

NAVEGUE NAS ONDAS CURTAS DO RÁDIO	ARTIGOS TÉCNICOS DX	ENVIE SEUS COMENTÁRIOS	PROCURE NESTE SÍTIO
		Introdução	sfera

ENTENDENDO A PROPAGAÇÃO IONOSFÉRICA

A IONOSFERA

A DESCOBERTA DA IONOSFERA

A ESTRUTURA DA IONOSFERA

A CAMADA D

A CAMADA E

A CAMADA E ESPORÁDICA

A CAMADA F, OU MELHOR, AS CAMADAS F_s

ACIMA DA REGIÃO F

VARIAÇÃO DIA E NOITE

VARIAÇÃO SAZONAL

VARIAÇÃO GEOGRÁFICA

VARIAÇÃO CÍCLICA

OTIMIZANDO COMUNICAÇÕES EM HF

RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS

CÁLCULO DA MÁXIMA FREQUÊNCIA UTILIZÁVEL (MUF)

ABSORÇÃO IONOSFÉRICA

MENOR FREQUÊNCIA UTILIZÁVEL (LUF, LOWEST USABLE FREQUENCY)

PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS E SEUS EFEITOS NA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS CURTAS

PERTURBAÇÕES RELACIONADAS COM "FLARES" SOLARES (CAUSAS E EFEITOS)

FLARES SOLARES E SEUS "PRODUTOS" RADIOATIVOS

PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS SÚBITAS, SID (SUDDEN IONOSPHERIC DISTURBANCES)

ENTENDENDO A PROPAGAÇÃO IONOSFÉRICA

Por Renato Dutra Pereira Filho

Bibliografia

The NEW Shortwave Propagation Handbook

By Geoger Jacobs, Theodore J. Cohen e Robert B. Rose

A partir dessa edição do @-tividade DX e nas próximas edições de

domingo teremos artigos especiais sobre a propagação. Como esse material é destinado a todos os colegas, independente do seu nível de aprofundamento no assunto, e como o objetivo é tentar aprender e desmistificar como a propagação funciona, começaremos do básico. Afinal, grandes prédios necessitam de profundas e sólidas fundações. Nesta edição falaremos a respeito da: - relação entre comprimento de onda, frequência e velocidade; - ionosfera, histórico, composição, características, formação, camadas D, E, F1 e F2, etc;

As altas frequências (HF, high frequencies), correspondem à porção do espectro entre 3 e 30 MHz (cada Hz equivale a 1 ciclo/s), ou seja, de 3000 kHz a 30000 kHz. Somente para lembrar, é muito intuitiva a transformação de frequência em comprimento de onda e vice-versa, desde que tenhamos em mente o fenômeno em si, ou que prestamos atenção nas unidades. Comprimento de onda (L) é medido em metros no S.I. (Sistema Internacional de Unidades), enquanto que a frequência (f) é medida em Hz. Como a relação entre estas grandezas está vinculada a velocidade (v) de propagação dessa onda (velocidade é em metros por segundo), basta “casar” as unidades e teremos a equação básica:

$$v = L \cdot f$$

Como inúmeras medições experimentais comprovaram, a velocidade de propagação da radiação eletromagnética no vácuo é uma constante, ou seja, 300000 km/s, ou seja, 300000000 m/s. Logo, dada a frequência em kHz, 300000/f, nos dá direto o comprimento de onda em metros e dado o comprimento de onda em m, 300000/L, nos dá a frequência em kHz. A comunicação usando a faixa de HF é possível porque existe uma camada da atmosfera superior terrestre chamada ionosfera, a qual refrata e/ou reflete as ondas de rádio.

A IONOSFERA

A ionosfera, como o nome diz, é composta de partículas carregadas eletricamente chamadas íons. Íons nada mais são do que átomos ou moléculas que ganharam ou perderam elétrons apresentando, portanto carga elétrica negativa (chamados ânions) ou carga elétrica positiva (chamados cátions). O processo de transferência de elétrons (perda ou ganho) envolve energia, e essa energia tem de vir ou ir para algum lugar. Retirar elétrons é sinônimo de realização de trabalho logo gasta energia. Na ionosfera esses íons estão dispostos em muitas camadas que são capazes de refletir as ondas de rádio na faixa de HF e devolvê-las à Terra em uma trajetória que faz com que as mesmas percorram grandes distâncias.

As características elétricas dessas camadas, as quais são coletivamente referidas como ionosfera, estão sujeitas a amplas variações. Isto ocorre por que a ionosfera é formada pela radiação proveniente do SOL. É essa a fonte da energia necessária para arrancar os elétrons das moléculas do topo da atmosfera e transformá-las em íons. A intensidade da radiação solar modifica-se com a hora, com a estação do ano, com a localização geográfica. Além disso ocorrem variações cíclicas na capacidade da ionosfera de refletir ondas de rádio. Esses ciclos estão vinculados ao ciclo de aproximadamente 11 anos de atividade solar.

De 11 em 11 anos ocorre um aumento no número de manchas solares. Essas manchas são áreas turbulentas que produzem considerável quantidade de radiação. Quando a superfície solar está coberta com um grande número de manchas, a ionosfera é eletricamente mais carregada e as radio comunicações em ondas curtas são geralmente muito boas. Quando o número de manchas solares diminui, as condições tornam-se piores. O atual ciclo solar, o vigésimo terceiro observado desde que registros precisos começaram, encontra-se um pouco além do máximo, já em fase decrescente, mas ainda com muita atividade solar.

