

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PYSAAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### A Atmosfera.

A atmosfera é uma fina camada que envolve alguns planetas, composta basicamente por gases e poeira, retidos pela ação da força da gravidade. Podemos definir-la como sendo uma fina camada de gases sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa à Terra pela força da gravidade. Visto do espaço, o planeta Terra aparece como uma esfera de coloração azul brilhante. Esse efeito cromático é produzido pela dispersão da luz solar sobre os gases atmosféricos. Outros planetas do sistema solar também possuem atmosfera.

#### Composição

Segundo Barry e Chorley, 1976 , a composição da atmosfera e sua estrutura vertical possibilitaram o desenvolvimento da vida no planeta. Esta é sua composição, quando seca e abaixo de 25 km é:

Nitrogênio (N<sub>2</sub>) 78,08 %, este atua como suporte dos demais componentes, de vital importância para os seres vivos, fixado no solo pela ação de bactérias e outros microrganismos, é absorvido pelas plantas, na forma de proteínas vegetais;

Oxigênio (O<sub>2</sub>) 20,94 % do volume da atmosfera, sua estrutura molecular varia conforme a altitude em relação ao solo, é responsável pelos processos respiratórios dos seres vivos;

Argônio 0,93 %;

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (variável) 0,035 %;

Hélio (He) 0,0018 %;

Ozônio (O<sub>3</sub>) 0,00006 %;

Hidrogênio (H<sub>2</sub>) 0,00005 %;

Criptônio(BR) indícios;

Metano (CH<sub>4</sub>) indícios;

Xenônio(Xe) Indícios;

Radônio(Rn) indícios.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### O vapor d'água

O vapor d'água em suspensão no ar encontra-se principalmente nas camadas baixas da atmosfera (75% abaixo de quatro mil metros de altura) e exerce o importante papel de regulador da ação do Sol sobre a superfície terrestre, sua quantidade de vapor varia muito em função das condições climáticas das diferentes regiões do planeta, os níveis de evaporação e precipitação são compensados até chegar a um equilíbrio, pois, as camadas inferiores estão muito próximas ao ponto crítico em que a água passa do estado líquido ao gasoso. O ar, em algumas áreas pode estar praticamente isento de vapor, enquanto em outras pode chegar a conter uma saturação de até 4%, tornando-se compreensível que quase toda a água existente no planeta está nos oceanos, pois as temperaturas da alta-atmosfera são baixas demais para que o vapor possa manter-se no estado gasoso. Além de vapor d'água, as proporções relativas dos gases se mantêm constantes até uma altitude aproximada de 60 km. A atmosfera nos protege, e, à vida no planeta Terra, absorvendo radiação solar ultravioleta e variações extremas de temperaturas entre o dia e a noite.



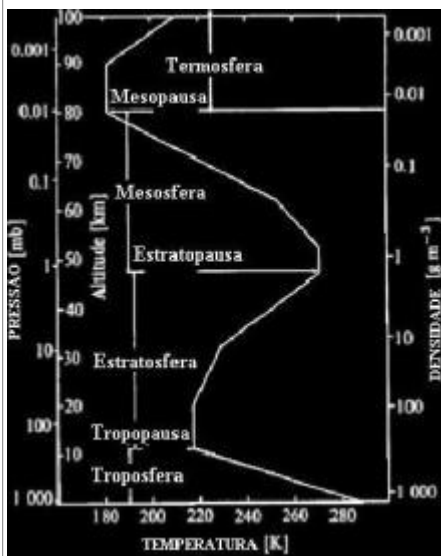
#### Limite entre Atmosfera e Espaço exterior

