



"Fundamentos das Ondas de Rádio

O rádio pertence à família de radiação eletromagnética que inclui o infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X, raios gama e cósmicos. O rádio possui o comprimento de onda mais longo do grupo, e a frequência mais baixa. As ondas eletromagnéticas resultam da interação entre um campo elétrico e um campo magnético. Uma Carga elétrica que oscile num condutor cria um campo elétrico e o correspondente campo magnético. O campo magnético por sua vez cria um campo elétrico, que cria outro campo magnético, e por aí fora. Estes dois campos interagem criando uma onda eletromagnética, que se propaga no espaço. Os componentes elétrico e magnético fazem entre si um ângulo reto, e 90° em relação à direção de propagação. A polarização de uma onda de rádio é geralmente a mesma do seu campo elétrico.

Velocidade

As ondas de rádio, tal como todas as outras formas de radiação eletromagnética, propagam-se aproximadamente a 300.000 km por segundo no vácuo. As ondas de rádio propagam-se mais lentamente através de qualquer outro meio. A diminuição da velocidade na atmosfera é tão ligeira que é geralmente ignorada, mas por vezes até esta pequena diferença é significativa. Por sua vez a velocidade de propagação num condutor, é cerca de 95% da velocidade no vácuo.

A velocidade de uma onda de rádio é sempre o produto do comprimento de onda pela frequência, qualquer que seja o meio. A relação pode ser resumida por: $c = f \cdot l$, onde:

c = velocidade em metros/segundo

f = frequência em Hertz

l = comprimento de onda em metros

O comprimento de onda (l) de qualquer frequência de rádio pode ser determinada por esta fórmula. No vácuo, onde a velocidade é de 300 000 000m/s, o comprimento de onda de um sinal de rádio com a frequência de 30Mhz é de 10 metros. Noutros meios de propagação o comprimento de onda diminui porque a velocidade de propagação é menor. Num fio condutor, o comprimento de onda de um sinal de 30Mhz diminui para 9,5m. Este fator deve ser tomado em consideração no desenho de antenas e outras aplicações.

Atenuação e Absorção

As ondas de rádio enfraquecem à medida que se propagam, seja no quase vazio do cosmos ou na atmosfera terrestre. A atenuação no vácuo resulta da dispersão da energia a partir da fonte.

A atenuação cresce rapidamente porque o sinal diminui na razão do quadrado da distância. Se a distância entre o emissor e o receptor aumentar de 1 km para 10 km, o sinal diminuirá para um centésimo da intensidade. A atenuação por dispersão é um fator importante na intensidade do sinal, mas os sinais de rádio sofrem outros tipos de atenuação.

Energia é perdida por absorção quando as ondas de rádio atravessam outros meios que não o vácuo. As ondas de rádio propagam-se através da atmosfera ou materiais sólidos (como um fio condutor) excitando elétrons, que irão radiar energia na mesma frequência. Este processo não é perfeitamente eficiente, pois alguma energia é transformada em calor e retida no meio. A quantidade de energia perdida desta forma depende das características do meio e da frequência. A atenuação na atmosfera é desprezível dos 10MHz aos 3 GHz, mas, nas frequências mais elevadas, a absorção devida ao vapor de água e oxigênio podem ser elevadas. A energia das ondas eletromagnéticas também são perdidas durante a refração, difração e reflexão, fenômenos que permitem comunicar a longa distância. De fato, qualquer forma útil de propagação é acompanhada de atenuação.

Refração

As ondas eletromagnéticas propagam-se em linha reta até serem defletidas por algo. As ondas de rádio são ligeiramente refratadas, ou dobradas, quando passam de um meio para outro. Neste aspecto as ondas de rádio comportam-se da mesma maneira que outras formas de radiação eletromagnética. A dobra aparente de um lápis parcialmente imerso em água demonstra este princípio.

A refração é causada pela mudança de velocidade da onda quando atravessa a fronteira entre um meio de propagação e o seguinte. Se esta transição é feita num ângulo diferente de 90° , uma parte da frente da onda acelera (ou retarda) antes da outra, dobrando a onda ligeiramente.

As ondas de rádio são refratadas ao passar obliquamente de um meio para outro. As linhas representam as cristas de uma frente de onda, sendo a distância entre linhas o comprimento de onda. A direção da onda muda porque um dos extremos da frente de onda desacelera antes da outra, quando atravessa a fronteira entre os dois meios. O comprimento de onda é encurtado, mas a frequência mantém-se constante.

O grau de refração é diretamente proporcional à diferença entre os índices de refração dos meios. O índice de refração não é mais do que a velocidade de uma onda de rádio no vácuo dividida pela velocidade no meio em questão.

