram-se os cálculos da E_b/N_0 para banda X.

Finalizando, compararam-se os resultados obtidos com o valor requerido da E_b/N_0 para a BER desejada. Com isso, a pesquisa tem uma análise qualitativa dos dados coletados por meio de uma revisão bibliográfica e pela técnica de análise do conteúdo.

3.1 *Uplink* em Ku

No cálculo da E_b/N_0 do *uplink* na banda Ku, considerou-se a frequência de 14 GHz para a transmissão da aeronave ao satélite. O contrato do link com o satélite C3 prevê a utilização de uma frequência na faixa 13,75 a 14,50 GHz. Além disso, considerou-se a taxa de transferência de 4 Mbps, a modulação QPSK e a FEC de 1/3 (BRASIL, 2020 B).

Conforme a equação 11, para se calcular o valor da E_b/N_0 na entrada do receptor deve-se primeiro obter a C/N_0 e, após isso, realizar a operação do valor encontrado com a taxa de transferência. Assim, para se obter a C/N_0 , conforme a equação 10, precisa-se da *EIRP* da

aeronave, das atenuações, que serão diferentes nas condições de tempo citadas, e da G/T do satélite na região do voo.

A *EIRP*, segundo a equação 1 necessita da potência de transmissão do HERMES, do ganho da antena, da atenuação no acoplamento entre o *horn* da antena e o transmissor, e da atenuação devido ao desalinhamento entre as antenas do HERMES e do satélite. A potência de transmissão foi encontrada no manual da aeronave (ELBIT, 2014) e o ganho da antena foi calculado com a equação 2. As atenuações, por não estarem disponíveis no manual, foram consideradas de 1,5 dB para a primeira atenuação, valor usual para esse tipo de perda, e 0,1 dB para a segunda, pois a aeronave possui um sistema de controle de apontamento da antena.

Para as perdas na propagação do sinal, foram consideradas as seguintes atenuações: no espaço livre, conforme equação 3, na qual a distância ao satélite foi considerada, conforme todas as regiões do país; na atmosfera por absorção dos gases, a qual foi obtida do gráfico da figura 1; e na chuva, calculada conforme média de precipitação anual da região, conforme ITU (2013).

A G/T , figura de mérito, que no *uplink* é referente ao satélite, não precisou ser calculada por ser disponibilizada pela Embratel. Apenas

considerou-se o menor valor na região do país onde se calculou a E_b/N_0 (EMBRATEL, 2020).

3.2 Downlink em Ku

Para o *downlink*, em Ku considerou-se a frequência de 12 GHz na recepção da aeronave, sendo que contrato de canal no satélite C3 prevê a utilização de uma frequência na faixa 10,95 a 12,75 GHz. Além disso, considerou-se 256 kbps para a taxa de transferência, com modulação BPSK e FEC de 1/3 (BRASIL, 2020 B).

No cálculo da E_b/N_0 do *downlink*, procedeu-se de maneira análoga à do *uplink*, calculando primeiramente a C/N_0 do trecho satélite aeronave. Porém nesse caminho do enlace, a *EIRP* é a do satélite e a G/T , do receptor do HERMES 900. Os valores referentes ao satélite foram considerados conforme a região do país (EMBRATEL, 2020). As perdas na propagação também foram consideradas de acordo com a região e calculadas para a frequência de 12 GHz.

A G/T do receptor da aeronave, foi calculada nas situações de tempo bom e tempo chuvoso. Conforme a equação 9, necessita-se calcular o ganho da antena para 12 GHz, a temperatura de ruído do sistema, cujos parâmetros foram obtidos conforme descrito no item 2.7.4 e do gráfico da figura 2, e dos valores de atenuações, as quais foram consideradas as

mesmas do transmissor, excetuando-se a de despolarização (MARAL, 2020).

3.3 Uplink em X

Para o cálculo do *uplink* em banda X do segmento aeronave satélite, considerou-se a frequência de 8 GHz para a transmissão e os demais parâmetros, os que não são dependentes da frequência, foram utilizados os mesmo do *link* com o satélite C3. As informações referentes ao enlace em banda X do SGDC são classificadas como reservada, por isso não estão disponíveis e, além disso, o SGDC ocupa a posição geográfica 75° W, a mesma do C3.

3.4 Downlink em X

Quanto ao *downlink* na banda X, foi considerada a frequência de 7 GHz e para os demais parâmetros independentes desta foram adotados os mesmos parâmetros do *link* na banda Ku.

4. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

Os parâmetros necessários para estabelecer o enlace de dados da ARP HERMES 900 nas bandas de frequências Ku e X estão descritos nas tabelas de 2 a 5, conforme mencionado no item 3.