Não existe um limite definido entre o espaço exterior e a atmosfera, presume-se que esta tenha cerca de mil quilômetros de espessura, 99% da densidade está concentrada nas camadas mais inferiores, cerca 75% está numa faixa de 11 km da superfície, à medida em que se vai subindo, o ar vai se tornando cada vez mais rarefeito perdendo sua homogeneidade e composição. Na exosfera, zona em que foi arbitrado limítrofe entre a atmosfera e o espaço interplanetário, algumas moléculas de gás acabam escapando à ação do campo gravitacional. O estudo da evolução térmica segundo a altitude revelou a existência de diversas camadas superpostas, caracterizadas por comportamentos distintos, como sua densidade vai diminuindo gradualmente com o aumento da altitude, os efeitos que a pressão atmosférica exerce também diminuem na mesma proporção.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

A atmosfera do planeta terra é fundamental para toda uma série de fenômenos que se processam em sua superfície, como os deslocamentos de massas de ar e os ventos, as precipitações meteorológicas e as mudanças do clima. O limite onde efeitos atmosféricos ficam notáveis durante re-entrada em si, é em torno de 120 quilômetros. A altitude de 100 quilômetros também é usada freqüentemente como o limite entre atmosfera e espaço.



### Temperatura e as camadas atmosféricas

A temperatura da atmosfera da Terra varia entre camadas em altitudes diferentes, portanto, a relação matemática entre temperatura e altitude também varia, sendo uma das bases de classificação atmosférica. Esta se estrutura em três camadas relativamente quentes, separadas por duas camadas relativamente frias. Os contatos entre essas camadas são áreas de descontinuidade, e recebem o sufixo "pausa", após o nome da camada subjacente.

### Camadas e áreas de descontinuidade

As camadas atmosféricas são distintas e separadas entre si por áreas fronteiriças de descontinuidade.

#### Troposfera (0 - 7/17 km)

A Troposfera é a camada atmosférica que se estende da superfície da Terra até a base da estratosfera. (0 - 7/17 km), a temperatura diminui com a altitude, esta camada responde por oitenta por cento do peso atmosférico, sua espessura média é de aproximadamente 12km, atingindo até 17km nos trópicos e reduzindo-se para em torno de sete quilômetros nos pólos.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### Tropopausa

A tropopausa é o nome dado à camada intermediária entre a troposfera e a estratosfera, situada a uma altura média em torno de 17km no equador. A distância da Tropopausa em relação ao solo varia conforme as condições climáticas da troposfera, da temperatura do ar, a latitude entre outros fatores. Se existe na troposfera uma agitação climática com muitas correntes de convecção, a tropopausa tende a subir. Isto se deve por causa do aumento do volume do ar na troposfera, este aumentando, aquela aumentará, por consequência, empurrará a tropopausa para cima. Ao subir a tropopausa esfria, pois o ar acima dela está mais frio

#### Estratosfera

Na estratosfera a temperatura aumenta com a altitude e se caracteriza pelos movimentos de ar em sentido horizontal, fica situada entre 7 e 17 até 50 km de altitude aproximadamente, sendo a segunda camada da atmosfera, compreendida entre a troposfera e a mesosfera, a temperatura aumenta à medida que aumenta a altura. Apresenta pequena concentração de vapor d'água e temperatura constante até a região limítrofe, denominada estratopausa.

#### Estratopausa

É próximo à estratopausa que a maior parte do ozônio da atmosfera se situa. Isto é em torno de 22 quilômetros acima da superfície, na parte superior da estratosfera.

#### Mesosfera

Na mesosfera a temperatura diminui com a altitude, esta é a camada atmosférica onde há uma substancial queda de temperatura chegando até a  $-90^{\circ}$  C em seu topo, está situada entre a estratopausa em sua parte inferior e mesopausa em sua parte superior, entre 50 a 85 km de altitude. É na mesosfera que ocorre o fenômeno da aeroluminescência das emissões da hidroxila.

#### Mesopausa

A mesopausa é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular.

#### Termosfera

Na termosfera situada entre 80/85 Km até mais de 640 Km, a temperatura aumenta com a altitude e está localizada acima da mesopausa, sua temperatura aumenta com a altitude rápida e monotonicamente até onde a densidade das moléculas é tão pequena e se movem em trajetórias aleatórias tal, que raramente se chocam.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### Regiões atmosféricas segundo a distribuição iônica

Além das camadas citadas, e em conjunto a si, existem regiões atmosféricas distribuídas segundo a ionização, nestas ocorrem diversos fenômenos físicos e químicos que interferem em todo o Planeta.