As ondas de rádio são geralmente refratadas quando atravessam diferentes camadas da atmosfera, seja a ionosfera a 100 ou mais quilômetros de altitude, ou as camadas inferiores da atmosfera. Quando a relação entre os índices de refração é suficientemente grande, as ondas de rádio podem ser refletidas, tal como a luz num espelho. A Terra é um refletor com perdas elevadas, mas uma superfície de metal funciona bem se possuir alguns comprimentos de onda de diâmetro.

Dispersão

A direção das ondas de rádio também pode ser alterada por dispersão. O efeito observado num feixe de luz que tenta atravessar o nevoeiro é um bom exemplo da dispersão de uma onda luminosa. Mesmo numa noite límpida, o cone de luz de um farol é visível devido a uma pequena quantidade de dispersão atmosférica perpendicular ao feixe luminoso. As ondas de rádio dispersam-se da mesma forma quando encontram objetos dispostos de forma aleatória, de dimensão igual ou menor ao comprimento de onda, como massas de elétrons, ou gotículas de água.

Quando a densidade dos objetos dispersantes se torna suficientemente grande, comportam-se mais como um meio de propagação com um índice de refração característico.

Reflexão

Tratando-se de frequências acima de 30 MHz, reflexões causadas grandes objetos, como edifícios, aviões e montanhas podem proporcionar um meio de aumentar o alcance para lá da linha do horizonte em várias centenas de quilômetros

Duas estações necessitam apenas de apontar as antenas para um refletor comum, seja ele estacionário ou móvel. Contrariamente ao que o senso comum dita, a melhor posição para um refletor não é a meio caminho entre as duas estações. A intensidade do sinal aumenta à medida que o refletor se aproxima de um dos extremos do percurso, fazendo com que os refletores mais eficientes estejam próximos de uma das duas estações.

O alcance máximo está limitado pela distância de linha de vista (rádio) das duas estações para o refletor e pelas forma e dimensão do mesmo. Os refletores devem possuir vários comprimentos de onda de dimensão e de preferência ser planos. Aviões comerciais de longo e médio curso são bons refletores e oferecem a oportunidade de contactos a longa distancia. O limite teórico para a reflexão obtida pelo uso de aviões é de cerca de 900 km, assumindo que os jatos comerciais não voam a mais de 12 000 m, mas na realidade os contactos conseguidos são bastante menores.

Difração

As ondas de rádio podem ser difratadas ou dobradas em torno de objetos sólidos com arestas vivas.

O grau de refração é diretamente proporcional à diferença entre os índices de refração dos meios. O índice de refração não é mais do que a velocidade de uma onda de rádio no vácuo dividida pela velocidade no meio em questão.

As ondas de rádio são geralmente refratadas quando atravessam diferentes camadas da atmosfera, seja a ionosfera a 100 ou mais quilômetros de altitude, ou as camadas inferiores da atmosfera. Quando a relação entre os índices de refração é suficientemente grande, as ondas de rádio podem ser refletidas, tal com a luz num espelho. A Terra é um refletor com perdas elevadas, mas uma superfície de metal funciona bem se possuir alguns comprimentos de onda de diâmetro.

O cume de uma cordilheira com pelo menos 100 comprimentos de onda de comprimento pode servir para a difracção em frequências de rádio. Cumes agudos, livres de arvores e horizontais dão as melhores arestas, mas memo cumes arredondados podem servir como aresta de difracção. Apenas uma pequena parte da energia do sinal será difractada, mas possibilitará comunicações com um alcance de cerca de 100 km ou mais. Esta forma de difracção funciona nos dois sentidos, por isso comunicações através do que podem parecer montanhas intransponíveis podem ser possíveis, como sucede no exemplo abaixo.

Onda terrestre

Onda terrestre é o resultado de uma forma especial de difração que afeta em primeiro lugar os comprimentos de onda mais longos polarizados verticalmente. é mais notada nas bandas dos 80 e 160 metros, onde o alcance por este método pode chegar aos 200 km. A expressão onda terrestre é erradamente aplicada a qualquer forma de comunicação de curta distância, no entanto este mecanismo é próprio apenas de nossas bandas mais longas. As ondas de rádio são ligeiramente dobradas ao passar por uma aresta aguda, mas esse efeito é conseguido por arestas bastante arredondadas. Em onda média e longa, a curvatura da terra parece uma aresta arredondada. A parte inferior da frente de onda perde energia devido a correntes induzidas na terra causando um encurvamento da onda. Este fenômeno retarda a parte inferior da onda, fazendo com que a onda se dobre ligeiramente em direção à terra. Esta "dobra" acompanha a curvatura da terra, permitindo que sinais de rádio de onda média e longa se propaguem para lá da linha da visão. Este modo de propagação é mais útil durante o dia em 1,8 e 3.6 MHz, quando a absorção causada pela camada D torna a propagação ionosfera mais difícil. Antenas verticais com um excelente sistema de terra oferecem os melhores resultados. As perdas são consideravelmente reduzidas sobre água salgada e aumentam em solos secos e pedregosos.