A tabela 2 indica os resultados encontrados da influência da chuva nas regiões do Brasil nas frequências utilizadas neste estudo, conforme



ITU (2013) e considerando-se o comprimento vertical do percurso na chuva de 1 km, segundo LIMA (2012). Esse parâmetro tem grande influência no desempenho do link satelital.

Tabela 2 - Atenuação da chuva por região, considerando uma distância de 1 Km de chuva vertical.

Região/Frequência	7GHz	8 GHz	12 GHz	14 GHz
Norte	1,47 dB	2,11 dB	4,80 dB	6,21 dB
Nordeste	0,98 dB	1,44 dB	3,47 dB	4,54 dB
Sul	0,77 dB	1,14 dB	2,85 dB	3,76 dB
Sudeste	0,82 dB	1,22 dB	3,02 dB	3,97 dB
Centro-Oeste	0,82 dB	1,22 dB	3,02 dB	3,97 dB

Fonte: Os autores.

A tabela 3 indica as distâncias aos satélites C3 e SGDC, as figuras de mérito utilizadas nos cálculos de *uplink* e as EIRPs utilizadas nos cálculos do *downlink* para todas as regiões do país. Os dados foram obtidos em SATBEAMS (2021) e EMBRATEL (2020) excetuando-se os valores da G/T para a banda X.

Tabela 3 - Parâmetros por região a serem inseridos nos MatLab®.

Região	Distância (Km)	EIRP (dBW)	G/T (Ku)	G/T (X)
Norte	36.000	46,8	2,0	5,0
Nordeste	37.200	50,8	6,0	5,0
Sul	37.200	52,8	6,0	5,0
Sudeste	37.200	52,8	8,0	5,0
Centro Oeste	36.500	50,8	7,0	5,0

Fonte: Os autores.

A tabela 4 apresenta os demais parâmetros essenciais para serem aplicados nos cálculos em Banda Ku e Banda X, conforme item 3.2 e 3.4.

Tabela 4 - Parâmetros de atenuação e temperatura para *uplink* e *downlink*.

Parâmetros	Banda Ku	Banda X
Figura de ruído	0,8 dB	
Perda de alimentação no ARP	1,5 dB	
Perda por desapontamento no ARP	0,1 dB	
Perda por despolarização no ARP	0,5 dB	

Perda atmosférica no ARP	0,3 dB	0,2 dB
Temperatura ambiente	295 K	
Temperatura do solo	10 K	
Temperatura da chuva	275 K	

Fonte: Os autores.

A tabela 5 indica a temperatura de brilho do céu. Este parâmetro varia de acordo com o ângulo de apontamento da antena do ARP por região em relação ao posicionamento do satélite (SATBEAMS, 2021), complementando com o gráfico da figura 2.

Tabela 5 - Temperatura de brilho do céu por região, conforme o ângulo de apontamento da antena do ARP em relação aos satélites.

Região	Ângulo de Elevação da Antena	Temp. de brilho do céu (Ku)	Temp. de brilho do céu (X)
Norte	72°	6 K	4 K
Nordeste	45°	8 K	6 K
Sul	47°	8 K	6 K
Sudeste	46°	8 K	6 K
Centro Oeste	55°	7 K	5 K

Fonte: Os autores.

Inseriu-se os dados na interface gráfica do MatLab® para gerar o resultado da qualidade do sinal nas bandas Ku e X, levando em consideração a taxa de transferência de dados utilizada pela ARP HERMES 900, conforme informado pelo Esquadrão que opera o vetor. Este valor é fixo em 4 Mbps. Os gráficos proporcionam uma análise com uma taxa de erro por bit de 10^{-6} , ou seja, um bit errado a cada um milhão de bits transmitidos.

Os parâmetros acima foram inseridos na interface gráfica para *uplink* e *downlink*, conforme a figura 4 e a figura 5,

respectivamente.

Com os dados inseridos, obteve-se o gráfico da relação taxa de transferência pelo Eb/No. Comparou-se a qualidade do sinal em relação ao valor referência (linha vermelha nos gráficos seguintes), e observou-se a taxa requerida para atender aos requisitos de qualidade de *link*. As figuras 6 a 10 indicam o enlace de *uplink* e *downlink* por região do Brasil, na banda X e na banda Ku.

Os valores das curvas encontradas acima da referência são considerados com boa qualidade de sinal, e abaixo da referência são classificadas

como qualidade de sinal ruim.

Figura 4 - Interface gráfica da aplicação MatLab® para o cálculo de *uplink*.