A DESCOBERTA DA IONOSFERA

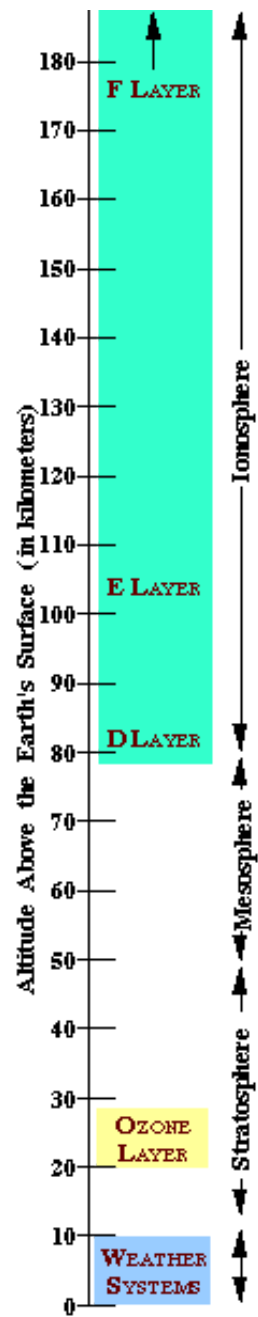
Em 1902, dois cientistas, Arthur Kennelly nos EUA e Oliver Heaviside na Grã-Bretanha sugeriram teoricamente, em artigos científicos independentes, que a atmosfera superior terrestre seria composta de uma região condutora de eletricidade. Seria essa camada que agiria como obstáculo e defletiria os sinais de rádio que permitiram experiências de transmissão transatlântica que ocorreram 1 ano antes. Foram necessárias mais de duas décadas para que essa hipótese fosse verificada experimentalmente, especificamente em 1924 pelo cientista inglês Edward Appleton. Hoje sabe-se que a atmosfera superior é composta principalmente por nitrogênio, oxigênio e seus compostos, com pequenas quantidades de hidrogênio, hélio e outros gases. Esta descrição foi obtida experimentalmente a partir de balões de alta altitude, foguetes ou medidas de satélites ao longo das últimas décadas. Essas medições experimentais comprovaram as teorias de que o tipo de radiação solar de principal importância na formação da ionosfera era a radiação ultravioleta. A grande quantidade de energia associada com essa radiação seria a fonte de energia necessária para a ionização.

Hoje em dia é aceito que o papel da radiação ultravioleta é primordial nas camadas mais externas da ionosfera, enquanto que além desse tipo de radiação, a radiação do tipo raios-x, raios cósmicos e outras frequências de radiação também tem importância nas camadas mais baixas da

ionosfera. Se a radiação solar desaparece (à noite, ou por um eclipse solar) os elétrons e os íons se recombina formando átomos e moléculas eletricamente neutros. O processo de ionização recomeça novamente quando do nascer do sol. Ocorre que há uma diferença de velocidade entre a ionização e a recombinação. A ionização é um processo mais rápido do que a recombinação. Assim a chamada densidade eletrônica da ionosfera diminui em uma velocidade menor do que a velocidade de aumento da densidade eletrônica devido ao nascer do sol.

A ESTRUTURA DA IONOSFERA

Como a radiação chega do exterior até a atmosfera terrestre, primeiro ocorre a ionização dos gases rarefeitos encontrados mas externamente. A medida que a radiação penetra mais profundamente na atmosfera, encontra uma densidade crescente de gases, e a quantidade de ionização aumenta. Penetrando além, ela produz mais e mais ionização, mas como a ionização despende energia essa radiação é totalmente dissipada até que o processo de ionização acaba. Então é formada uma região de máxima ionização, com regiões de densidades eletrônicas inferiores abaixo da mesma. Como a composição do topo da atmosfera varia conforme a altitude e como os diversos gases respondem especificamente a diferentes frequências, existe uma tendência da ionização ocorrer em diferentes camadas. Estas camadas estão entre aproximadamente entre 50 a 650 km acima da superfície da Terra. Enquanto estas regiões ionizadas são usualmente mencionadas como camadas, elas não estão completamente separadas uma da outra.



As camadas da Ionosfera e sua altitude em relação a superfície da Terra

Cada região ou camada se sobrepõem em alguma extensão formando uma contínua mas não uniforme área ionizada com ao menos 4 picos de intensidade de densidade iônica, chamadas regiões D, E, F1 e F2. Existem diferenças grandes entre os perfis das camadas de acordo com a estação do ano, devido a mudança da proximidade com o Sol e a sua posição no céu. Esta “posição” é chamada de ângulo de zênite solar. Mantidos outros fatores constantes, quanto mais alto o Sol, maior a densidade eletrônica. O uso das letras para designar as várias regiões da ionosfera foi devido ao trabalho de Edward Appleton, baseado na descoberta da camada Kenelly-Heaviside em 1924. Ele utilizou a letra E para esta camada, já que essa simbologia normalmente é usada para designar o vetor campo elétrico. Como ele mesmo previu, deixou assim muitas letras tanto acima

quanto abaixo para designar futuras descobertas. O nome ionosfera foi dado por Sir Robert Watson-Watt, um colega de Appleton no início do trabalho e um dos pioneiros do trabalho sobre o radar.

A CAMADA D

Apesar de todo o trabalho experimental a respeito da ionosfera no final dos anos 60 e nos 70, do século passado, a camada D continua ainda um pouco enigmática. Esta camada, a qual se estende de 65 a 100 km acima da superfície terrestre e somente existe durante o dia enquanto a Terra encontra-se iluminada pelo Sol. Determinar a composição química da camada D foi muito difícil utilizando as modernas técnicas experimentais. A esta altitude relativamente baixa quando comparada com as outras camadas, a pressão ainda é suficientemente “grande” para produzir uma alta frequência de colisões entre as partículas elementares constituintes da atmosfera, assim, os estudos convencionais não podem ser usados.

Portanto a química da camada D é a menos conhecida. Com respeito as comunicações via rádio a camada D é um gigantesco atenuador, absorvendo os sinais de HF que passam através. Como a atenuação varia com o inverso do quadrado da frequência, quanto maior a frequência do sinal de rádio utilizado, menor a absorção do sinal pela camada D. Após o pôr-do-sol essa camada se recombina e as baixas frequências passam a ser refletidas pelas camadas superiores. Esse é o motivo porque a noite é possível ouvir transmissões em O.M. muito distantes por meios de propagação ionosférica (a chamada onda de céu, ou no original, skywave).

A CAMADA E

O limite superior da camada D acaba se misturando com outra região distinta chamada camada E, a qual ocorre principalmente durante o dia entre 100 e 125 km. É uma fina camada de 5 a 10 km de espessura, Existem muitos tipos de mecanismos de ionização que operam a essa faixa de altitude dependendo da latitude, estação do ano, e nível de atividade solar. Acreditava-se que esta camada desaparecia durante a noite. Mas experimentos no início dos anos 80 do século passado, durante o pico do ciclo solar 21, demonstraram o contrário. A camada E não desaparece, mas de fato apresenta uma permanente mas ineficiente fonte de propagação noturna. Foi também durante essa série de medidas experimentais que foi determinado que a ionosfera é turbulenta, já que após 2 minutos, qualquer variável medida na ionosfera modifica-se de valor.

A CAMADA E ESPORÁDICA

Em adição a camada E normal da ionosfera, existem regiões ionizadas que ocorrem esporadicamente. Diferentemente das camadas normais, estas regiões esporádicas vem e vão irregularmente, e existem diversas teorias a respeito da sua causa. A altura destas regiões ou “caminhos” é variável, mas elas ocorrem na maior parte das vezes a uma altitude de 100 km. Desde que apresenta a mesma altitude da camada E, por isso são chamadas coletivamente de E esporádico.