#### Ionosfera

A Ionosfera é uma região eletrizada da atmosfera da Terra situada em altitudes de aproximadamente a partir de 50 Km, e presume-se até milhares de quilômetros. Ela consiste de íons e de elétrons livres produzidos pelas influências ionizantes da radiação solar e de partículas cósmicas e solares energéticas incidentes. A ionosfera está sujeita a acentuadas variações geográficas e temporais. Ela exerce um profundo efeito sobre as características das ondas de rádio propagadas dentro, ou através dela.

As camadas ou regiões iônicas da ionosfera são:

#### Camada D

A mais próxima ao solo, fica entre os 50 e 80 km, é a que absorve a maior quantidade de energia eletromagnética.

#### Camada E

Acima da camada D, embaixo das camadas F1 e F2, sua altitude média é entre os 80 e os 100-140km. Semelhante à camada D.

#### Camada E Esporádica

Esta camada tem a particularidade de ficar mais ativa quanto mais perpendiculares são os raios solares que incidem sobre si.

#### Camada F1

A camada F1 está acima da camada E e abaixo da camada F2 ~100-140 até ~200 Km. Existe durante os horários diurnos.

#### Camada F2

A mais alta das camadas ionosféricas a camada F2, está entre os 200 e 400km de altitude. Acima da F1, E, e D respectivamente. É o principal meio de reflexão ionosférico.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

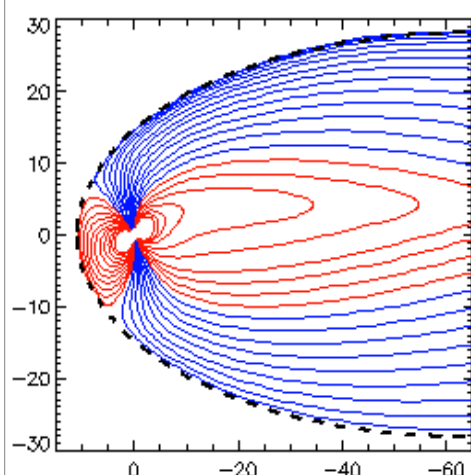
#### Exosfera

A Exosfera fica acima da ionosfera onde a atmosfera na divisa com o espaço exterior.

#### Ozonosfera

A Ozonosfera é onde fica a camada de ozônio, de aproximadamente 10 a 50 km de altitude onde ozônio da estratosfera é abundante. Note que até mesmo dentro desta região, ozônio é um componente raro. É esta camada que protege os seres vivos da Terra contra a ação dos raios ultra-violeta.

#### Magnetosfera



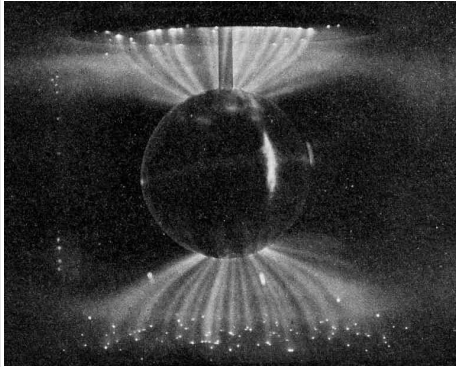
A Magnetosfera de um astro é a região definida pela interação do plasma estelar (Sol) magnetizado com a atmosfera magnetizada desse astro (Terra) em que os processos eletrodinâmicos são basicamente comandados pelo campo magnético intrínseco do planeta e sua interação com a estrela. Sua morfologia, em uma visão simples, pode ser vista como uma bolha comprimida na parte frontal ao fluxo estelar incidente no astro e distendida no sentido do afastamento desse fluxo.

