

CICAD.II.2018

ARTIGO CIENTÍFICO ÁREA DE CONCENTRAÇÃO



CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ANÁLISE DE ZONAS DE SILÊNCIO PARA TRANSMISSÕES EM HF

ANTONIO ANDERSON SILVA MARQUES

Pós-graduado em Gestão de Sistemas Táticos de Comando e Controle

RESUMO: ESTUDOS DA PROPAGAÇÃO EM HF COLABORAM PARA RETIRAR TERRITÓRIOS FRONTEIRIÇOS DE POSSÍVEIS “ZONAS DE SILÊNCIO” NA COMUNICAÇÃO RÁDIO, ASSIM VIABILIZANDO UM COMANDO E CONTROLE MAIS EFICAZ. PELOTÕES ESPECIAIS DE FRONTEIRA (PEF) ENCONTRAM-SE MUITAS VEZES EM LOCAIS DE BAIXA INFRAESTRUTURA, ONDE NÃO HÁ CABEAMENTO ESTRUTURADO, ESTAÇÕES RÁDIO-BASE (ERB) DE OPERADORAS DE TELEFONIA OU ENLACES VIA MICRO-ONDAS. ESTE MANUSCRITO VERIFICOU AS LIMITAÇÕES DA PROPAGAÇÃO RÁDIO EM LINHA DE VISADA E ATRAVÉS DE ONDAS IONOSFÉRICAS, IDENTIFICANDO AS PARTICULARIDADES DE CADA TIPO DE ONDA, LEVANDO-SE EM CONTA O AMBIENTE DE SELVA E OS EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS PARA ESTAS TROPAS. OS RESULTADOS APONTAM QUE ENLACES EM LINHA DE VISADA TERÃO BAIXA EFETIVIDADE NESTE AMBIENTE, PORÉM A PROPAGAÇÃO PELA IONOSFERA PODE SER ADOTADA COMO UMA SOLUÇÃO VIÁVEL, DESDE QUE OS EQUIPAMENTOS RÁDIO DISPONÍVEIS SEJAM UTILIZADOS DE FORMA CRITERIOSA, ESCOLHENDO AS FREQUÊNCIAS, ANTENAS E CONFIGURAÇÃO CORRETA DO EQUIPAMENTO.

PALAVRAS-CHAVE: PROPAGAÇÃO. HF. NVIS. RÁDIO. ENLACES.

INTRODUÇÃO

A utilização de transmissões em High Frequency (HF) possui uma ampla aplicabilidade para a segurança da infraestrutura crítica de telecomunicações. Em especial para as Forças Armadas (FA), há diversos contextos operacionais onde este tipo de comunicação pode ser empregado, entre eles as comunicações em ambiente de selva na Amazônia ou para transmissões entre embarcações.

AGARD (1990) aponta que a ionosfera é uma região composta por íons livres em quantidade suficiente para afetar as propriedades de ondas eletromagnéticas, entretanto esclarece que a densidade de elétrons pode sofrer grandes variações de acordo com a região geográfica.

Mayor (2016) cita que há três tipos mais comuns de propagação para as transmissões em HF que podem sensibilizar o receptor: as ondas diretas, que se irradiam diretamente do transmissor para o receptor, as ondas terrestres e as ondas ionosféricas, que refratam nas camadas da ionosfera e retornam para o solo, provendo um grande alcance para as comunicações.

Elementos receptores situados além do limite do alcance das ondas diretas e ter-

restres terão que contar com o sinal advindo da ionosfera. O limite entre o alcance das ondas diretas e o das ondas ionosféricas compreende uma “zona de silêncio”, onde elementos importantes da tropa podem estar sem comunicação.

Determinados ambientes operacionais sempre representaram um desafio para as comunicações. O Exército Brasileiro em especial possui permanentemente vários pelotões de fronteira (PEF) situados nos limites no território nacional. Estes pelotões estão relacionados à “estratégia de presença” do Exército Brasileiro na região fronteiriça, representando o primeiro contato contra uma possível hostilidade externa, além da finalidade de “vivificação” da faixa de fronteira, sendo núcleos embrionários de desenvolvimento social e ocupação de áreas ora inertes (MIRANDA, 2012).