Valores Fixos	Banda Ku	Banda X
K - Constante de Boltzmann = - 228.6 dBW/K	Frequência (GHz) <input type="text"/>	Frequência (GHz) <input type="text"/>
FEC = 1/3	Taxa de Transferência (Mbps) <input type="text"/>	Taxa de Transferência (Mbps) <input type="text"/>
Modulação = QPSK	Figura de Mérito <input type="text"/>	Figura de Mérito <input type="text"/>
BEP = 10 ⁻⁽⁶⁾	Perda Atmosférica (dB) <input type="text"/>	Perda Atmosférica (dB) <input type="text"/>
Eb/No Requerido = 5.75dB	Perda no Espaço Livre (dB) <input type="text"/>	Perda no Espaço Livre (dB) <input type="text"/>
* Valor de BEP desejado conforme o Pregão nº 105/2020 do CAE.	Perda por Chuva (dB) <input type="text"/>	Perda por Chuva (dB) <input type="text"/>
* Valor de Eb/No teórico de acordo com o valor de BER desejado, segundo MARAL, 2020.	EIRP (dBW) <input type="text"/>	EIRP (dBW) <input type="text"/>
HERMES 900	Perda Total sem chuva (dB) <input type="text"/>	Perda Total sem chuva (dB) <input type="text"/>
Diâmetro da Antena (m) <input type="text"/>	Perda Total com chuva (dB) <input type="text"/>	Perda Total com chuva (dB) <input type="text"/>
Potência de Saída (W) <input type="text"/>	Eb/No sem chuva (dB) <input type="text"/>	Eb/No sem chuva (dB) <input type="text"/>
Distância ao Satélite (Km) <input type="text"/>	Eb/No com chuva (dB) <input type="text"/>	Eb/No com chuva (dB) <input type="text"/>
Perda por Alimentação (dB) <input type="text"/>	Qualidade do Link sem chuva <input type="text"/>	Qualidade do Link sem chuva <input type="text"/>
Perda por Desapontamento (dB) <input type="text"/>	Qualidade do Link com chuva <input type="text"/>	Qualidade do Link com chuva <input type="text"/>
CALCULAR		

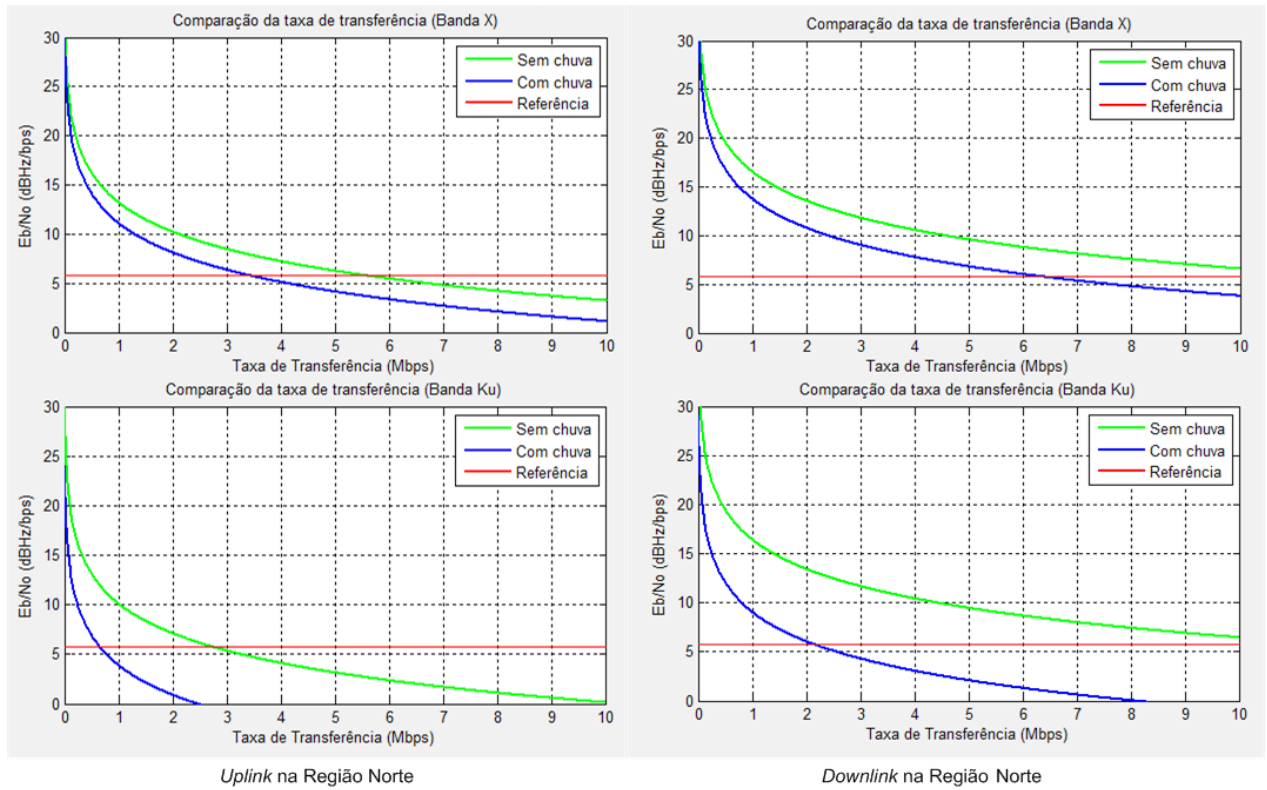
Fonte: Os autores.