A camada E esporádica é uma região intensamente ionizada, e muito limitada em termos de extensão. Uma “nuvem” de camada E esporádica pode ter de 80 a 170 km em diâmetro, e pode permanecer somente por algumas horas antes de dissipar. Muitas dessa “nuvens” se deslocam a velocidade de centenas de quilômetros por hora. A causa da ionização da camada E esporádica não é ainda totalmente entendida. É sabido que meteoros se desintegram nas altitudes da camada E e que os íons metálicos residuais criam “caminhos” de alta ionização. Este pode ser um fator envolvido no surgimento de E esporádico.

Em regiões equatoriais o E esporádico é um fenômeno diurno, e provavelmente é causado pela instabilidade no plasma causada pelo jato eletrônico equatorial (convém mencionar que existem correntes de convecção de altíssimas velocidades associadas a altas altitudes). As altas velocidades encontradas aqui podem criar densos “caminhos”. Ao redor do equador geomagnético o E esporádico pode permanecer por 90% das horas do dia.

A CAMADA F, OU MELHOR, AS CAMADAS F_s

As camadas F_s são as mais importantes regiões da ionosfera e com elas as comunicações de ondas curtas em alta distância estão relacionadas. Durante as horas do dia existem duas regiões bem definidas, a camada F1 e a camada F2. Em um dia de inverno a camada F1 começa um pouco acima do limite superior da camada E (150 km) e se estende até cerca de 250 km. Durante o dia de verão a camada F1 é encontrada em altitudes maiores. A camada F2 varia de 350 km durante o inverno e pode chegar a 500 km durante o verão. A maioria das transmissões em onda curta são acompanhadas através da camada F2.

A evidência experimental indica que a camada F1 desaparece durante a noite. Já durante o dia é essa camada que suporta transmissões de curto a médio alcance. A camada F1 se comporta de forma semelhante a camada E. Diferentemente de todas as outras camadas a camada F2 existe independente de ser dia ou noite e é sempre capaz de sustentar propagação em alguma frequência. É a mais importante das camadas e é o seu comportamento que é predito pela maioria dos programas de computador que fazem predição de condições de propagação, como o MINIMUF, por exemplo.

ACIMA DA REGIÃO F

Aproximadamente 95% dos átomos e moléculas que formam a ionosfera estão contidos abaixo dos 1000 km de altitude. Medidas utilizando satélites indicam que a densidade eletrônica entre 650 e 1000 km é muito pequena e que tem pouca importância para transmissões em ondas curtas ou radioamadores.

Dica de site a respeito do assunto:

Quem tiver interesse em acompanhar uma animação a respeito do fenômeno da propagação, e tiver o FLASH da MACROMEDIA instalado no seu computador, deve acessar: <http://www.ae4rv.com/tn/propflash.htm>

Graças à existência da dependência da ionosfera com a radiação solar, é evidente que mudanças na posição relativa entre Terra e Sol (rotação e translação), bem como mudanças nos padrões de radiação solar, irão influenciar como a ionosfera se comporta.

As variações “típicas”, e que podem ser relativamente preditas e antecipadas classificam-se nas seguintes categorias:

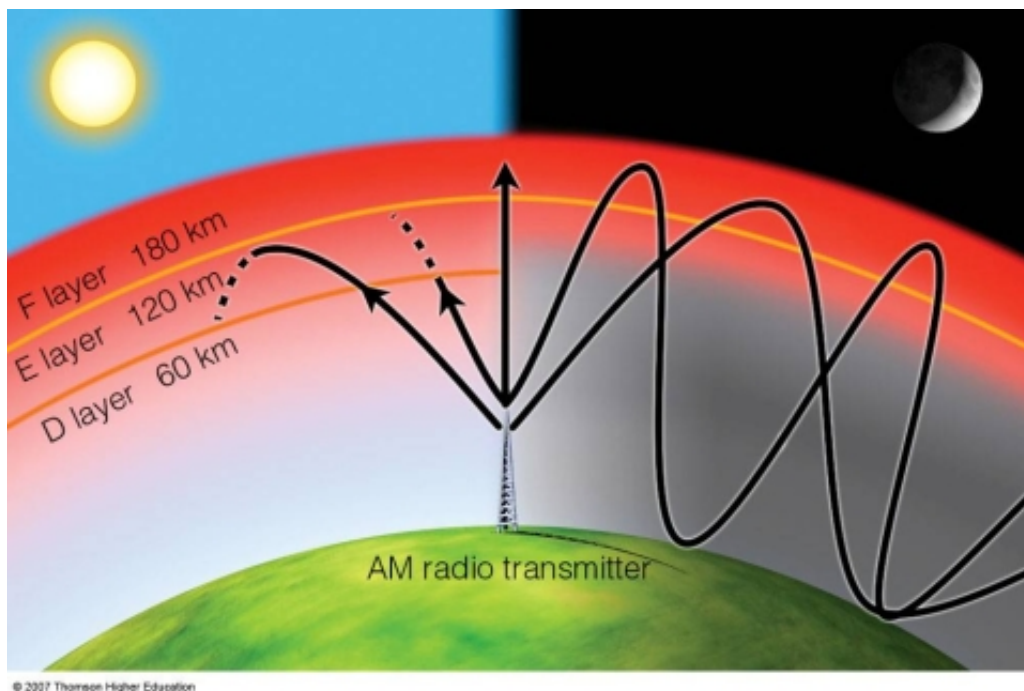
- 1 - Dia e Noite
- 2 - Sazonal (estação do ano)
- 3 - Geográfica
- 4 - Cíclica

VARIAÇÃO DIA E NOITE

A variação durante um dia, ou seja, as mudanças de hora a hora nas várias camadas da atmosfera, são causadas pela rotação da Terra ao redor do próprio eixo. Esta rotação não é somente responsável pelas variações na quantidade de luz solar alcançado a Terra, resultando em dia ou noite, mas também pela correspondente variação na intensidade da radiação ultravioleta que alcança a ionosfera em qualquer ponto. Durante as horas diurnas, quando a radiação ultravioleta alcança a atmosfera superior terrestre, a ionosfera pode tornar-se altamente ionizada com a separação em camadas; durante as horas de escuridão muito pouca radiação alcança a atmosfera superior no lado terrestre distante do Sol, logo a ionosfera perde densidade eletrônica e forma-se uma relativamente fraca e única camada. Como já mencionado, as variações diurnas nas camadas D, E e F1 apresentam um padrão regular que principalmente depende da elevação solar (ou seja, o ângulo de zênite solar). A ionização destas camadas aumenta a partir de níveis muito baixos a partir do nascer do sol, alcança o máximo à tarde, e então decresce até o pôr-do-sol.