Embora haja comunicações satelitais para alguns destes pelotões, este tipo de enlace ainda não está plenamente disponível para as tropas brasileiras, tendo em vista seu alto custo e prioridade de alocação de banda para finalidades próprias do governo brasileiro.

Tropas brasileiras empregadas em ambientes operacionais de selva necessitam de comunicações estáveis para o cumprimento de suas mais diversas missões. Os equipa-



mentos disponíveis para estas tropas, sendo Rádios definidos por software, possuem uma boa capacidade de transmissão de dados e alcance, tendo em vista as informações disponibilizadas nos manuais dos fabricantes. Assim, este projeto teve como metas fundamentais:

- a) verificar o alcance de ondas diretas e terrestres em diferentes tipos de transmissão dos equipamentos rádio HF atualmente disponíveis;
- b) observar as perturbações na ionosfera que impactam no seu plasma energético, a fim de compreender quais as melhores frequências de acordo com a região e o horário de transmissão;
- c) estimar o raio das zonas de silêncio visando missões nas proximidades do PEF que não possam ser cobertas por transmissões em visada direta.

1 METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas: características da atmosfera, no tocante ao plasma ionosférico; propagações por ondas diretas e ionosféricas e análise das características dos equipamentos disponíveis para tropas brasileiras, como ângulo de partida, sensibilidade para recepção e diretividade das antenas.

Foram utilizados artigos, dissertações, teses e livros disponíveis na literatura especializada. Assim como as recomendações da União Internacional de Telecomunicações (UIT).

Posteriormente, foram realizados os cálculos de propagação eletromagnética, visando determinar o alcance máximo de um enlace via ondas diretas e a região aproximada do primeiro “salto” após refração na ionosfera, de modo a ter uma delimitação da zona de silêncio.

1.1 FORMAS DE PROPAGAÇÃO

Wivlet et al. (2015) aponta que as propagações ionosféricas podem funcionar com eficácia para um raio de 150 km a partir da fonte emissora. Especialmente na faixa do espectro eletromagnético de 3 e 10 MHz, pois esta faixa de frequência sofre o fenômeno da refração na ionosfera, possibilitando seu retorno ao solo.

Ressalta-se que tamanha área de cobertura possui dificuldade acentuada de obter boa relação sinal-ruído nas estações receptoras com faixas de frequência de valor mais elevado, tendo em vista o relevo e a vegetação características do ambiente de selva. Faixas acima de 30 MHz necessitam, na maioria dos casos, de visada direta para sua propagação, o que levaria a adoção de inúmeras repetidoras em locais isolados e de difícil acesso para as tropas.

Para a determinação da probabilidade de enlace utilizando ondas ionosféricas foram realizados cálculos levando-se em conta o ângulo de partida e o tipo de antena, sendo posteriormente analisados no software VOACAP (Voice of America Coverage Analysis Program for HF Propagation Prediction and Ionospheric Communications Analysis). Determinados parâmetros foram obtidos através de estudos de ionogramas, em especial utilizando a ionosonda de Boa Vista, por ser esta a sonda mais próxima dos pelotões especiais de fronteira.

Já para a propagação em visada direta foram realizados cálculos em situações típicas de comunicações entre pequenos escalões militares. A falta de estruturas fixas - torres, mastros elevados, antenas de ganho elevado etc. - torna este tipo de comunicação tática um desafio no ambiente de selva.

Devido a obstruções da vegetação e do perfil topográfico do próprio terreno, é comum haver muitas perdas no percurso até a estação receptora. Estas perdas foram observadas utilizando o modelo de propagação Longley-Rice, que estima as perdas por difração



em um enlace levando em conta vários fatores como as irregulares do terreno, condutividade do solo, curvatura da terra, distância entre as estações etc.

Para os enlaces com o modelo de propagação Longley-Rice, foi utilizado o software Radio Mobile, levando-se em conta os tipos de antena que seriam utilizados no ambiente de selva.

2 DISCUSSÃO E RESULTADOS

2.1 PROPAGAÇÃO VIA VISADA DIRETA

Medeiros (2011) aponta que enlaces em visibilidade, ou visada direta, exigem potência significativa para uma comunicação a dez ou mais quilômetros. Em situações onde há obstáculos presentes, essa necessidade de potência pode se tornar ainda maior, tendo em vista a obstrução das zonas de Fresnel.