A atmosfera

A atmosfera terrestre é composta essencialmente por azoto (78%), oxigênio (21%) e árgon (1%), e por outros gases raros. O vapor de água pode chegar a 5% da atmosfera em determinadas condições. Esta proporção de gases é mantida até uma altitude de 80 km, altitude em que a mistura começa a mudar.

Nas altitudes mais elevadas predominam o hélio e o hidrogênio. A radiação solar atua direta e indiretamente em todos os níveis da atmosfera. Junto à superfície da Terra, o aquecimento solar controla todos os aspectos do clima, criando vento, chuva, e outros fenômenos. A radiação ultravioleta cria pequenas concentrações de Ozônio entre 10 e 50 km. A maior parte da radiação UV é absorvida neste processo e não chega à Terra.

A altitudes ainda maiores, a radiação UV e X ioniza parcialmente o gases da atmosfera. Elétrons libertados por átomos de gás recombina-se com íons positivos para reconstituir átomos neutros, mas este processo demora algum tempo. No ambiente rarefeito das grandes altitudes, os átomos encontram-se distantes uns dos outros, e os gases podem manter-se ionizados durante horas. Em altitudes menores, a recombinação acontece rapidamente.

A atmosfera, que atinge mais de 600 km de altitude, está dividida em zonas. A tropo esfera situa-se entre a superfície da Terra e 10 km. Entre 10 e 50 km estão a estratosfera e a camada de ozônio, zona onde o ozônio atinge maiores concentrações. Cerca de 99% dos gases atmosféricos situam-se nestas duas camadas.

Entre os 50 até cerca de 600 km está a ionosfera, notável pelos seus efeitos na propagação das ondas de rádio. Nestas altitudes, o oxigênio e o azoto predominam a pressões muito baixas. Os raios UV e X ionizam estes gases, criando uma região onde existem íons com uma relativa abundância. A ionosfera está dividida em três camadas distintas D, E e F. A magnetosfera começa por volta dos 600 km e estende-se até 160 000 km. A composição dos gases atmosféricos vai gradualmente mudando do oxigênio, para hélio e finalmente hidrogênio nos níveis mais altos.

Propagação na Atmosfera

Ao contrário do que sucede com as ondas rádio no espaço, as ondas de rádio ao atravessarem a atmosfera terrestre sofrem muitas influências por parte desta. Todos já experimentamos problemas com ondas de rádio, causados por certas condições atmosféricas, estes problemas são causados pela falta de uniformidade da atmosfera terrestre.

Vários fatores podem influenciar as condições de propagação, tanto positiva como negativamente. Alguns destes fatores são a altitude, localização geográfica, e tempo (dia, noite, estação, ano).

Para compreendermos o fenômeno da propagação de ondas rádio, temos de conhecer a atmosfera terrestre. A atmosfera está dividida em três regiões separadas, ou camadas. São a troposfera, a estratosfera e a ionosfera. Estas camadas estão ilustradas na figura seguinte.

Troposfera

Quase todos os fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera. A temperatura nesta região decresce rapidamente com a altitude. Formam-se nuvens, e pode existir muita turbulência devido a variações na temperatura, pressão e densidade. Estas condições podem ter um efeito pronunciado sobre a propagação de ondas de rádio, como será explicado mais adiante.

Estratosfera

A estratosfera situa-se entre a troposfera e a ionosfera. A temperatura nesta região é quase sempre constante, e existe muito pouco vapor de água. Como é uma camada relativamente calma e a com poucas variações de temperatura, esta camada quase não influencia a propagação de ondas rádio.

Ionosfera

Esta é a camada mais importante da atmosfera terrestre para as comunicações via rádio a longa distância. Como a existência da ionosfera depende diretamente da radiação emitida pelo sol, o movimento da terra em relação ao sol, ou mudanças na atividade solar podem resultar em variações na ionosfera. Estas variações podem classificar-se em dois tipos:

- 1) as que ocorrem em ciclos mais ou menos regulares, e conseqüentemente, podem ser previstas com alguma precisão; e
- 2) as que são irregulares e que resultam de um comportamento anormal do sol, e portanto, não podem ser previstos. Tanto as variações regulares como irregulares têm efeitos importantes na propagação de ondas rádio. Como as variações irregulares não podem ser previstas, vamos concentrar-nos nas variações regulares.

Variações Regulares

As variações regulares podem ser divididas em quatro grandes classes: diárias, 27 dias, sazonais e de 11 anos. Vamos debruçar-nos sobre as variações diárias, já que têm uma grande influência no nosso passatempo. Variações diárias na ionosfera produzem quatro camadas de átomos de gases carregados eletricamente chamados íons, que possibilitam que as ondas de rádio sejam propagadas a grandes distâncias à volta da terra. Os íons são produzidos por um processo chamado ionização.