A ionização na região F2 aumenta rapidamente ao nascer do sol. A máxima ionização é alcançada quando o Sol alcança seu zênite, ou o ponto mais alto no céu. A ionização então decresce, alcançando valores baixos durante a noite. A menor densidade eletrônica é encontrada logo antes do sol nascer e a queda observada na frequência crítica é chamada depressão pré-nascer-do-sol.

Mas o que é frequência crítica ? A frequência crítica é a frequência mais alta a partir da qual um eco é recebido quando um pulso de rádio é enviado verticalmente para a ionosfera. Mais adiante mostraremos que existe uma relação direta entre as frequências usadas para comunicação entre dois pontos quaisquer (propagação oblíqua, quando comparada com a transmissão do pulso vertical) e a frequência crítica. A camada F2 é a mais altamente ionizada das camadas normais com a característica de suportar a propagação em frequências muito altas. Além disso, devido à lenta taxa de recombinação, ela permanece forte muitas horas depois do por do sol. Por esses motivos, a camada F2 é a mais importante para comunicações de longa distância em onda curta.



A estrutura básica da Ionosfera e suas camadas e a interação com as ondas de rádio emitidas por um transmissor

VARIAÇÃO SAZONAL

Devido ao fato da posição de qualquer ponto na Terra modificar sua posição com relação ao Sol, a medida em que a Terra move-se em sua órbita ao redor Sol, então as propriedades da ionosfera também se modificam. Ionização da camada E comporta-se de maneira regular,

sendo quase que totalmente dependente do ângulo do zênite solar. A ionização é muito mais forte no verão devido ao Sol estar mais “alto” no céu. Durante todos os meses de inverno a frequência crítica da camada F1 varia de maneira semelhante a da camada E, dependendo da elevação Solar. Durante o inverno, a camada F1 se “funde” com a camada F2, e não pode ser identificada de forma separada, exceto nas regiões equatoriais.

O comportamento da camada F2 é mais complicado. Durante os meses de inverno no hemisfério norte, a atmosfera está mais fria, mas a Terra está mais próxima do Sol, e a ionização diurna é muito intensa; então as frequências críticas são altas. Durante as longas horas de escuridão do inverno, por outro lado, a ionosfera tem mais tempo para perder sua carga elétrica, e as frequências críticas descem para valores muito baixos.

No verão um efeito de aquecimento ocorre na camada F2, causando a expansão durante as horas diurnas e resultando em uma densidade de ionização mais que a observada durante o inverno. Em resultado, as frequências críticas são menores que os valores de inverno. Por outro lado, graças as longos períodos diurnos do verão, a recombinação não ocorre na mesma extensão que ocorre no inverno. Em resultado, as frequências críticas noturnas da camada F2 são maiores do que aquelas observadas durante os meses de inverno. A variação entre as frequências críticas diurna e noturna, durante o verão, são menores do que durante o inverno.

VARIAÇÃO GEOGRÁFICA

A intensidade de radiação ionizante que chega até a ionosfera varia conforme a latitude, sendo consideravelmente maior em regiões equatoriais, onde o Sol está mais diretamente perpendicular do que em latitudes altas. Frequências críticas para as regiões E e F1 variam diretamente com a elevação solar, sendo altas em regiões equatoriais e decrescendo proporcionalmente para norte e sul com a latitude. As variações da camada F2 com a latitude são mais complexas. Isto ocorre provavelmente devido à ionização de outras fontes. Existem evidências de que o campo magnético terrestre exerce uma importante influência. No grau de ionização da camada F2.

Apesar de complexa, a frequência crítica da camada F2 segue um padrão geral de começar alta em regiões equatoriais e diminuir conforme o aumento da latitude.

Apesar de não ser complexa quanto à variação de latitude, a ionização da camada F2 também difere ao longo dos meridianos (com a longitude) ao

longo do mesmo tempo local e ao longo da mesma latitude. Muito dessa variação é creditada a influência do campo magnético terrestre. As frequências críticas são geralmente maiores na região Asiática e Australásia que aquela da Europa, África e hemisfério ocidental.

VARIAÇÃO CÍCLICA

Se fossem somente as variações diurnas e sazonais os fatores que influenciam o comportamento ionosférico, o padrão de frequência crítico em longo prazo seria bem determinado, com valores sazonais repetindo-se de ano para ano na mesma localização geográfica. Infelizmente, isso não ocorre. Há também uma variação cíclica, de aproximadamente 11 anos de duração, que é o fator mais importante a afetar a ionosfera. Esta variação depende do nível de atividade das manchas solares, a qual está constantemente variando, durante o transcorrer do ciclo de 11 anos. Futuramente avaliaremos exclusivamente essa influência.

No “episódio” de hoje, definiremos frequência crítica, clássica MUF e simplesmente MUF.