Figura 5 - Interface gráfica da aplicação MatLab® para o cálculo de *downlink*.

HERMES 900	Banda Ku	Banda X
Diâmetro da Antena (m) <input type="text"/>	Frequência (GHz) <input type="text"/>	Frequência (GHz) <input type="text"/>
Figura de Ruído <input type="text"/>	Taxa de Transferência (Mbps) <input type="text"/>	Taxa de Transferência (Mbps) <input type="text"/>
Distância ao Satélite (Km) <input type="text"/>	Temp. Brilho Céu (K) <input type="text"/>	Temp. Brilho Céu (K) <input type="text"/>
Perda por Alimentação (dB) <input type="text"/>	Temp. Chuva (K) <input type="text"/>	Temp. Chuva (K) <input type="text"/>
Perda por Desapontamento (dB) <input type="text"/>	Perda Atmosférica (dB) <input type="text"/>	Perda Atmosférica (dB) <input type="text"/>
Perda por Despolarização (dB) <input type="text"/>	Perda por Chuva (dB) <input type="text"/>	Perda por Chuva (dB) <input type="text"/>
Ganho na Recepção(X) (dBi) <input type="text"/>	EIRP (dBW) <input type="text"/>	EIRP (dBW) <input type="text"/>
Ganho na Recepção(Ku) (dBi) <input type="text"/>	Perda no Espaço Livre (dB) <input type="text"/>	Perda no Espaço Livre (dB) <input type="text"/>
Fig Mérito (X) sem chuva (dB/K) <input type="text"/>	Perda Total sem chuva (dB) <input type="text"/>	Perda Total sem chuva (dB) <input type="text"/>
Fig Mérito (X) com chuva (dB/K) <input type="text"/>	Perda Total com chuva (dB) <input type="text"/>	Perda Total com chuva (dB) <input type="text"/>
Fig Mérito (Ku) sem chuva (dB/K) <input type="text"/>	Eb/No sem chuva (dB) <input type="text"/>	Eb/No sem chuva (dB) <input type="text"/>
Fig Mérito (Ku) com chuva (dB/K) <input type="text"/>	Eb/No com chuva (dB) <input type="text"/>	Eb/No com chuva (dB) <input type="text"/>
Temperaturas (K)	Status do Link sem chuva <input type="text"/>	Status do Link sem chuva <input type="text"/>
Temp. Ambiente (K) <input type="text"/>	Status do Link com chuva <input type="text"/>	Status do Link com chuva <input type="text"/>
Temp. Solo (K) <input type="text"/>	CALCULAR	

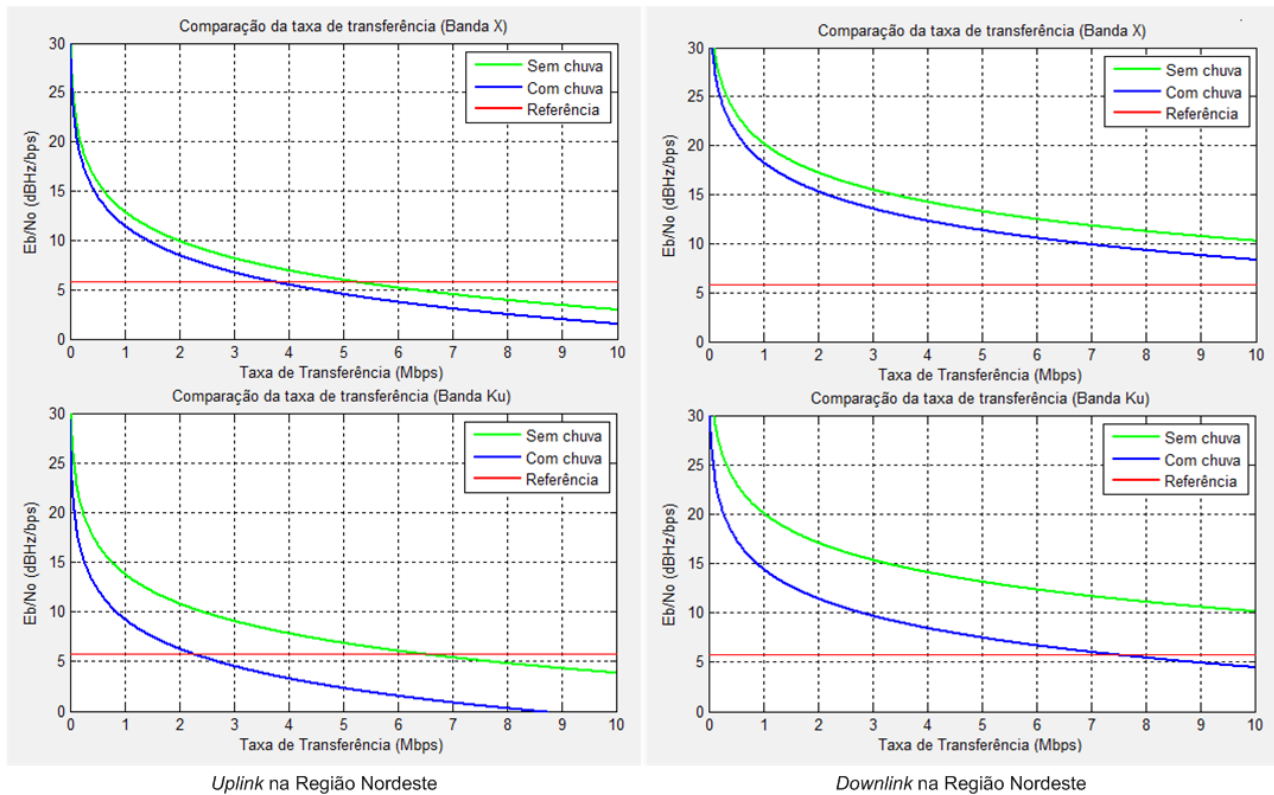
Fonte: Os autores.