Ionização

No processo de ionização, raios ultravioleta de alta energia vindos do sol periodicamente atingem a ionosfera, colidem com átomos de gás eletricamente neutros, e removem um ou mais elétrons de cada átomo. Quando estes elétrons ficam livres, os átomos ficam carregados positivamente (íons positivos) e permanecem no espaço, juntamente com os elétrons livres. Os elétrons livres absorvem parte de energia ultravioleta que os libertou e formam uma camada ionizada.

Como a atmosfera é bombardeada com raios ultravioleta de diferentes freqüências, várias camadas são formadas a diferentes altitudes. Os raios ultravioleta de freqüência mais alta penetram mais fundo, produzindo camadas ionizadas na parte mais baixa da ionosfera. Reciprocamente, os raios ultravioleta de freqüência mais baixa penetram menos, e formam camadas ionizadas nas regiões mais altas da ionosfera. Um fator importante na determinação da densidade destas camadas ionizadas é o ângulo de elevação do sol. Como este ângulo varia com freqüência, a altitude e espessura das camadas ionizadas varia, dependendo da hora do dia e da estação do ano. Outro fator importante na determinação da densidade da camada é conhecido como recombinação.

Recombinação

Recombinação é o processo oposto à ionização. Ocorre quando elétrons livres e íons positivos e elétrons livres colidem, combinam-se, resultando átomos eletricamente neutros. Tal como a ionização, a recombinação depende da hora do dia. Entre o início da manhã e o fim da tarde, o ritmo de ionização excede o ritmo de recombinação. Durante este período as camadas ionizadas atingem a máxima densidade e exercem a maior influência nas ondas rádio. No entanto, ao anoitecer, o ritmo de recombinação excede o de ionização, causando a diminuição da densidade das camadas ionizadas. Ao longo da noite, a densidade continua a diminuir, atingindo o ponto mínimo mesmo antes do nascer do sol. É importante compreender que este processo de ionização e recombinação varia, dependendo da camada da ionosfera e da hora do dia. Os parágrafos seguintes explicam as quatro camadas (ou regiões) da ionosfera.

Camadas da Ionosfera

A ionosfera é composta por três camadas distintas, designadas por D, E e F sendo a D a que se encontra a mais baixa latitude, como se pode ver na figura seguinte. A camada F ainda está dividida em duas camadas F1 (mais baixa) e F2 (mais alta). A presença ou ausência destas camadas na ionosfera e a sua altitude varia com a posição do Sol. Ao meio dia, a radiação na ionosfera é máxima, enquanto à noite é mínima. Quando a radiação desaparece a maior parte das partículas que estavam ionizadas recombina-se. No espaço de tempo entre estas duas condições, a posição e número de camadas ionizadas da ionosfera mudam. Como a posição do Sol varia diária, mensal e anualmente relativamente a um determinado ponto na Terra, o exato número de camadas presentes é extremamente difícil de determinar. No entanto, as seguintes proposições sobre estas camadas podem ser feitas.

Camada D - Esta camada está presente entre 50 e 90 km acima da terra. A ionização na camada D é baixa porque sendo a camada mais baixa é a que menos radiação recebe. Para freqüências muito baixas, a camada D e o solo atuam como uma gigantesca guia de ondas, tornando possível a comunicação através do uso de grandes antenas e emissores muito potentes. A camada D absorve as freqüências médias e baixas, limitando o alcance diurno para cerca de 400 km. A partir do 3 MHz, a camada D começa a perder as características absorventes. Comunicação a longa distância é possível para freqüências até 30 MHz. Ondas de rádio com freqüências acima deste valor atravessam a camada D sendo no entanto atenuadas. Após o pôr do sol, a camada D desaparece por causa da

rápida recombinação dos íons. Comunicações em baixa e média frequência tornam-se possíveis. É por esta razão que as estações em AM, onda média se comportam de forma diferente à noite. Sinais que atravessem a camada D não são absorvidos mas são propagados pelas camadas E e F.

Camada E - A camada E situa-se entre 90 e 140 km de altitude aproximadamente. A recombinação ionosférica é bastante rápida após o pôr do sol, causando a sua desaparecimento a meio da noite. A camada E permite comunicações a média distância para frequências situadas no intervalo entre baixa e muito alta. Para frequências acima de 150 MHz, as ondas de rádio atravessam a camada E.

Por vezes explosões solares causam a ionização noturna desta camada sobre determinadas áreas. A propagação proporcionada por esta camada nestas condições chama-se "SPORADIC-E". O alcance proporcionado através de SPORADIC-E por vezes excede os 160 km, mas o alcance não é tão grande como através da camada F.