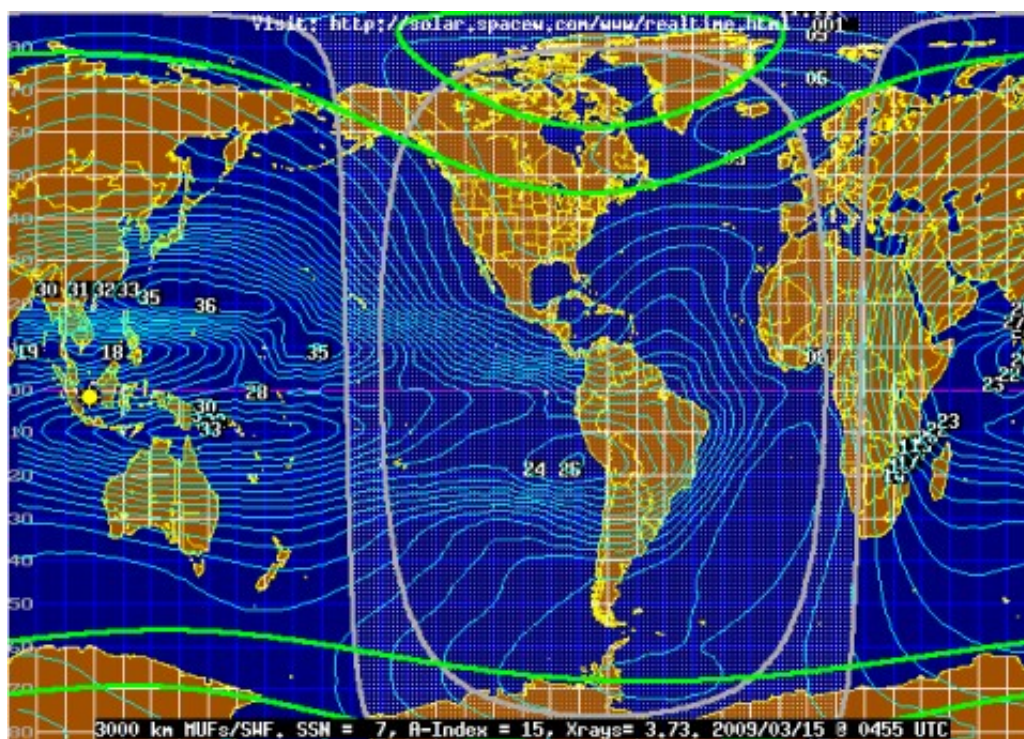


Tabela de MUF gerada quase em tempo real

OTIMIZANDO COMUNICAÇÕES EM HF

Uma ampla faixa de frequências de ondas curtas quando transmitidas verticalmente irão retornar para a Terra através da ionosfera. A frequência mais alta que retorna para cada camada da ionosfera é

chamada frequência crítica daquela camada. Mas para transmitir um sinal a longas distâncias, como requerido nas comunicações via rádio, a onda de rádio deve deixar a antena transmissora em um ângulo tal que a onda alcance a ionosfera de maneira oblíqua. O ângulo de radiação apropriado, bem como a frequência ótima para ser usada sob um determinado caminho, depende de muitos fatores, incluindo a altura da camada refletora, a extensão na qual a mesma está eletrificada e a distância entre os locais de transmissão e recepção. Além disso, existe a relação entre essa frequência ótima e a frequência crítica. O conhecimento das relações existentes entre a frequência crítica, altura de camada, ângulo de radiação, comprimento do caminho, etc, são fundamentais para entender os princípios das comunicações em longas distâncias através de ondas curtas.

RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS

Para começar, existe uma relação trigonométrica simples entre as frequências críticas medidas verticalmente, a altura da ionosfera na qual a reflexão ocorre, e o ângulo ótimo de radiação e a frequência requerida para uma transmissão de longa distância. Esta relação é expressa pela equação: $F = f_0 \cdot \sec a$ (eq. 1) na qual: f é a frequência de sinal equivalente para transmissão oblíqua; f_0 é a frequência crítica a é o ângulo de radiação para a transmissão oblíqua.

Usando a geometria é possível obter uma equação que permite uma solução mais direta para a frequência ótima requerida para transmissões de longa distância:

$$f = f_0 \cdot \left((D^2/4h^2) + 1 \right)^{1/2} \text{ (eq. 2)}$$

na qual f é a frequência ótima de transmissão para a distância de transmissão D f_0 é a frequência crítica h é a altura da camada onde a reflexão ionosférica ocorre (D e h devem estar na mesma unidade de medida, quilômetros, por exemplo).

As equações acima são importantes por que dadas à frequência crítica e a altura da ionosfera, e conhecendo a distância entre os locais de transmissão e recepção, é possível determinar a frequência mais alta que a ionosfera irá suportar ao longo deste caminho de transmissão. Esta frequência, f nas equações 1 e 2 é chamada de frequência máxima observável (MOF) ou a clássica frequência máxima utilizável (maximum usable frequency, MUF em inglês).

Chamaremos nesse texto esse valor de “clássica MUF”. É IMPORTANTE não confundir os valores desse valor de MUF com os valores de MUF

produzidos a partir de programas computacionais de predição, os quais são valores médios de MUF calculados a partir de dados de longos períodos de tempo. Voltaremos a discutir bastante esse assunto. Para uma onda de rádio ser refletida entre dois pontos distantes via ionosfera a sua frequência deve ser igual ou menor que a clássica MUF.

Quando a frequência de operação excede o valor da clássica MUF, a ionização no ponto onde o sinal refletiria de volta à Terra não é suficiente para refletir o sinal, e o mesmo é perdido para o espaço.

CÁLCULO DA MÁXIMA FREQUÊNCIA UTILIZÁVEL (MUF)

Devido ao fato da clássica MUF ser relacionada diretamente a frequência crítica, seu valor é função da intensidade da ionização da atmosfera superior terrestre. Para um dado percurso de transmissão, a clássica MUF segue as mesmas variações da frequência crítica, de acordo com o período do dia, estação, posição geográfica e variações cíclicas. Durante os períodos de alta atividade solar os valores de clássica MUF são aproximadamente DUAS vezes superiores aqueles de períodos de baixa atividade solar. Você já deve ter notado que no cálculo do valor da clássica MUF não entra a potência de irradiação.

A ionosfera apresenta densidade eletrônica suficiente para refletir o sinal de volta para a Terra, ou o sinal é perdido para o espaço. Esse fato depende somente da frequência em questão e da densidade eletrônica da ionosfera. Esta situação se aplica para a propagação “normal” de ondas curtas, mas não se aplica ao caso de reflexões dispersas (“scatter”) que podem ocorrer em condições anormais, ou quando a potência de transmissão é da ordem de centenas de kilowatts. Nestes dois casos a potência de transmissão entrará no cálculo da clássica MUF.

A clássica MUF é uma grandeza muito importante em radio comunicações, mas é extremamente difícil de prever. No entanto, métodos relativamente simples foram desenvolvidos para prever um valor médio.

É este valor que é mencionado simplesmente como MUF (maximum usable frequency). Gráficos de contorno contendo valores para todo o mundo de frequências críticas preditas para a camada F2 (usando a simbologia f_oF_2), contém os valores preditos de MUF calculados para a distância padronizada de 4000 km.

No próximo “episódio”, explicaremos de que maneira a ionização de determinada camada da ionosfera pode ser prejudicial à propagação de ondas de rádio.

ABSORÇÃO IONOSFÉRICA

Até o momento mencionamos as características da ionosfera como um refletor de ondas de rádio. A ionização, no entanto, não somente causa que uma onda de rádio seja refletida, mas também pode causar a absorção da mesma. É a absorção ionosférica uma das principais razões para a força de um sinal de rádio se reduzido ao passar através da ionosfera, primariamente pela região D.