Os receptores táticos utilizados pelo Exército Brasileiro atualmente, da empresa Harris, possuem uma sensibilidade da ordem de -90 dBm (HARRIS, 2017). Visando ilustrar as dificuldades deste tipo de enlace na selva, podemos adotar os seguintes valores para análise:

QUADRO 1 Características de um enlace em ambiente de selva

Características do Enlace	Valores
Distância entre uma companhia e um pelotão em missão real em ambiente de selva.	30 km
Frequência	100 MHz
Potência de Transmissão	10 W
Ganho das Antenas	-5 dBi
Perdas por acoplamento das antenas	- 2 dBi
Ruído na recepção	-113 dBm

Fonte: o autor, 2018.

Medeiros (2011) cita que a atenuação do espaço livre pode ser obtida, para D em quilômetros, e F em MHz, por:

$$L \text{ [dB]} = 36,57 + 20 \log (D * 0,62) + 20 \log F \quad (1)$$

$$L = 36,57 + 20 \log 18,64 + 20 \log 100;$$

$$L = 36,57 + 25,41 + 40;$$

$$L = 101,99 \text{ dB}$$

A potência transmitida em dB será:

$$P_t = 10 \log 10 = 10 \text{ dBW}$$

A potência recebida será então:

$$P_r \text{ [dBW]} = 10 \text{ dBW} - 5 \text{ dBi} - 5 \text{ dBi} - 101,99 \text{ dB} - 4 \text{ dBi} = - 105,99 \text{ dBW}$$

Convertendo dBW para dBm:

$$P_r \text{ [dBm]} = - 105,99 \text{ dBW} + 30 = - 76 \text{ dBm}$$

O valor de - 76 dBm apresenta uma potência recebida satisfatória, porém, as situações táticas apresentadas no ambiente de selva exigem muitas vezes a transposição de obstáculos. O impacto das obstruções, também chamadas de perdas por difração, pode ser inicialmente avaliado pelo cálculo das Zonas de Fresnel, onde o primeiro raio, ou primeira zona, pode ser descrito como:

$$R1 \text{ [m]} = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad (2)$$

D = distância total do enlace;

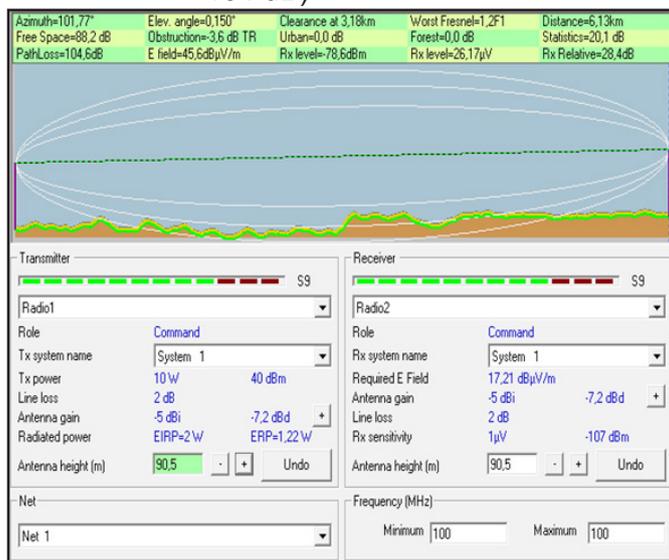
f = frequência.

Analisando a equação do raio de Fresnel, pode-se observar que R1 é inversamente proporcional à frequência, assim, conforme desejarmos transmitir em frequências acima de 30 MHz, haverá um impacto cada vez maior das obstruções do terreno. Em simulações realizadas no software Radio Mobile, há perdas da ordem de 30 dBm devido às condições do terreno, conforme figura 1 e 2.