Figura 6 - Análise de *uplink* e *downlink* na região Norte.



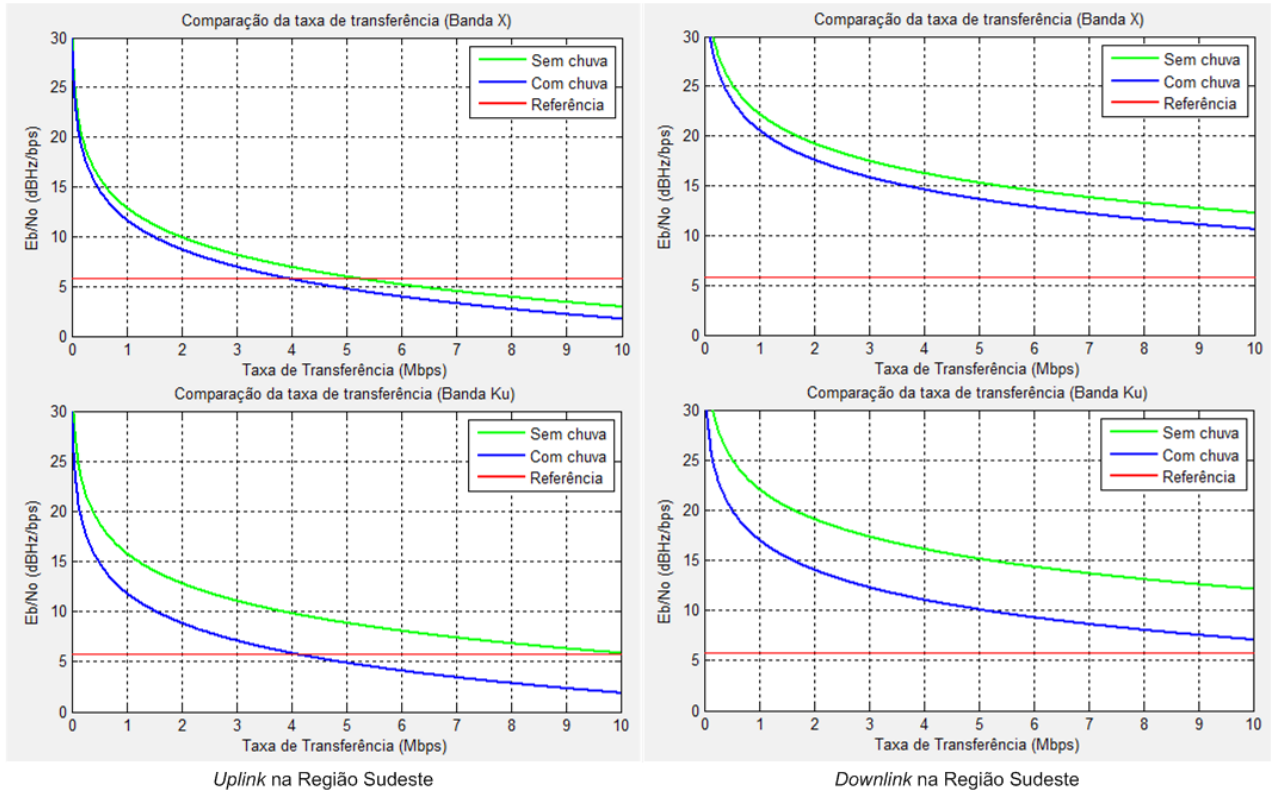
Fonte: Os autores.