Quando uma onda de rádio passa através da camada D, parte da energia é transferida para os elétrons que existem nessa região eletrificada. Esses elétrons movimentam-se vibrando em "ritmo" (na mesma frequência) que a onda de rádio, à medida que a mesma ultrapassa a região ionizada, chocando-se com as moléculas gasosas muito maiores, ainda presentes na altitude da camada D. Como resultados dessas colisões, os elétrons perdem parte da energia transferida pela onda de rádio. De fato essa energia perdida não é propagada, e a quantidade de energia da onda de rádio que emerge da ionosfera é menor que aquela que entrou na camada D, resultando no decréscimo de potência do sinal. Simplesmente falando a camada D age como uma "esponja de RF" nas frequências de ondas curtas. Tecnicamente também ocorrem perdas na camada F, mas essas são bem menores e desprezíveis comparadas a passagem dupla para cada salto através da camada D.

Exatamente quando dessa energia é perdida pela onda de rádio passando através da camada D depende do número de colisões por segundo entre os elétrons e as moléculas de gases. Esta quantidade, por sua vez, depende da frequência das ondas de rádio e das moléculas presentes. À medida que a frequência aumenta, o comprimento de onda decresce, e o número de colisões entre os elétrons e as moléculas de gás também decresce. Quanto mais alta a frequência, menor a absorção.

A quantidade de absorção ionosférica varia inversamente com o quadrado da frequência do sinal. Se a frequência do sinal é dobrada, a absorção ionosférica cai 4 vezes. Por exemplo, a absorção na faixa dos 27-30 MHz (faixa de 10 m de radioamadores, 11 m faixa cidadão) é um quarto da absorção encontrada nos 14 MHz (banda dos 20 m). Quando ambas as faixas estão "abertas" ao mesmo tempo, será necessária muito mais potência para operar em 20 m com igual efetividade que observada numa transmissão nos 10 m. Como a clássica MUF é a frequência mais alta que pode ser usada em um dado horário e um dado caminho de transmissão, e como a absorção ionosférica decresce rapidamente com o aumento da frequência, este tipo de absorção é mínima próximo ao valor de clássica MUF. A absorção ionosférica depende da intensidade de

ionização da camada D. Esse nível de ionização varia conforme o horário do dia, com a estação do ano, com a posição geográfica, sendo proporcional ao ângulo de zênite solar. Quanto mais alto o sol no céu, maior a absorção. A absorção é muito mais intensa em regiões equatoriais, do que em latitudes temperadas, e é geralmente maior durante o verão do que no inverno.

O melhor exemplo de absorção pode ser encontrado em transmissões na região das ondas médias. Esses sinais propagação por ondas de superfície (mais conhecidas como "ground waves", ou ondas de solo). Mas durante o inverno, à noite, esses sinais propagam-se via ionosfera devido ao fato da absorção cair muito. Esse é o fato por que estações de ondas médias são ouvidos a milhares de quilômetros de sua fonte, durante as horas noturnas de inverno. Um exemplo disso é a R. Globo do Rio ser ouvida na Europa, a uma distância em torno de 9.500 km. Como é de se esperar a absorção das ondas de rádio pela camada D também é influenciada pelo ciclo solar. Durante os anos de baixa contagem de manchas solares, quando a ionização diminui, a absorção atmosférica também é mínima.

Medidas de sinal feitas durante ciclos solares anteriores mostram que durante as horas diurnas, a absorção ionosférica na frequência de 20 MHz é aproximadamente 25% menor em períodos de baixa atividade solar do que em períodos de alta atividade solar. A diferença em 10 MHz é próxima a 50% e em 5 MHz é de 75%. Durante as horas de escuridão, quando a absorção ionosférica normalmente cai a valores muito baixos, existe uma redução entre 25 a 50% à medida que o ciclo solar declina do máximo até o mínimo de atividade, com reduções maiores tendo lugar em frequências menores. Uma absorção menor significa sinais mais fortes. Assim, a intensidade dos sinais de rádio, refletidos pela ionosfera durante os anos de baixa atividade solar, é maior que durante os anos de alta atividade solar, particularmente nas faixas de radioamadores de 40, 80 e 160 m, e nas correspondentes bandas de radiodifusão.

MENOR FREQUÊNCIA UTILIZÁVEL (LUF, LOWEST USABLE FREQUENCY)

A LUF, menor frequência utilizável, é a menor frequência que pode ser utilizada para comunicações satisfatórias para um dado caminho de transmissão em um determinado horário. A LUF é definida como a frequência na qual a intensidade do sinal recebido é igual à mínima intensidade de sinal necessária para uma recepção satisfatória. A intensidade do sinal recebido depende da potência do transmissor, do ganho e da diretividade das antenas de transmissão e de recepção, da distância do percurso e das perdas por absorção. De fato, a LUF é indicada

através de uma relação entre sinal e ruído. Ou seja, a mínima intensidade de sinal requerido para uma recepção satisfatória depende do nível de ruído do local de recepção e do tipo de modulação utilizada.

Ruído atmosférico ou estático, é geralmente o tipo predominante de ruído que o sinal deve sobrepujar. Para uma recepção satisfatória de um sinal de CW (código Morse) é requerida uma relação entre sinal e ruído de cerca de 3:1; um sinal de voz em SSB (single side band, banda lateral única) com uma largura de banda de 3kHz, necessita de uma relação sinal/ruído de 7:1; e uma transmissão em qualidade voz em DSB (double side band, banda lateral dupla) com uma largura de banda de 6 kHz requer uma relação entre sinal/ruído de no mínimo 15:1. Em frequências abaixo da LUF, a recepção satisfatória não será possível devido ao sinal recebido ser perdido em meio ao ruído que prevalece. Quando a frequência de operação aumenta acima da LUF, a relação entre sinal e ruído aumenta.

Ótimas condições ocorrem próximo à MUF clássica, onde tanto a relação sinal-ruído e a propagação são máximas. Diferentemente da MUF, a qual dependente inteiramente das características atmosféricas, a LUF pode ser controlada em algum grau por ajustes na potência efetiva de transmissão ou por mudanças na modulação utilizada. Além disso, novas técnicas de processamento digitais de sinais (DSP) têm a capacidade de "reduzir" a LUF. Como a absorção ionosférica aumenta quando a atividade solar aumenta, espera-se que a LUF para um caminho particular seja maior durante um período de alta atividade solar do que durante um período de baixa atividade inferior. No próximo "episódio", conversaremos bastante sobre o SOL e suas influências na propagação em HF.

PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS E SEUS EFEITOS NA PROPAGAÇÃO DAS ONDAS CURTAS

Um dos desafios em usar um rádio de ondas curtas, tanto como experimentador, comunicador ou ouvinte, é lidar com as contínuas variações nas condições de propagação. Mesmo quando as condições solares estão não perturbadas, a variabilidade da ionosfera é suficiente para causar mudanças nas condições diárias do sinal. Estas mudanças são causadas pelas variações na absorção, mudanças na densidade eletrônica da ionosfera e turbulências na atmosfera superior. No entanto, de tempos em tempos, anormalidades ocorrem na ionosfera que fazem a transmissão e recepção dos sinais de rádio excepcionalmente difíceis, se não impossíveis. Estas anormalidades são chamadas de "perturbações ionosféricas".

As perturbações ionosféricas são caracterizadas pelo aumento da ionização da camada D, resultando em absorção do sinal de ondas curtas; ou por enfraquecimento ou decomposição da ionização da camada F2, ou ambas as condições. A fonte primária dessas perturbações ionosféricas é a radiação proveniente de "flares", literalmente labaredas solares, naquelas regiões ao redor de manchas solares. Por anos foi dito que as perturbações ionosféricas eram única e exclusivamente causadas pelos "flares" solares. Com a moderna tecnologia, no entanto, é sabido que nuvens de partículas de baixa energia não relacionadas com "flares" são emitidas pelo sol.

Estes eventos incluem (1) ventos solares de alta velocidade (HSSWS, high speed solar wind system), os quais emitem correntes de partículas a partir de manchas na coroa solar; (2) ejeções de massa da coroa solar, as quais são "teorizadas" como "flares" que não tem brilho ótico, mas que tem potência suficiente para ejetar partículas de baixa energia, e (3) filamentos "desaparecidos", correntes gasosas solares mais frias, que desaparecem e são seguidas de perturbações no campo magnético terrestre.

De longe os "flares" solares propiciam os eventos de mais profundo impacto no campo magnético terrestre e na ionosfera. Mas é a sobreposição de todos os fatores acima mencionados que influenciam o dia-a-dia das condições de propagação. Ocasionalmente, uma região ativa (uma área brilhante ao redor de uma mancha solar) entrará em "erupção", ocorrendo um "flare" solar. Esse "flare" é uma emissão de plasma em formato de "labareda" na qual o hidrogênio ionizado (prótons) quente é emitido a uma velocidade de 200 km/s juntamente com radiação. Em casos extremos, quando a velocidade alcança 700 km/s, a velocidade de escape do Sol, a nuvem de plasma vai para o espaço interplanetário. Quando isso ocorre, efeitos drásticos são observados na Terra.

PERTURBAÇÕES RELACIONADAS COM "FLARES" SOLARES (CAUSAS E EFEITOS)

Geralmente, o efeito da perturbação ionosférica nas bandas de HF é enfraquecer os níveis de sinal abruptamente ou gradualmente, às vezes a ponto do sinal (e também o ruído atmosférico) desaparecer completamente. O efeito pode ser bem pronunciado, e quando o ruído é muito reduzido, alguém pode achar que seu receptor está defeituoso. Por outro lado, certas perturbações podem causar variações rápidas, erráticas, fading, ecos ou o efeito de "cabeça no barril", e um grande aumento no nível de ruído em porções do espectro de HF. Três tipos de radiação produzidos por "flares" solares afetam a propagação de ondas

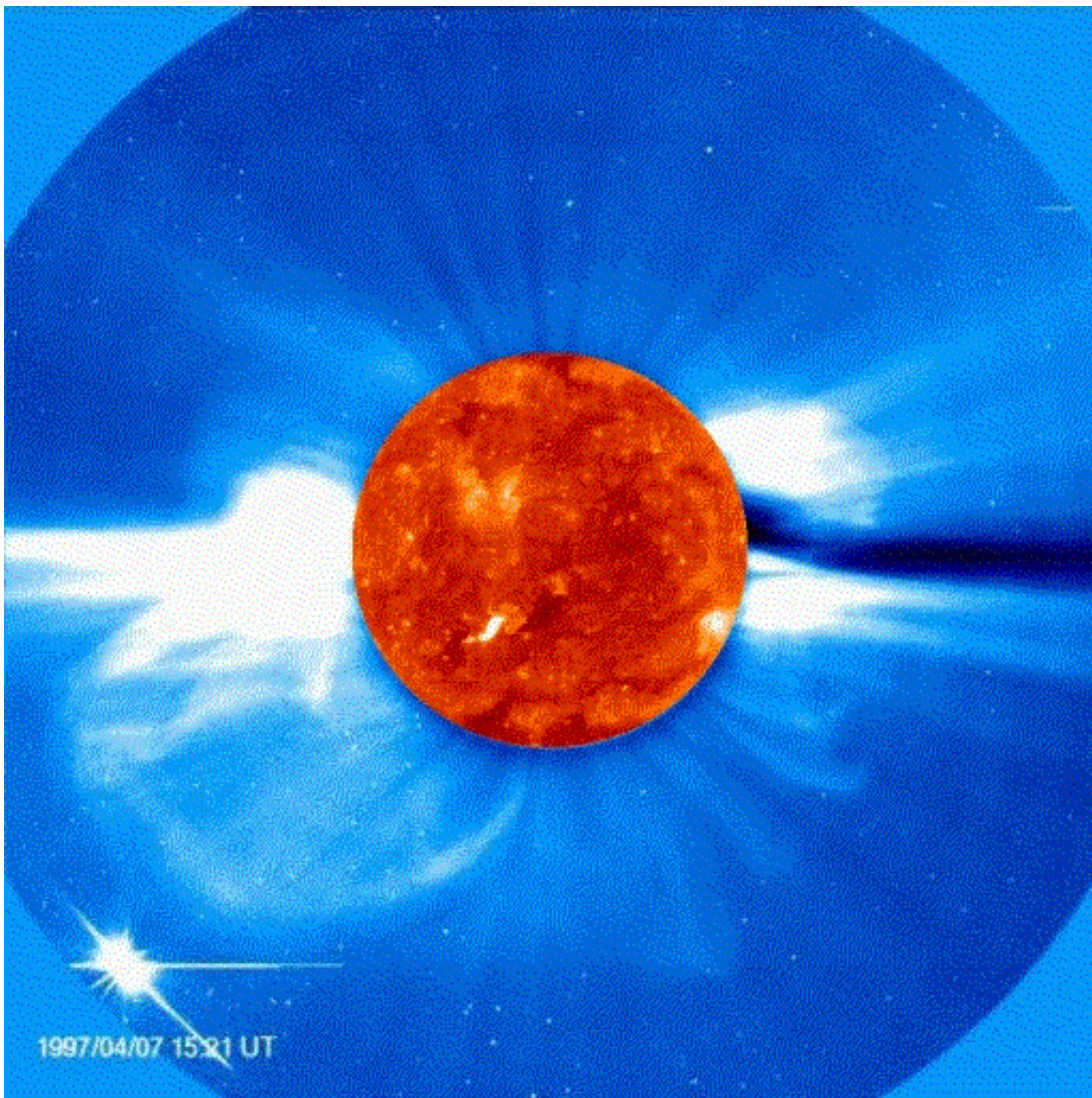
curtas. Estas são: radiação eletromagnética, radiação cósmica de partículas solares de alta energia, e radiação de partículas de baixa energia. Cada uma afeta a ionosfera de forma diferente, e todas dificultam o serviço de ondas curtas.