Camada F - A camada F encontra-se entre 140 e 390 km de altitude. Durante o dia, a camada F separa-se em duas camadas, F1 e F2. Geralmente durante a noite, a camada F1 desaparece. A camada F produz o máximo de ionização após o meio dia, mas os efeitos do ciclo diário são menos pronunciados que nas camadas D e E. Os átomos da camada F permanecem ionizados por um longo período após o pôr do sol, e durante o pico de atividade solar, podem permanecer ionizados durante toda a noite. Dado que a camada F é a mais alta da ionosfera, é também a que maior alcance permite. Para ondas horizontais, o alcance obtido num único salto (hop) pode ser de 5000 km. Para que os sinais se propaguem a distâncias maiores, são necessários vários saltos. A camada F é responsável pela maior parte das comunicações HF de longa distância. A frequência máxima que a camada F reflete depende do ponto do ciclo solar em que estamos. No pico do ciclo solar, a camada F pode refletir sinais até 100 MHz. Durante o sopé do ciclo solar a frequência máxima utilizável pode descer até 10 MHz.

Propagação Atmosférica

Na atmosfera, as ondas de rádio podem ser refletidas, refratadas, e difratadas. Nos próximos capítulos discutiremos essas formas de propagação.

Refração

Uma onda de rádio transmitida através de camadas ionizadas é sempre refratada, ou dobrada. Esta dobragem das ondas de rádio chama-se refração. Repare na onda de rádio na figura abaixo, atravessando a atmosfera terrestre com uma velocidade constante. À medida que a onda entra na camada ionizada mais densa, a parte superior da onda move-se mais depressa que a parte inferior. Este aumento abrupto de velocidade da parte superior da onda faz com que a onda seja desviada em direção à Terra. Este desvio é sempre em direção ao meio de propagação onde a velocidade de propagação seja menor.

A quantidade de refração que uma onda de rádio sofre depende de três fatores principais:

1. A densidade de ionização da camada
2. A frequência da onda de rádio
3. O ângulo de incidência na camada

Densidade da Camada

Cada camada ionizada possui uma região intermediária onde a ionização é mais densa, entre duas regiões onde a ionização é menor. Uma onda de rádio ao entrar numa região onde a ionização é progressivamente maior, a velocidade aumenta causando o seu desvio em direção à Terra. No interior da região mais densamente ionizada, a refração ocorre a um ritmo menor porque a densidade é uniforme. Quando a onda atinge a região superior menos ionizada, a velocidade da parte superior da onda diminui e a onda é desviada da Terra.

Frequência

Quanto menor for a frequência de uma onda de rádio, mais rapidamente essa onda é refratada por um determinado grau de ionização. A frequência crítica de uma camada depende da sua densidade. Se uma onda passa através de uma determinada camada, pode ainda ser refratada por uma camada superior, se a frequência for inferior à frequência crítica da camada superior.

Ângulo de Incidência e Ângulo Crítico

Quando uma onda de rádio encontra uma camada da ionosfera, essa onda é devolvida à Terra num ângulo (aproximadamente) igual ao ângulo de incidência. À medida que a frequência de uma onda de rádio aumenta, o ângulo crítico deve ser reduzido para que ocorra refração.

Zona e Distância de Silêncio (SKIP)

Ao emitirmos uma onda de rádio, esta vai propagar-se de duas formas, por onda terrestre e por onda ionosférica. De posse deste conceito podemos discutir o limite exterior da zona de silêncio (skip distance) e a zona de silêncio (skip zone).

Limite Exterior da Zona de Silêncio (Skip Distance)

A Limite Exterior da Zona de Silêncio (Skip Distance) é a distância desde o transmissor e o ponto onde a onda ionosférica atinge a terra pela primeira vez. Esta distância depende da frequência e ângulo de incidência, e do grau de ionização.

Zona de Silêncio

A zona de silêncio, é a zona compreendida entre o ponto onde a onda terrestre é demasiado fraca para ser recebida e o ponto onde a onda ionosférica volta à terra pela primeira vez. O limite externo da zona de silêncio varia consideravelmente, dependendo da frequência, hora, estação do ano, atividade solar, e direção de transmissão.

As frequências muito baixas, baixas, e médias, a zona de silêncio nunca está presente. No entanto em HF, a zona de silêncio está sempre presente.

À medida que a frequência aumenta, a zona de silêncio aumenta até um ponto em que o limite externo da zona de silêncio pode estar a milhares de quilômetros. Para frequências acima de um determinado valor deixa mesmo de haver propagação através da zona F. Por vezes a onda ionosférica retorna à terra dentro da zona coberta pela onda terrestre. Neste caso, podemos sofrer um desvanecimento (QSB) bastante grande, causado pela diferença de fase, entre as duas ondas (a onda ionosférica percorre um caminho mais longo).

Reflexão

A reflexão ocorre quando as ondas de rádio são refletidas por uma superfície plana. Basicamente podemos considerar dois tipos de reflexão: terrestre e ionosférica.

O grau de defasamento que ocorre não é constante. Varia, dependendo da polarização da onda e do ângulo de incidência na superfície refletora. Como a reflexão não é constante, ocorre desvanecimento (fading). Em condições normais, ondas de rádio refletidas em fase produzem sinais mais fortes, se forem refletidas desfasadas produzem um sinal mais fraco ou variável.