Figura 7 - Análise de *uplink* e *downlink* na região Nordeste.



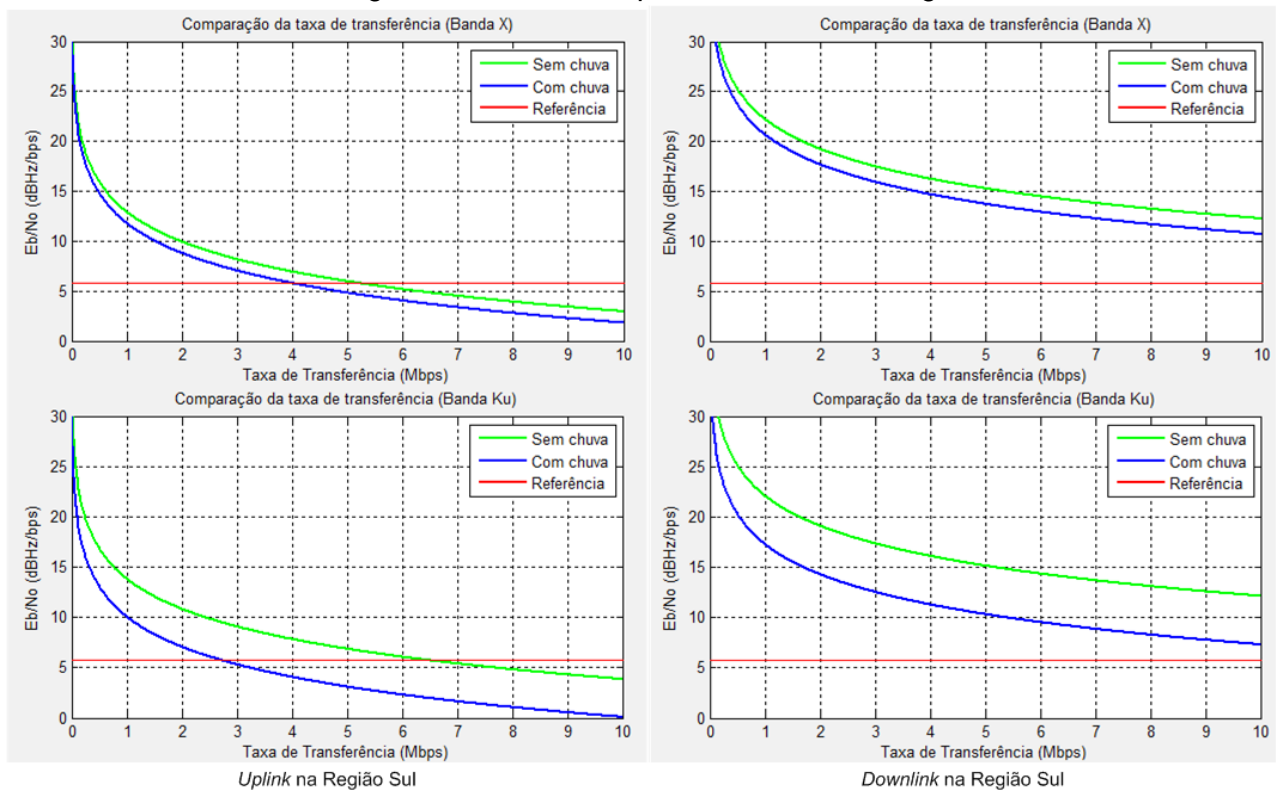
Fonte: Os autores.

Figura 8 - Análise de *uplink* e *downlink* na região Sudeste.