A magnetosfera terrestre apresenta a parte frontal a aproximadamente 10 raios terrestres, uma espessura de 30-50 raios terrestres e uma cauda que se alonga a mais de 100 raios terrestres. Mesmo um astro sem campo magnético pode apresentar uma magnetosfera induzida, que é consequência das correntes elétricas sustentadas pela ionosfera existente.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### Cinturão de radiação



Cinturões de radiação ou cinturões de Van Allen são regiões quase toroidais em torno do equador magnético, a distância de 2 a 6 raios terrestres, preenchidas de partículas energéticas mas de baixa densidade volumétrica. Há um cinturão externo, produzido por partículas do plasma solar e terrestre que se aproximam da Terra ao longo desse equador, e um cinturão interno, produzido pela incidência de partículas de mais alta energia dos raios cósmicos. Populando essas regiões, os prótons e os elétrons apresentam-se com distribuições características distintas.

#### Temperatura média e pressão

A temperatura média da atmosfera à superfície de terra é 14 °C. A Pressão atmosférica é o resultado direto do peso exercido pela atração gravitacional da Terra sobre a camada de ar que a envolve, variando conforme o momento climático, a hora, o local e a altitude. Cerca de 50% do total da massa atmosférica está até 5 km de altitude. A pressão atmosférica ao nível do mar, é aproximadamente 101.3 quilopascals.

#### Densidade e massa

A densidade do ar ao nível do mar é aproximadamente 1.2 quilogramas por metro cúbico. Esta densidade diminui a maiores altitudes à mesma taxa da diminuição da pressão. A massa total da atmosfera é aproximadamente  $5.1 \times 10^{18}$  kg, uma fração minúscula da massa total da terra.

#### A Evolução da atmosfera da Terra

Podemos compreender razoavelmente a história da atmosfera da Terra até há um bilhão anos. Regredindo no tempo, somente especulamos, pois, é uma área ainda em constante pesquisa. Atmosfera moderna ou, terceira atmosfera, esta denominação é para distinguir a composição química atual das duas composições anteriores.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### Primeira Atmosfera

A primeira atmosfera, era principalmente hélio e hidrogênio. O calor provindo da crosta terrestre ainda em forma de plasma, e o sol a dissiparam.

#### Segunda atmosfera

A aproximadamente 3.5 bilhões anos atrás, a superfície do planeta tinha esfriado o suficiente para formar uma crosta endurecida, povoando-a com vulcões que liberaram vapor de água, dióxido de carbono, e amoníaco. Desta forma, surgiu a "segunda atmosfera", que era formada principalmente de dióxido de carbono e vapor de água, amônia, metano, óxido de enxofre. Nesta segunda atmosfera quase não havia oxignio livre, era aproximadamente 100 vezes mais densa do que a atmosfera atual. Acredita-se que o efeito estufa, causado por altos níveis de dióxido de carbono, impediu a Terra de congelar. Durante os próximos bilhões anos, devido ao resfriamento, o vapor de água condensou para precipitar chuva e formar oceanos, que começaram a dissolver o dióxido de carbono. Seriam absorvidos 50% do dióxido de carbono nos oceanos. Desta forma houve o favorecimento do surgimento de moléculas de cadeia longa de carbono. Ao passar do tempo e com a recombinação das cadeias de carbono se iniciou o processo de formação dos ácidos nucléicos primordiais, assim, acredita-se, iniciou um processo de fotossíntese que evoluiu para a vida, e começou a converter dióxido de carbono em oxigênio. Ao passar do tempo, o carbono em excesso foi fixado em combustíveis fósseis, pedras sedimentares (notavelmente pedra calcária), e conchas animais. Estando o oxigênio livre na atmosfera reagindo com o amoníaco, foi liberado nitrogênio, simultaneamente as bactérias também iniciaram a conversão do amoníaco em nitrogênio. Assim, aumentando a população vegetal, os níveis de oxigênio cresceram significativamente (enquanto níveis de dióxido de carbono diminuíram). No princípio o oxigênio combinou com vários elementos (como ferro), mas eventualmente acumulou na atmosfera resultando em extinções em massa e evolução.





## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

#### Terceira atmosfera

Com o aparecimento de uma camada de ozônio(O<sub>3</sub>), (a Ozonosfera), as formas de vida no planeta foram melhor protegidas da radiação ultravioleta. Esta atmosfera de oxigênio-nitrogênio é a terceira atmosfera. Esta última, tem uma estrutura complexa que age como reguladora da temperatura e umidade da superfície.

#### A auto regulação da temperatura e pressão

A Terra tem um sistema de compensações de temperatura, pressão e umidade, que mantém um equilíbrio dinâmico natural, em todas as suas regiões. As camadas superiores do planeta refletem em torno de quarenta por cento da radiação solar. Destes, aproximadamente 17% são absorvidos pelas camadas inferiores sendo que o ozônio interage e absorve os raios ultravioleta, o dióxido de carbono e o vapor d'água absorvem os raios infravermelhos. Restam 43% da energia, esta alcança a superfície do planeta. Que por sua vez reflete dez por cento das radiações solares de volta. Além dos efeitos descritos, existe ainda a influência do vapor d'água e sua concentração variável. Estes, juntamente com a inclinação dos raios solares em função da latitude, agem de forma decisiva na penetração da energia solar, que por sua vez tem aproximadamente 33% da energia absorvida por toda a superfície atingida durante o dia, sendo uma parte muito pequena desta re-irradiada durante a noite. Além de todos os efeitos relatados anteriormente, existe ainda a influência e interação dos oceanos com a atmosfera em sua auto regulação. Estes mantêm um equilíbrio dinâmico entre os fenômenos climáticos das diferentes regiões da Terra. Todos os mecanismos relatados acima atuando em conjunto, geram uma transição suave de temperaturas em todo o planeta. Excessão à regra ocorre, onde são menores a quantidade de água, vapor desta e a espessura da troposfera, como nos desertos e cordilheiras de grande altitude. Na baixa atmosfera, o ar se desloca tanto no sentido horizontal gerando os ventos, quanto no vertical, alterando a pressão. Pois, por diferenças de temperatura, a massa aérea aquecida sobe, e ao esfriar-se, desce e novamente, gerando assim um sistema oscilatório de variação de pressão atmosférica. Uma das maiores determinantes na distribuição do calor e umidade na atmosfera é a circulação do ar, pois esta ativa a evaporação média, dispersa as massas de ar quente ou frio conforme a região e o momento. Por consequência caracteriza os tipos climáticos. À esta circulação de ar, quando na horizontal, chama-se vento, que é definido como o movimento do ar paralelo à superfície da Terra. Quando o deslocamento é na vertical, denomina-se corrente de ar. Aos movimentos verticais e horizontais de superfície, somam-se os jet streams, e os deslocamentos de massas de ar, que determinam as condições climáticas do planeta. Assim a atmosfera nos mantém vivos, porém nós matamo-la...

#### A Ionosfera

A ionosfera se localiza entre cinquenta e quatrocentos quilômetros de altitude ( Estas coordenadas são para efeito de estudo), é composta de íons, plasma ionosférico, e, devido à sua composição, reflete ondas de rádio até aproximadamente 30 MHz em condições normais. A reflexão ionosférica, espalhamento e canalização tem ocorrido até frequências acima de 50 Mhz, mas estatisticamente o tempo de "propagação aberta" nas bandas altas se torna muito susceptível à variações ambientais. Na prática, sua utilização se dá no máximo até 30 MHz.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