A figura 1 apresenta uma situação hipotética do uso de duas torres instaladas na região do 5o Pelotão Especial de Fronteira Maturacá (00o37'26"N, 66o05'48"W), 90 metros acima do nível do solo, configurando assim um enlace em linha de visada. Porém, conforme já citado neste manuscrito, a utilização dos equipamentos em situações táticas muitas vezes exige transmissões onde as antenas estarão em baixas alturas, conforme a figura 2. Quan-

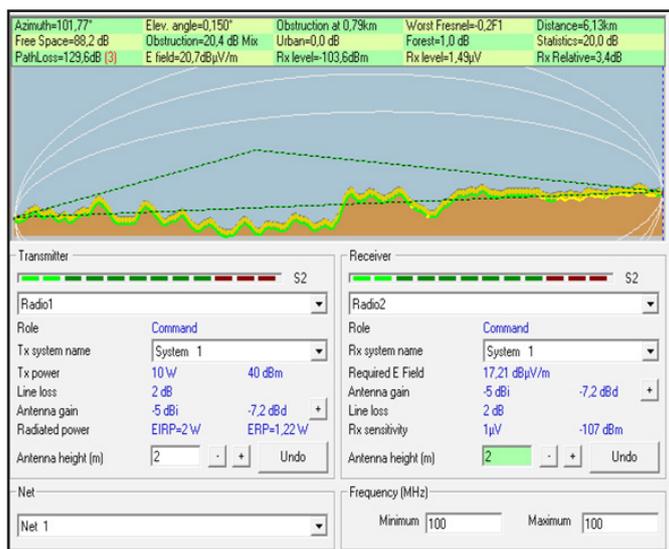
do isto ocorre, há obstrução de parte relevante da primeira zona de Fresnel, aumentando a perda no percurso.

FIGURA 1 Enlace em linha de visada utilizando torres (perda no percurso de 104 dB)



Fonte: o autor, 2018.

FIGURA 2 Enlace em linha de visada na altura do solo (perda no percurso de 129 dB)



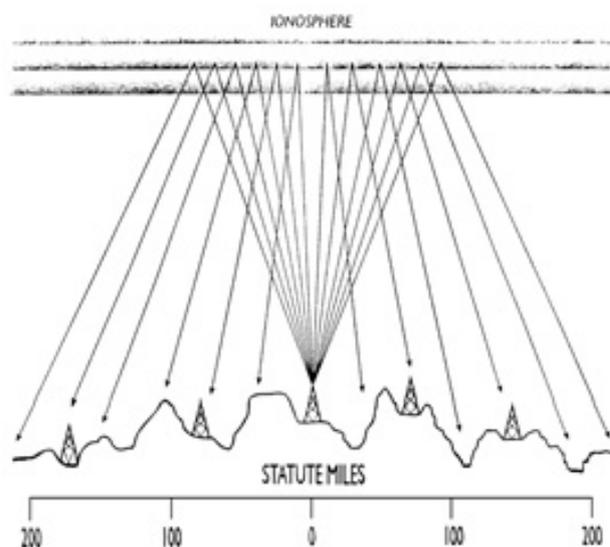
Fonte: o autor, 2018

2.2 PROPAGAÇÃO VIA ONDAS ESPACIAIS

Uma alternativa para as perdas em linha de visada é o uso de frequências entre 3 e 12 MHz, também chamadas de NVIS, Near Vertical Incident Skywave. Wallace (1992) cita diversos exemplos bem sucedidos para o uso de NVIS em campo aberto. Sendo relevante a escolha correta da frequência, o tipo de antena que será utilizado e de seu ângulo de partida.

A forma de cobertura do NVIS assemelha-se a um guarda-chuva nas proximidades da antena transmissora, conforme pode ser observado na figura 3. Este tipo de transmissão exige ângulos de partida elevados, que possam alcançar a ionosfera e serem refratados de volta para o solo em uma área que dificilmente um enlace em visada direta poderia alcançar.

Porém há limitações para este tipo de transmissão que ainda podem ocasionar zonas de silêncio nas proximidades da antena transmissora. Estas limitações estão relacionadas não somente com o ângulo de partida



mas também com a frequência que se deseja transmitir em um região específica.

FIGURA 3 Propagação em NVIS

Fonte: NVIS-TUGA (2010).

3.2.1 Ionossondas

Sendo afetadas por diversos fatores naturais, o estudo de propagações ionosféricas é facilitado com o uso das ionossondas. Estes dispositivos estão localizados em diversas cidades ao redor do mundo, medindo a “altura” da ionosfera e sua densidade de elétrons por camada.