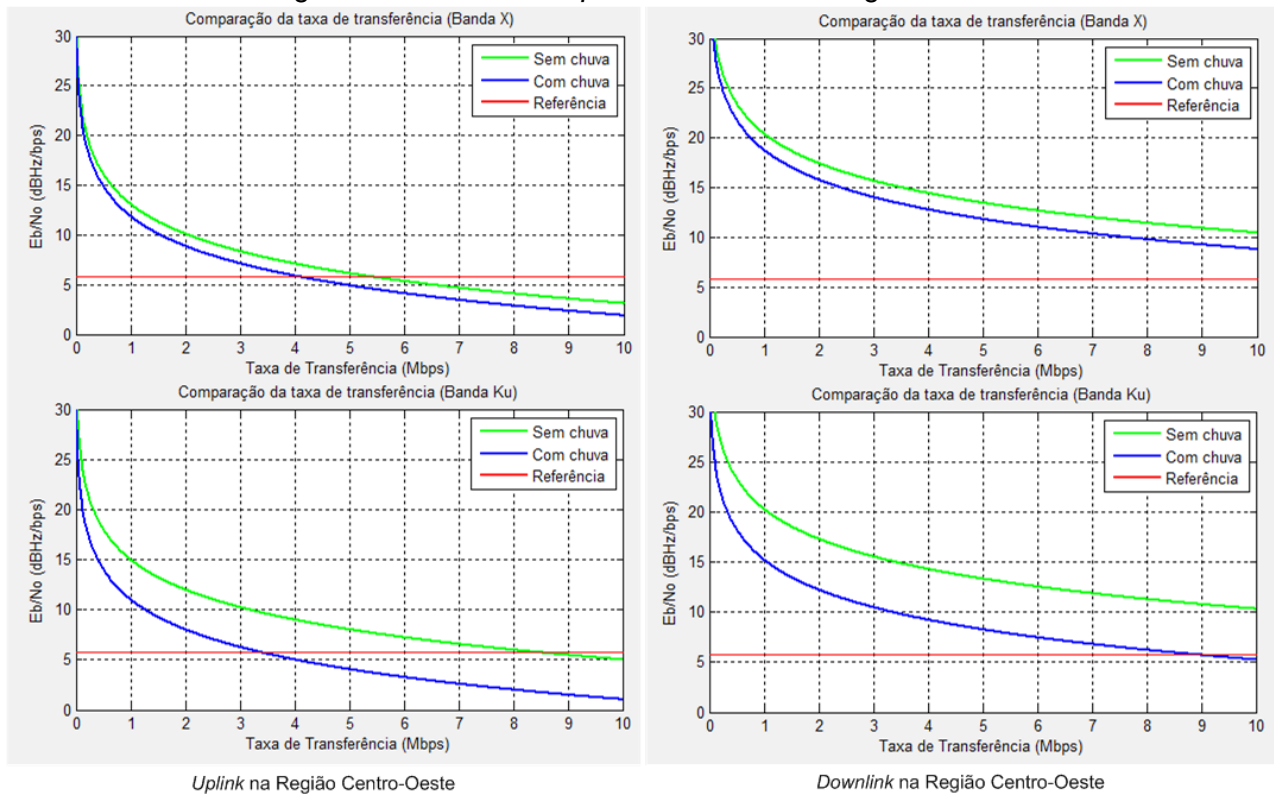
Fonte: Os autores.

Figura 9 - Análise de *uplink* e *downlink* na região Sul.



Fonte: Os autores.

Figura 10 - Análise de *uplink* e *downlink* na região Centro Oeste.



Fonte: Os autores.

Analisando os gráficos das regiões do Brasil, observa-se que para o enlace de *downlink*, por exigir uma taxa de transmissão mais baixa, 256 Kbps, a qualidade do sinal transmitido do satélite para o ARP HERMES 900 é boa tanto na banda de frequência Ku quanto na banda de frequência X.

Nos gráficos relativos ao enlace de *uplink*, o qual requer uma taxa de transmissão mais elevada, 4 Mbps, por envolver o envio de vídeos capturados pelos equipamentos da aeronave, algumas regiões do Brasil apresentam qualidade de sinal ruim, com destaque para a região Norte nas duas bandas de frequência e as regiões

Nordeste, Sul e Centro Oeste em banda Ku.

A região Norte tem qualidade de sinal boa em banda X e qualidade ruim em banda Ku, sem a presença da chuva. Já com a presença de chuva, as duas frequências perdem qualidade, porém em banda X tem resultados melhores que em banda Ku.

As regiões Nordeste e Sul apresentam boa qualidade do sinal em banda X, tanto sem chuva quanto com chuva. Já a banda Ku tem excelente qualidade de sinal sem a presença de chuva, porém em tempo chuvoso não apresenta boa qualidade na transmissão de dados.

A região Sudeste e Centro Oeste apresentam uma boa qualidade na transmissão

de dados em banda X, tanto sem chuva quanto com chuva. Já com relação à banda Ku, a região Sudeste mantém o bom desempenho no *link*, enquanto que na região Centro Oeste, a banda

Ku perde qualidade do sinal em tempo chuvoso.

De forma elucidativa, os resultados da qualidade do sinal de *uplink* encontram-se na tabela 6 conforme os valores adotados.

Tabela 6 - Resultado qualitativo do sinal no enlace de dados de *Uplink* nas bandas de frequência em estudo.

Região	Sem Chuva		Com Chuva	
	Ku	X	Ku	X
Norte	RUIM	BOM	RUIM	RUIM
Nordeste	BOM	BOM	RUIM	BOM
Sudeste	BOM	BOM	BOM	BOM
Sul	BOM	BOM	RUIM	BOM
Centro Oeste	BOM	BOM	RUIM	BOM

Fonte: Os autores.

5. CONCLUSÃO

A utilização de Aeronaves não tripuladas cresce em larga escala nas Forças Armadas de diversos países. É possível ver, atualmente, aeronaves, que além de missões como as realizadas pelo HERMES 900, realizam missões de lançamento de mísseis. Esse modelo de ARP já faz parte da frota de países como Estados Unidos e Israel.