FLARES SOLARES E SEUS "PRODUTOS" RADIOATIVOS

Campos magnéticos muito intensos, cuja frequência de ocorrência segue a evolução do chamado ciclo solar, surgem entre um par de manchas solares. Estes campos magnéticos permanecem abaixo da superfície solar, mas eles podem tornar-se tão grandes que pode emergir da superfície solar, estendendo-se em grandes círculos de até 35000 milhas acima da superfície solar. À medida que o campo magnético desenvolve-se e torna-se mais e mais complexo, a área ao redor da mancha solar é aquecida. Isto aumenta o nível de radiação solar emitida e aumenta mais ainda a volatilidade do campo magnético. À medida que o par de manchas solares aumenta, maior será o flare produzido. No entanto, a moderna tecnologia não pode prever exatamente quando um flare ocorrerá ou qual sua magnitude.

Existe uma teoria que determina que grupos de manchas solares tornam-se mais complicadas e suas interações entre seus campos magnéticos aumenta, dois campos de polaridade cruzada saltam, causando uma descarga elétrica no plasma muito denso solar e quebrando as linhas do campo magnético. Seria mais ou menos como quando um balão é cheio até o ponto de estourar e então é furado com um alfinete. No primeiro minuto após a ruptura, uma nuvem de prótons de altíssima energia é ejetada a cerca de 1/3 da velocidade da luz. Simultaneamente radiação eletromagnética é emitida. Após 5 minutos de uma nuvem de partículas de baixa energia é ejetada, viajando a uma velocidade de cerca de 1000 km/s. Em uma hora, no entanto, os campos magnéticos se reconectam às suas devidas manchas solares e o nível de radiação da região decresce.

Um "flare" solar realmente grande pode produzir energia para suprir uma grande cidade por 200 milhões de anos, sendo que a maior parte dessa liberação brutal de energia ocorre nos 5 primeiros minutos.



Explosão Solar - "Flare"

É óbvio que em períodos de maior atividade solar, onde o número de manchas solares é maior, o número de "flares" é maior. Não só a ionosfera estará mais ionizada, mas também serão mais comuns as perturbações ionosféricas.

PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS SÚBITAS, SID (SUDDEN IONOSPHERIC DISTURBANCES)

A perturbação ionosférica súbita (SID), é também chamada de enfraquecimento de ondas curtas, ou efeito Dellenger (nome dado em homenagem ao Dr. John H. Dellenger, um pioneiro americano na pesquisa sobre propagação de ondas de rádio, e que foi o primeiro a identificar este tipo de perturbação). A SID somente afeta percursos de HF no hemisfério iluminado. Dependendo da intensidade do "flare", e da relação angular entre o Sol e a Terra, o efeito da SID na propagação em HF pode variar de nada até o "blecaute" total. Como a radiação eletromagnética produzida por um "flare" viaja a velocidade da luz, o efeito do "flare" na

Terra ocorre cerca de 8 minutos após ter ocorrido.

A camada D da ionosfera cresce abruptamente pela radiação dos raios-X, causando um aumento imediato da absorção de HF. O ângulo de zênite solar influencia a quantidade de radiação. Então um caminho de HF tendo o ponto de controle ionosférico (à parte da ionosfera responsável pela reflexão do sinal) no meio dia solar irá experimentar um "blecaute" mais forte e mais prolongado, que um outro caminho de transmissão onde o ponto de controle ionosférico esteja pela manhã ou à tarde. Caminhos de transmissão na metade noite da Terra não sofrerão esse efeito. Existe um grande número de características desse tipo de perturbação. Lembrando que a absorção é função do inverso do quadrado da frequência, o aumento de ionização da camada D afeta frequências na parte inferior do espectro de HF primeiramente. Por exemplo, as bandas de 80 e 40 metros. Sinais de alta frequência são afetados posteriormente, e também são os primeiros a recuperar-se após o efeito do "flare" diminuir.

Em regiões equatoriais os SIDs são usualmente mais intensos. Percursos de transmissão transequatorial, cujo ponto de controle ionosférico é próximo ao equador irão sofrer abruptos e totais "blecautes". SIDs duram em média de 1 a 2 horas. No entanto, durante o máximo de atividade solar, podem ocorrer "flares monstruosos", como em agosto de 72 ou em setembro de 89 que irão bloquear as transmissões no hemisfério iluminado por grande parte de um dia. O dia em que a ionosfera desapareceu. Um dos grandes SIDs já registrados ocorreu durante o ciclo 20, em 7 de agosto de 1972. Estavam sendo feitas medidas de ionosfera durante o início da tarde pelo observatório astro geofísico La Posta, da Califórnia. Abruptamente todos os traços da ionosfera desapareceram da tela do osciloscópio. Após checar o equipamento, e tendo visto o efeito de SIDs anteriormente, os cientistas esperaram pacientemente pelo fim da tarde para o retorno da ionosfera.

O que aconteceu é que os raios-X provenientes de um gigantesco "flare" solar atingiu a camada D, aumentando sua ionização, e fazendo com que todos os sinais de HF fossem absorvidos, na região oriental do oceano Pacífico.

Registros da marinha americana comprovam que as comunicações entre as estações na área desapareceram totalmente.

[* Artigo publicado no Boletim @atividade DX produzido pelo DX Clube do Brasil](#)

**Retorna
para o**



Guia de Navegação



Sítio dedicado ao Rádio de Ondas Curtas e a prática DX - **Navegue nas Ondas Curtas do Rádio**

> [Envie seus comentários](#) > [Procure neste sítio](#)

Copyright © 2002 Sarmento Campos. Todos os direitos reservados.

1.407,521

Acessos desde 2002