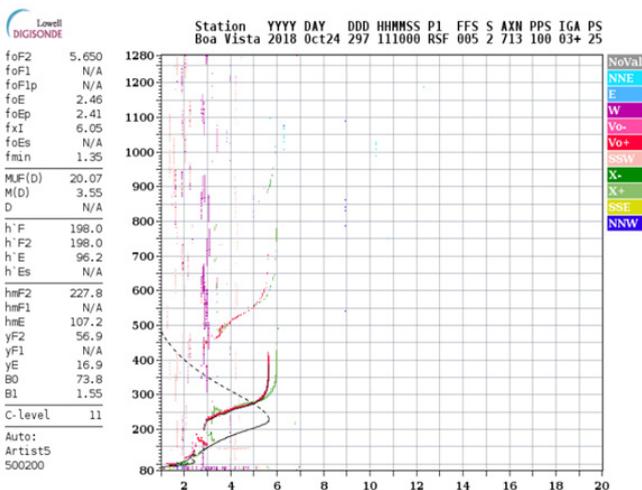
Wivlet et al. (2015) afirma que através das ionossonda é possível determinar a frequência crítica, ou a frequência de plasma, de uma camada, que seria a frequência mais alta de irradiação que retornou para a ionossonda



em uma propagação vertical na direção do zênite (ângulo de incidência zero sobre a Normal da Terra). A figura 4 apresenta as informações principais que devem ser lidas em um ionograma. O eixo horizontal apresenta as frequências na faixa do HF, o eixo vertical a altura virtual da ionosfera para aquele momento. As curvas indicam o comportamento da frequência em cada altura, sendo a curva vermelha a mais relevante, que são as Ondas Ordinárias. Para fins de cálculo de enlace, a curva verde, Ondas Extraordinárias, pode ser ignorada.

“Fo” representa a frequência crítica de operação para determinada camada da ionosfera, sendo o parâmetro mais relevante “foF2”, pois este aponta o valor de frequência para a camada mais densa, a camada F2. “MUF” representa a Máxima Frequência Utilizável, porém este parâmetro está condicionado ao ângulo de irradiação da antena.

FIGURA 4 Ionograma



Fonte: GIRO (2018)

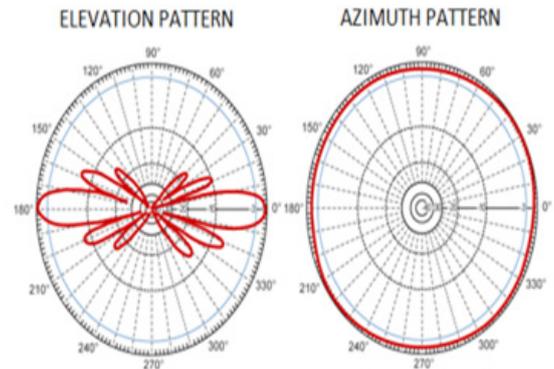
2.2.2 MUF

Martyn (1935) demonstrou que: $MUF = f_c \cdot \sec\theta$, sendo f_c a frequência crítica e θ o ângulo de incidência na ionosfera. Esta relação, derivada da lei de Snell, mostra que à medida que o ângulo de incidência é ampliado, a MUF aceitará valores maiores de frequência. Este ângulo de incidência implicará no alcance da propagação.

As antenas utilizadas em viaturas por exemplo, do tipo vertical, não terão ângulo de partida suficiente para refração na atmosfera.

Observando o lóbulo de radiação de antenas verticais, conforme figura 5, é possível verificar que sua maior incidência de radiação será em ângulos de partida baixos. Propagações acima de 30°, pelo tamanho reduzido dos lóbulos, terão baixa probabilidade de alcançar uma estação receptora.