Com isso, é de fundamental importância que as Forças Armadas do Brasil faça maiores investimentos nesse setor, pois como foi analisado, é vantajosa a utilização da banda de frequência X por causar uma baixa interferência na qualidade do sinal, contribuindo para a confiabilidade e continuidade da conexão durante toda a transmissão de informações sob

condições climáticas adversas.

Alguns países trabalham com a aeronave HERMES 900, porém o Brasil apresenta características climáticas diferentes como pode ser observado no mapa de taxa de chuva em ITU-R (2013) e a utilização dessa aeronave em banda Ku limita o voo em regiões como o Norte do Brasil.

Nos cálculos realizados nesse estudo, foi possível observar que o tamanho da antena não é um fator limitador para a operação do HERMES 900 em banda X, visto que a qualidade do sinal atende à taxa de transferência de dados utilizada atualmente, tanto em banda Ku quanto em banda X, com o tempo bom em todas as cinco regiões do país. E em tempo chuvoso, a

banda X apresentou desempenho melhor que em banda Ku na maioria das regiões conforme já era esperado no início desse estudo.

Outro ponto importante observado é que a qualidade do sinal está diretamente relacionada à taxa de transmissão de dados envolvida no processo do enlace de dados.

Entretanto, destaca-se que este estudo teve uma abordagem teórica com base nos dados coletados com o Esquadrão Aéreo, informações disponíveis sobre o SGDC e o satélite da *StarOne* para realização dos cálculos comparativos. Aspectos como o investimento financeiro para alterar o *hardware* do ARP em

questão não foram analisados.

Dessa forma, esta obra que deu continuidade a estudos anteriores, serve de embasamento para estudos na área de investimentos financeiros para operar em banda X, bem como dar sequência aos estudos na comunicação do satélite com a estação de terra e contribuir para que as Forças Armadas do Brasil tenha subsídios para investir em aeronaves remotamente pilotadas e satélites que operem em banda X de frequência com vistas a segurança das informações em prol da soberania e controle do seu território.

REFERÊNCIAS

ARIANESPACE. **Launch Kit 2017 – VA236 SGDC KOREASAT-7. Arianespace Service & Solutions.** Maio de 2017.

AUSTIN, R. **Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment.** 1st ed. John Wiley & Sons Ltd, 2010.

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design.** 4th Edition. John Wiley, 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa.** Brasília. 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. **PCA 11-47: Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018 – 2027.** 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica. **Comunicações Via Satélite.** Ed. 2020 A.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **Edital de Pregão Eletrônico nº 105/CAE/2020** : Contratação de Capacidade Espacial Via Satélite em Regime de Cessão para



Implantação do Serviço de Controle dos Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas – SARP HERMES e HERON-I. Ano: 2020 B.

CAIAFA, R. **FAB realizará a primeira missão real SATCOM com RQ 900 HERMES**. Tecnologia e Defesa. 2018. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/fab-realizara-aprimeira-missao-real-satcom-com-arp-rq-900-hermes-operacao-posse-2019/>. Acesso em: 17 abr. 2021.

DEMENECIS, L. S. **O Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC): uma análise das contribuições para a defesa nacional**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Comando e Estado-Maior do Exército. Rio de Janeiro, 2018.

ELBIT. **HERMES® 900 UAS – UAV Description Manual**. Technical Manual. Israel, 2014.

EMBRATEL STAR ONE. **CTS-ENGSI-10002/04: Características do Satélite C3 para Projeto de Redes de Comunicações Digitais em Banda Ku**. 12 AGOSTO 2020.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Introdução aos Sistemas de Comunicação**. 2º Edição. Bookman, 2008.

IPPOLITO, L. J. **Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design, and System Performance**. Wiley, 2008.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Recommendation ITU-R P.837-6. Characteristics of precipitation for propagation modelling**. ITU. Geneva, 2013.

LIMA, W. F. A. **Caracterização das Estruturas Verticais das Chuvas a Partir de Multicanais e Simulações com Modelo de Transferência Radiativa**. INPE - São José dos Campos, 2012.

MARAL, G; BOUSQUET, M; SUN, Z. **Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology**. 6th ed. Wiley, 2020.

MEDEIROS, J. C. O. **Princípios de Telecomunicações: teoria e prática**. 2.ed. São Paulo: Érika, 2007.

RODDY, D. **Satellite communications**. 4th ed: McGraw-Hill, 2006.

SATBEAMS. **Site da SATBEAMS**. Disponível em: <https://www.satbeams.com/footprints>. Acesso em: 30 MAIO 2021.

VISIONA. **Site da VISIONA**. Disponível em: <http://www.visionaespacial.com.br/sgdc>. Acesso em: 30 MAIO 2021.