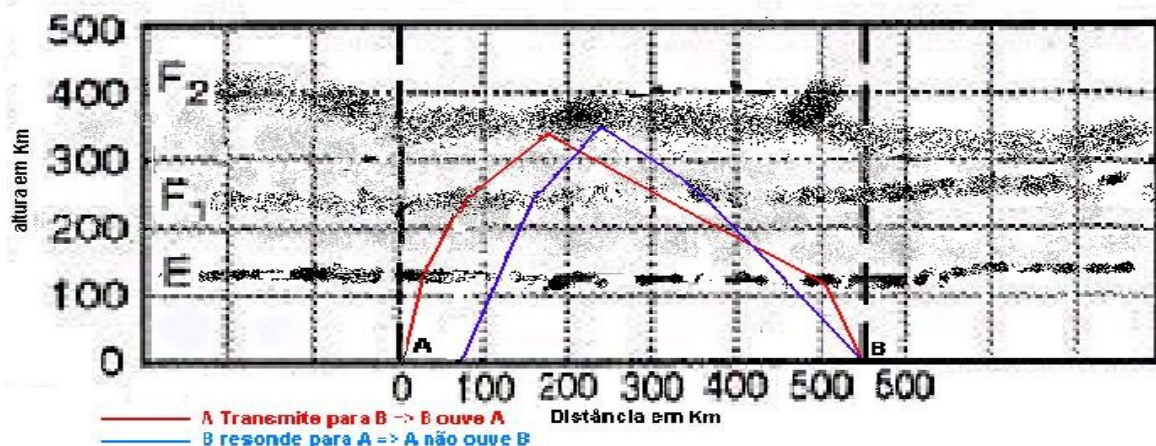
#### O Sol e os raios cósmicos

O maior agente de ionização da ionosfera, é o Sol, cuja radiação nas bandas de raio X, e luz ultravioleta, insere grande quantidade de elétrons livres em seu meio. Os meteoritos e raios cósmicos também são responsáveis pela presença secundária de íons na região. Na ionosfera a densidade de elétrons livres é variável de acordo com a hora do dia, estação do ano, e variações da composição da quimiosfera.

#### Densidade iônica

Nas zonas mais baixas da atmosfera, os elétrons livres e íons desaparecem. Isto ocorre devido à maior densidade de partículas mais pesadas, portanto, a recombinação prevalecerá sobre a ionização. A densidade dos gases nas zonas mais altas é muito baixa. A quantidade de radiação, ou seja, a energia vinda do espaço é muito grande até determinada altitude, contudo, não existem gases, átomos, ou moléculas livres suficientemente para serem ionizadas. Só haverá ionização à medida em que mergulhamos na atmosfera, até uma certa profundidade limítrofe. A luminescência atmosférica, vista do espaço, adquire as mais diversas tonalidades e cores, à medida em que fazemos o mergulho para dentro da atmosfera, dependendo da hora, temperatura, etc, adquire uma coloração que varia do verde-violeta ao vermelho alaranjado.

#### Reflexão ionosférica

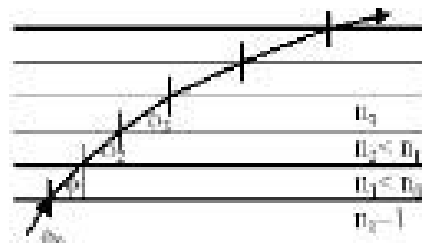


Canalização, espalhamento e reflexão através da ionosfera, são fenômenos concomitantes, porém algumas vezes concorrem entre si, outras vezes se somam. A reflexão ionosférica é explorada por sistemas de radiodifusão com as antenas de transmissão em ângulo baixo. As propriedades operacionais das ionosondas (sistemas compostos de transmissores, receptores e antenas direcionais apontadas diretamente para a ionosfera) propiciam um conhecimento do comportamento da região. O princípio da reflexão ionosférica em ângulos altos é utilizado há muitos anos para pesquisas, porém pouco utilizado nas comunicações. O efeito ocasionado por inúmeras camadas sucessivas de ionização leva à reflexão das ondas de rádio. Este efeito ocorre sobre uma faixa de alturas estreita e em baixas frequências, onde, ou os raios refratam, ou refletem. No caso da refração a distância atingida por estes é apreciável, chegando a milhares de