FIGURA 5 Diagrama de irradiação de antena veicular



Fonte: Harris (2017)

A tabela 1 apresenta os diversos ângulos de incidência para a frequência crítica de 5,65 MHz, utilizando como referência a altura virtual da ionosfera de 198 km, conforme obtido no ionograma da figura 4. Os cálculos da tabela 1 indicam, por exemplo, que transmitir em uma frequência acima de 5,89 MHz para cobrir uma distância menor que 25 Km em NVIS levará a perda do sinal, pois o mesmo não refratará nas camadas da ionosfera. De forma análoga, uma propagação de 6,03 MHz para uma estação receptora a 100 km deverá ter seu ângulo de incidência limitado a 12,8°, ou seu ângulo de partida deverá ser no máximo 77,2° (90 - 12,8), caso esta frequência assuma ângulos de partidas maiores, ultrapassará a atmosfera e não retornará para a Terra.

TABELA 1 Ângulos de incidência na ionosfera

θ (graus)	f_c (Hz)	MUF (Hz)	D (km)
0,3	5,65	5,88	2
0,7	5,65	5,88	5
1,0	5,65	5,88	8
1,8	5,65	5,88	14
3,3	5,65	5,89	25
6,5	5,65	5,92	50

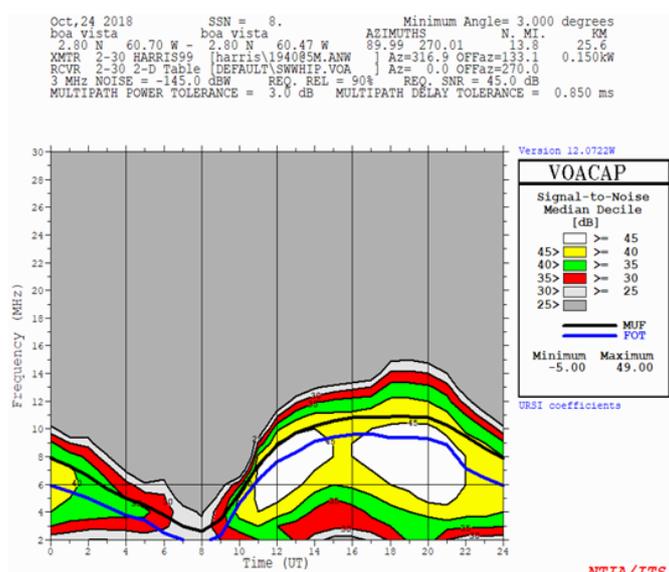


θ (graus)	f_c (Hz)	MUF (Hz)	D (km)
9,7	5,65	5,96	75
12,8	5,65	6,03	100
15,9	5,65	6,11	125
21,7	5,65	6,33	175
32,0	5,65	6,46	200
34,3	5,65	6,60	225
32,0	5,65	6,93	275
34,3	5,65	7,12	300
36,5	5,65	7,31	325
40,4	5,65	9,04	375
42,3	5,65	10,65	400
69,9	5,65	17,08	1200

Fonte: o autor, 2018.

Ao confrontar este resultado com o software de predição VOACAP, é possível observar que a aplicação não traz as informações mais precisas, visto que apontou como MUF o resultado de 7,33 MHz para o mesmo horário, o que levaria possivelmente à falha no enlace, conforme figura 6.

FIGURA 6 Simulação de propagação no VOACAP



Fonte: o autor, 2018.

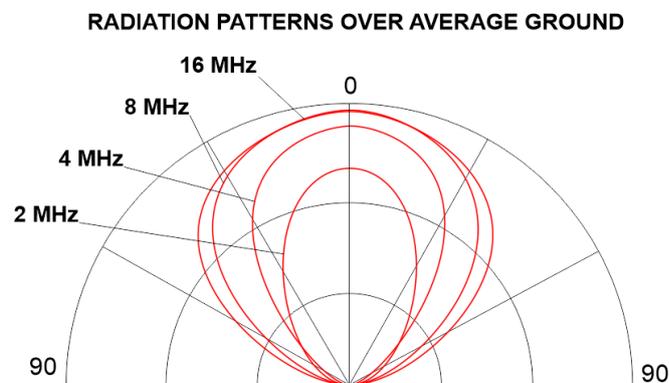
Utilizando a relação trigonométrica da secante, os resultados da tabela 1 foram obtidos através de:

$$MUF [Hz] = fc \sqrt{1 + \frac{D}{2H}} \quad (5)$$

Onde D = distância do enlace; H = altura virtual da camada mais densa da ionosfera.