A reflexão ionosférica acontece quando certas ondas de rádio atingem uma fina e altamente ionizada camada da ionosfera. Apesar de na realidade as ondas serem refratadas, algumas delas retornam à terra de forma tão rápida que parece tratar-se de reflexão. Para que a reflexão ionosférica aconteça, a espessura da camada ionizada não pode ser maior que um comprimento de onda. Como as camadas ionizadas geralmente têm vários km de espessura, a reflexão ionosférica acontece com ondas longas.

Difração

Difração é a capacidade de as ondas contornarem obstáculos e "dobrarem esquinas". Se o comprimento de onda for maior que o diâmetro do obstáculo esta contorna facilmente o mesmo. No entanto à medida que a o comprimento de onda decresce, a atenuação aumenta, até que para VHF surge uma zona de sombra. A zona de sombra é uma área oposta ao obstáculo na direção do emissor. A difração pode aumentar o alcance para além da linha do horizonte. Recorrendo a alta potência e frequências baixas, as ondas de rádio acompanham a curvatura terrestre por difração.

Efeitos da atmosfera na propagação

Como já foi dito antes, mudanças na ionosfera podem produzir mudanças dramáticas na propagação de ondas rádio. Em alguns casos, o alcance é estendido de forma extraordinária. Outras vezes, o alcance é reduzido ou nulo. Os parágrafos seguintes tentam explicar os problemas causados pelo desvanecimento e desvanecimento seletivo.

Desvanecimento (Fading)

Um dos problemas mais frustrantes na recepção de sinais rádio é a variação na intensidade do sinal, fenómeno conhecido como fading (ou em português desvanecimento). São várias as condições que produzem o fading. Quando uma onda rádio é refratada pela ionosfera ou refletida pela superfície terrestre, podem ocorrer mudanças aleatórias na polarização da onda. Antenas montadas horizontal ou verticalmente, foram concebidas para receber respectivamente ondas polarizadas horizontal ou verticalmente. Por isso, mudanças na polarização causam mudanças na intensidade do sinal recebido.

A absorção de rf na ionosfera também causa fading. A maior parte dessa absorção ocorre na parte inferior da ionosfera onde a densidade de ionização é mais elevada. Ao atravessar a ionosfera, as ondas de rádio perdem um pouco da sua energia para os elétrons livres e íons aí existentes. Como o grau de absorção varia em função da densidade das camadas ionizadas, não existe nenhuma relação definida entre a distância e a intensidade do sinal na propagação ionosférica. O fading causado por absorção estende-se por um período mais longo que para outros tipos de fading, já que a absorção ocorre lentamente. Sob certas condições, a absorção é tão elevada que comunicações para lá da linha de vista se tornam muito difíceis.

Embora o fading causado por absorção seja o tipo de fading com mais grave, o fading na propagação ionosférica resulta sobretudo da propagação por percursos múltiplos ou em inglês multipath.

Multipath Fading

MULTIPATH é um termo usado para descrever os múltiplos percursos que uma onda de rádio pode percorrer entre o emissor e o receptor. Estes percursos de propagação incluem a onda terrestre,

refração ionosférica, re-irradiação pelas camadas ionosféricas, reflexão terrestre ou por várias camadas ionosféricas, e por aí fora.

Fading Seletivo

O fading resultante da propagação através de percursos múltiplos (multipath) varia com a frequência dado que cada frequência atinge o receptor através de um percurso diferente. Se um conjunto de frequências diferentes for transmitida simultaneamente, o fading em cada uma será diferente. A esta variação chama-se fading seletivo. Quando isto acontece, as frequências do sinal transmitido não mantêm o faseamento original e as amplitudes relativas. Este tipo de fading produz uma séria distorção do sinal.

Outros fenômenos que afetam as comunicações

Embora as variações diárias na ionosfera tenham o efeito mais pronunciado nas comunicações, outros fenômenos também afetam as comunicações, tanto positiva como negativamente. Estes fenômenos serão brevemente discutidos nos parágrafos seguintes.

Variações sazonais na ionosfera

As variações sazonais resultam do movimento de translação da terra em torno do sol, porque a posição relativa do sol muda com as estações do ano. As variações sazonais das camadas D, E, e F1 estão diretamente relacionadas com a inclinação dos raios solares, sendo a ionização máxima destas camadas durante o Verão. Com a camada F2 sucede o oposto. A sua ionização é máxima durante o Inverno. Por isso as frequências propagadas pela camada F2 são mais altas no Inverno que no Verão.

Manchas solares

Uma das mais notáveis ocorrências na superfície do Sol é o aparecimento e desaparecimento de manchas escuras e irregulares conhecidas como manchas solares. Crê-se que as manchas solares são causadas por violentas erupções solares e caracterizam-se por causarem fortes campos magnéticos. Estas manchas causam variações no grau de ionização da ionosfera. As manchas solares tendem a aparecer em dois ciclos, cada 27 dias e cada 11 anos.

Ciclo de 27 dias

O número de manchas existentes em cada momento muda constantemente já desaparecem umas e aparecem outras. Como o sol possui movimento de rotação, estas manchas são visíveis a intervalos de 27 dias, que é aproximadamente o tempo que o Sol demora a rodar em torno do seu eixo. Durante este período, as flutuações da ionização variam mais pronunciadas na camada F2.

Ciclo de Onze anos

As manchas solares podem aparecer em qualquer altura, e o tempo de vida das mesmas é variável. O ciclo de onze anos é um ciclo regular de atividade solar com um mínimo e um máximo de atividade que ocorrem a cada onze anos. Durante o período de máxima atividade, a densidade da ionização de todas as camadas aumenta. Por causa disto, a absorção da camada D aumenta e as frequências críticas para as camadas E, F1 e F2 é maior. Nesta altura, as frequências mais altas devem ser usadas para comunicações a longa distância.

VARIAÇÕES IRREGULARES

Variações irregulares, são mudanças imprevisíveis na ionosfera que podem afetar profundamente a nossa capacidade de comunicar via rádio. As variações mais comuns são: E esporádica, perturbações ionosféricas e tempestades ionosféricas.

E Esporádica

Por vezes formam-se na camada E manchas irregulares com uma ionização involuntariamente alta, a este fenômeno chama-se E esporádica (sporadic E). A causa exata para este fenômeno não é conhecida e a sua ocorrência não pode ser prevista. No entanto, este fenômeno varia com a latitude. Nas latitudes mais a norte parece estar relacionada com o fenômeno aurora boreal.

Esta camada pode ser tão fina que as ondas de rádio a penetram facilmente e são refratadas pelas camadas superiores, ou pode ser fortemente ionizada e estender-se por centenas de quilômetros. Estas condições podem ser benéficas ou prejudiciais para a propagação de ondas rádio. Por um lado pode eliminar completamente o uso das camadas superiores da ionosfera, ou causar absorção adicional do sinal rádio nalgumas frequências. Pode também causar problemas por propagação por caminhos múltiplos. Por outro lado, a frequência crítica desta camada poder o dobro da frequência crítica das camadas normais. Este fato pode permitir comunicações a longa distância a frequências anormalmente elevadas. Pode também permitir comunicações para locais que normalmente estariam na zona de silêncio. Esta camada pode surgir e desaparecer de forma rápida durante o dia ou a noite.

Perturbações Ionosféricas Repentinas

Este tipo de perturbações podem acontecer sem aviso e a sua duração varia entre alguns minutos e algumas horas. Quando estas perturbações acontecem, as comunicações HF a longa distância tornam-se praticamente impossíveis. Por vezes parece que o receptor avariou... Este fenômeno é causado por uma erupção solar que produz uma quantidade anormalmente alta de radiação ultra

violeta que não é absorvida pelas camadas F1, F2 ou E. Em vez disso, causa o aumento da densidade de ionização da camada D. Como resultado, frequências acima de 1 ou 2 MHz não conseguem penetrar a camada D e são completamente absorvidas.

Tempestades Ionosfericas

Estas tempestades são causadas por perturbações no campo magnético da terra. Estão associadas a erupções solares e a o ciclo de 27 dias, ou seja com o movimento de rotação do Sol. Os efeitos das tempestades ionosfericas são uma ionosfera turbulenta e uma propagação ionosferica errática. Estas tempestades afetam sobretudo a camada F2, reduzindo a densidade de ionização e tornando as frequências criticas mais baixas que o normal. Os efeitos nas comunicações é que o leque de frequências utilizáveis é menor que o normal e que é só é possível utilizar frequências baixas.

Meteorologia

O vento, a temperatura do ar, e umidade podem combinar-se para aumentar ou diminuir o alcance das comunicações rádio. A precipitação influencia sobretudo as frequências mais altas. As frequências de HF e abaixo não sofrem muito com isso.

CHUVA.- A atenuação causada pelas gotas de chuva é superior à causada por qualquer outra forma de precipitação. Pode ser causada por absorção, onde a gota de chuva atua como um mau dielétrico, absorve a energia da onda rádio e transforma essa energia em calor; ou por dispersão. A atenuação causada pela chuva deve-se mais à dispersão do que à absorção para frequências acima de 100 MHz. Para frequências acima de 6 GHz, a dispersão ainda é maior.

NEVOEIRO.— A atenuação causada pelo nevoeiro depende da quantidade de água por unidade de volume e pelo tamanho das gotículas. A atenuação causada pelo nevoeiro em frequências abaixo dos 2 GHz é desprezível, mas acima desta frequência a atenuação por absorção pode ser elevada.

NEVE.— Dado que a neve possui cerca de 1/8 da densidade da chuva, e por causa da forma irregular dos flocos, as perdas por dispersão e absorção são difíceis de calcular, sendo no entanto menores do que as causadas pela chuva.