Aplicando a equação 3 para um enlace de 1200 km obtemos como resultado uma MUF de 17,08 MHz e ângulo de incidência de 69,9°, ou ângulo de partida de 20,1°, porém observando o diagrama de irradiação da antena RF-1941 (dipolo), da empresa Harris, na figura 7, é possível observar que este ângulo possui baixa energia irradiada, o que levará a falha no enlace.

FIGURA 7 Radiação da antena RF-1941 (dipolo)



Fonte: Harris (2017).

CONCLUSÃO

Ao realizar estudos de propagação em ambiente de selva, é possível verificar a incidência de muitas perdas por difração no percurso do enlace. Conforme simulações realizadas com o modelo de propagação Longley-Rice, as perdas podem alcançar valores da ordem de 30 dBm, o que inviabiliza a maioria das tentativas de estabelecer comunicações em distâncias comuns para tropas no terreno.

Uma possível solução para este tipo de problema seriam antenas direcionais táticas, embora ainda haja perdas por difração na primeira zona de Fresnel - o raio da primeira zona não é alterado pela diretividade da antena - o ganho irradiado em um determinado azimute poderia compensar estas perdas.

De outra forma, a propagação em NVIS apresenta-se como uma solução para as





comunicações. Utilizando as frequências críticas dos ionogramas de cidades próximas à região de interesse, no caso em análise Boa Vista, é possível determinar uma lista de frequência para se operar em variadas distâncias.

Cabe ressaltar que este tipo de comunicação se adequa muito bem para comunicações que não exijam largura de banda elevada, que é uma variável diretamente proporcional à frequência escolhida. Caso se deseje operar em frequências mais elevadas, visando transmissão de dados, o sistema terá um ângulo crítico a ser limitado, caracterizando o padrão “guarda-chuva” da cobertura.

Sendo NVIS uma forma de propagação eficiente, torna-se relevante mais pesquisas em como adaptar antenas veiculares a este tipo de propagação. Atualmente, para tropas militares brasileiras, a melhor solução para NVIS é a utilização de antenas do tipo dipolo, devido ao seu lóbulo de irradiação cobrir toda a região nas proximidades do zênite.

Na data de conclusão deste trabalho, as manchas solares estavam com seus valores muito reduzidos, dificultando sobremaneira o aumento da densidade de elétrons da ionos-

fera, o que levou a frequências críticas muito baixas. Como forma de contornar este problema, sugere-se a utilização de enlaces digitais somente, tendo em vista que estes exigem uma menor relação sinal ruído para satisfazer a qualidade pretendida (Medeiros, 2011).

Novos estudos podem ser realizados utilizando os equipamentos táticos partindo dos dados das situações simuladas, verificando por exemplo, se é possível aumentar as frequências além da MUF com a digitalização do sinal ou obter uma melhor relação sinal ruído com tipos diferentes de modulação.

Os PEF geralmente encontra-se em locais de baixa infraestrutura, onde muitas vezes não há cabeamento estruturado, Estações Rádio-Base (ERB) de operadoras de telefonia ou até mesmo, a possibilidade de enlace via micro-ondas, devido a longa distância, permeada de rios e matas, entre estes pelotões e suas sedes logísticas.

Estudos da propagação em HF colaboraram para retirar estes territórios fronteiriços de possíveis zonas de silêncio, assim viabilizando transmissões de dados e fonia para tropas que dependerão muitas vezes exclusivamente

deste meio de comunicação. Levando-se em conta ainda que, diversas vezes, estes pelotões realizarão missões em locais distantes de suas sedes, o que fortalece a necessidade de estudo das propagações em HF visando garantir as comunicações também neste tipo de missão.