GRANIZO— A atenuação causada pelo granizo é determinada pelo tamanho das pedras bem como pela sua densidade. A atenuação A atenuação por dispersão causada pelo granizo é menor que a causada pele chuva.

INVERSÃO DE TEMPERATURA

Quando se formam camadas de ar quente por cima de camadas de ar frio, configura-se uma condição conhecida como inversão de temperatura. Este fenômeno causa a formação de canais ou condutas de ar frio, entre a terra e uma camada de ar quente ou entre duas camadas de ar quente. Se uma antena emissora estiver dentro desse canal, ou se uma onda rádio aí entrar com um ângulo de incidência muito baixo, as emissões de VHF e UHF podem propagadas para além da linha do horizonte. Estas longas distancias são possíveis devido às diferentes densidades e propriedades refrativas do ar quente e frio. A mudança brusca de densidade quando a onda rádio entra no ar quente acima da conduta faz com que a onda seja refratada de volta à terra. Quando a onda atinge a terra ou uma camada de ar quente abaixo da conduta sucede o oposto e a onda prossegue ao longo da conduta.

PERDAS DE TRANSMISSÃO

Todas as ondas de rádio propagadas através da ionosfera sofrem perdas de energia antes de chegarem ao receptor. Como foi dito anteriormente, absorção e os efeitos da parte baixa da atmosfera causam a maior parte da atenuação. Existem ainda dois outros tipos de perdas que também afetam a propagação. O efeito combinado da perda por reflexão na terra, e perdas no espaço livre, produzem a maior parte da atenuação ionosferica.

PERDA POR REFLEXÃO NA TERRA

Quando a propagação é feita através de refração em múltiplas etapas, energia rf é perdida cada vez que é refletida pela superfície terrestre. A quantidade de energia perdida depende da frequência, do ângulo de incidência, da irregularidade do solo, e da condutividade do solo no ponto de reflexão.

PERDAS NO ESPAÇO LIVRE

Normalmente, a maior parte da energia é perdida por causa do espalhamento da frente de onda. Com o aumento da distância, a área da frente de onda aumenta, tal como o feixe de luz de uma lanterna. Isto significa que a quantidade de energia contida numa área da frente de onda diminui em função da distância. Quando a energia chega à antena receptora, a frente de onda está tão espalhada que a antena atinge apenas uma pequena porção da frente de onda.

SELEÇÃO DA FREQUÊNCIA A USAR

A seleção da frequência correta para determinadas condições exige um bom conhecimento dos mecanismos de propagação. Para o sucesso das comunicações rádio entre dois pontos a determinada hora do dia, existem uma frequência máxima, mínima e ótima que podem ser usadas.

FREQUÊNCIA MÁXIMA UTILIZÁVEL (MUF)

Quanto mais alta a frequência de uma onda rádio, menor o grau de refração causada pela ionosfera. Por isso, para um determinado ângulo de incidência e hora do dia, existe uma frequência máxima que pode ser usada na comunicação entre dois pontos. Esta frequência é conhecida como **FREQÜÊNCIA MÁXIMA UTILIZÁVEL (MUF)**. Ondas rádio com frequências acima da muf são refratadas mais lentamente e retornam à terra num ponto para lá do local pretendido ou perdem-se no espaço. Variações na ionosfera podem baixar ou subir a muf prevista em qualquer altura. Isto é especialmente verdade na camada F2.

FREQÜÊNCIA MÍNIMA UTILIZÁVEL (LUF)

Tal como existe a muf também existe uma frequência mínima que pode ser usada, conhecida como **FREQÜÊNCIA MÍNIMA UTILIZÁVEL (LUF)**. Ao diminuir a frequência o grau de refração aumenta. Então uma onda cuja frequência seja inferior à luf volta à terra num ponto aquém do desejado.

Ao diminuir a frequência, a absorção da energia rf aumenta. Uma onda cuja frequência seja muito baixa, é absorvida ao ponto de ser muito débil para ser recebida. O ruído atmosférico é também maior para frequências baixas. A combinação destes dois efeitos pode resultar numa relação sinal ruído inaceitável. Por isso na determinação da luf há que ter em consideração estes fatores.

FREQÜÊNCIA DE TRABALHO ÓTIMA (FOT)

A melhor frequência de operação é a que permite comunicar com menos problemas. Deve ser suficientemente alta para evitar problemas de multipath fading, absorção, e ruído encontrados nas frequências mais baixas; mas não tão alta que possa ser afetada por mudanças bruscas na ionosfera. Uma frequência que corresponda a estas exigências é a **FREQÜÊNCIA DE TRABALHO ÓTIMA (FOT)**. Fot é a abreviatura de "frequence optimum de travail". A fot é cerca de 85% da muf, mas esta percentagem varia e pode ser bastante menos que 85%".

NÃO BASTA SER RADIOAMADOR, TEM QUE SER PARTICIPATIVO