ANALYSIS OF SILENCE ZONES FOR HF TRANSMISSIONS

ABSTRACT: HF PROPAGATION STUDIES COLLABORATE TO REMOVE FRONTIER TERRITORIES FROM POSSIBLE "SILENT ZONES" IN RADIO COMMUNICATION, THUS ENABLING MORE EFFECTIVE COMMAND AND CONTROL. SPECIAL BORDER PLATOONS (PEFs) ARE OFTEN LOCATED IN LOW-INFRASTRUCTURE LOCATIONS, WHERE THERE IS NO STRUCTURED CABLING, RADIO BASE STATIONS (ERB) FROM TELEPHONE OPERATORS OR LINKS VIA THE MICROWAVE. THIS MANUSCRIPT VERIFIED THE LIMITATIONS OF HF PROPAGATION IN LINE OF SIGHT AND THROUGH IONOSPHERIC WAVES, IDENTIFYING THE PARTICULARITIES OF EACH TYPE OF WAVE, TAKING INTO ACCOUNT THE ENVIRONMENT OF THE JUNGLE AND THE EQUIPMENT AVAILABLE FOR THESE TROOPS. THE RESULTS INDICATE THAT LINE- OF-SIGHT LINKS WILL HAVE LOW EFFECTIVENESS IN THIS ENVIRONMENT, BUT PROPAGATION THROUGH THE IONOSPHERE CAN BE ADOPTED AS A VIABLE SOLUTION, PROVIDED THAT THE AVAILABLE RADIO EQUIPMENT IS USED IN A JUDICIOUS WAY, CHOOSING THE FREQUENCIES, ANTENNAS AND CORRECT CONFIGURATION OF THE EQUIPMENT.

KEYWORDS: PROPAGATION, HF, NVIS, RADIO, LINKS

REFERÊNCIAS

Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD). AGARD-AG- 326 - Radio Wave Propagation Modeling, Prediction and Assessment. NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION. 1990.

BISPO, M. N., Análise do Canal Ionosférico de Rádio-Propagação na Faixa de HF, Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 2000.

BOITHIAS, L., Radio Wave Propagation, Mc – Graw Hill Book Company, London, 1987. União Internacional de Telecomunicações.

CANAVITSAS, A. A. C., Otimização de Redes de Radiocomunicações em HF, Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 2000.

GIRO. GLOBAL IONOSPHERE RADIO OBSERVATORY. DIDBase. Acesso em 24/10/2018. Disponível em [http://](http://giro.uml.edu/)

giro.uml.edu/.

GIUSEPPE, V. A. Análise do Comportamento da Ionosfera a Partir de Medidas em HF. Instituto Militar de Engenharia. Dissertação De Mestrado. 2003

HARRIS. Harris Falcon III RF-7800V-HH. NEW YORK, 2017.

MARTIN. D. F. D. F. Martyn, R. O. Cherry, and A. L. Green, Long-distance observations of radio waves of medium frequencies. Proc. Phys. Soc., vol. 47, no. 2, pp. 323–340, Mar. 1935.

MAYOR, R. M. ANT – Antenas e Propagação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Campus São José – Santa Catarina. 2016.

MEDEIROS, J. C. de O. Princípios de Telecomunicações. 3 ed. São Paulo. Érica, 2011.

MIRANDA, W. D. DEFESA E EXÉRCITO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: Um estudo sobre a constituição dos Pelotões Especiais de Fronteira. Dissertação de Mestrado. UFPA. Belém. 2012.

NVIS-TUGA. NVIS Tático. 2010. Acesso em 24/10/2018. Disponível em <http://nvis-tuga.blogspot.com/2010/11/nvis-tactico.html>.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Recommendation ITU-R P. 533-7 – HF Propagation Prediction Method, ed UIT 2001 18 p.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, Recommendation ITU-R P 373-7 – Definitions of Maximum and Minimum Transmission Frequencies, Question ITU- R 213/3, ed UIT 1995 1p.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, Recommendation ITU-R BS.705-1 – HF transmitting and receiving antennas characteristics and diagrams. ed UIT 1995 138p.

WIVLET, B. A. et al. Near Vertical Incidence Skywave Propagation: Elevation Angles and Optimum Antenna Height for Horizontal Dipole Antennas. 2015. IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 57, No. 1, February 2015.

O autor é graduado em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras. Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília. Possui cursos na área de Rádios definidos por software, Sistemas Satelitais e Comando e Controle. Foi instrutor na Academia Militar das Agulhas Negras. Atualmente, exerce a função de instrutor na Escola de Comunicações. Pode ser contactado através do e-mail silvamarques.anderson@eb.mil.br.