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

quilômetros. No caso da reflexão direta, esta não ultrapassa a algumas centenas de quilômetros. O espalhamento fraco e incoerente de energia ocorre devido às flutuações térmicas e aleatórias da densidade eletrônica no plasma ionosférico. Este espalhamento tem sua eficiência aumentada pelas irregularidades ionosféricas e pelo aumento da densidade iônica. A Máxima Frequência Utilizável, é a maior frequência possível onde pode ocorrer o fenômeno da reflexão ionosférica. Estas irregularidades dão origem a sinais de espalhamento direto e sinais de retroespalhamento (reflexão). No caso da reflexão direta, não há canalização, já no caso do espalhamento, ocorre a refração e a canalização ou dutificação dos sinais. A canalização de sinais a grandes distâncias ocorre em altura de ionização reduzida, porém não é regra. A probabilidade desta é nas camadas E e F, em alguns casos com ecos percorrendo toda a circunferência da Terra. Pode ocorrer a canalização, onde o sinal refrata e reflete ao mesmo tempo dentro de regiões irregulares do campo alinhado acima da região F também, porém sem íons livres isto não acontece.



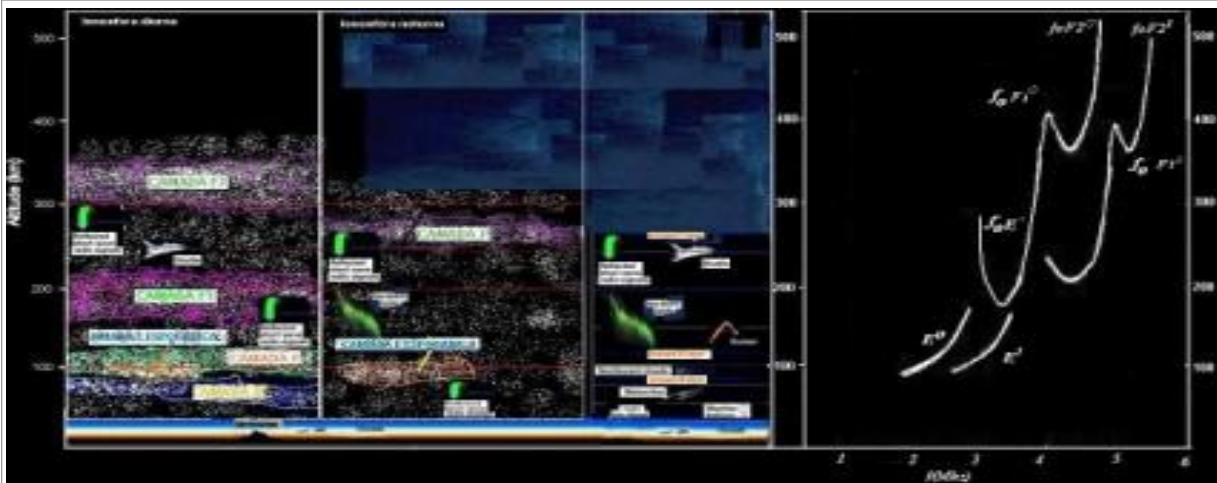
**REFRAÇÃO:** O índice de refração diminui com a altura, levando-se em conta um meio plasmático, com camadas paralelas de densidades semelhantes, de acordo com a Lei de Snell, um raio incidente procedente da Terra, se curvará até atingir uma trajetória horizontal.

No caso do raio ser emitido verticalmente, não haverá refração, devido à mesma Lei de Snell, haverá reflexão total em todas as camadas e em todas as direções, com o mínimo de perdas, desde que a emissão fique abaixo das frequências críticas de cada camada

A reflexão ionosférica pode levar ao fenômeno da cintilação, isto ocorre devido à atuação dos sinais perante as irregularidades ionosféricas que atuam como uma tela de fase variável nos sinais transionosféricos de fontes. Esta tela eletrônica dá origem a efeitos de difração com cintilação de amplitude, ângulo de chegada e fase. Portanto, num meio variável onde ocorrem densidades variáveis, ocorre o fenômeno da reflexão, refração e difração dos sinais de radiofrequência que pode ser simultâneo ou não.

## ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

### Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra



A camada D é a mais próxima ao solo, fica entre os 50 e 80 km, é a que absorve a maior quantidade de energia eletromagnética, seu comportamento é diurno, aparece no momento em que as moléculas começam a adquirir energia solar. Esta camada permanece por alguns instantes no início da noite. Ionicamente é a menos energética. É a responsável pela absorção das ondas de rádio durante o dia.

#### A camada E

Acima da camada D, existe a camada E, esta se localiza embaixo das camadas F1 e F2, sua altitude média é entre os 80 e os 100-140 km. Semelhante à camada D, durante o dia se forma e se mantém, durante a noite se dissipa. Em algumas ocasiões, dependendo das condições de vento solar e energia absorvida durante o dia, a camada E pode permanecer esporadicamente à noite, quando isto ocorre é chamada de camada E Esporádica. Esta camada tem a particularidade de ficar mais ativa quanto mais perpendiculares são os raios solares que incidem sobre si.

#### As camadas F1 e F2

A camada F1 está acima da camada E e abaixo da camada F2 ~100-140 até ~200 Km. Existe durante os horários diurnos, acompanhando o comportamento da camada E, podendo esporadicamente estar presente à noite. Serve de refletora em determinadas frequências, esta reflexão varia conforme a espessura que adquire ao receber energia solar. Normalmente a radiofrequência incidente que atravessa a camada E, atravessa a F1, porém muitas vezes refrata. Ao fazê-lo altera seu ângulo de incidência sobre a camada F2, refletindo nesta. A camada F2 é a mais alta das camadas ionosféricas, está entre os 200 e 400km de altitude. Acima da F1, E, e D respectivamente. É o principal meio de reflexão ionosférico utilizado para as comunicações em altas frequências à longa distância. A sua altitude varia conforme a hora do dia, época do ano, condições de vento e ciclo solares. A propagação e reflexão obedecem a estas variáveis. Seu aparecimento ocorre ao nascer do Sol, quando a camada F se desmembra em F1 e F2. A reflexão nesta camada pode gerar o aparecimento do fenômeno raro da dutificação da radiofrequência, ocasionando contatos à dezenas de milhares de quilômetros e ecos ionosféricos.

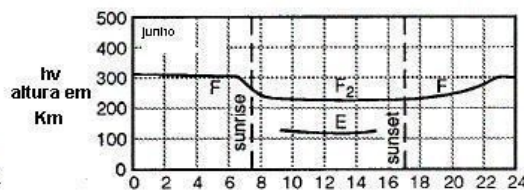
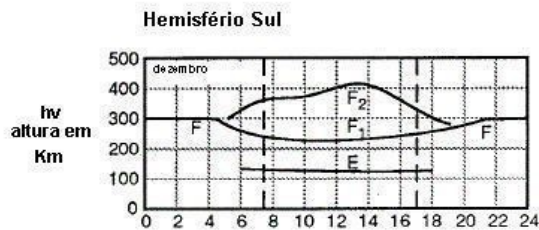
# ÂNGELO ANTÔNIO LEITHOLD PY5AAL

## Um breve resumo da Atmosfera e Ionosfera da Terra

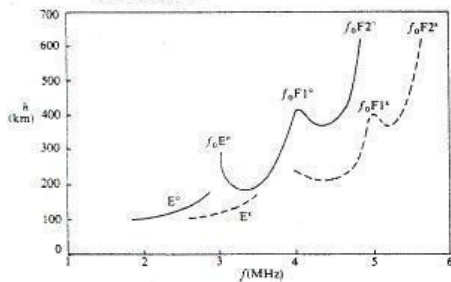
### IONOGRAMAS

A altura virtual, para uma incidência vertical, define-se como ( $h_v$ ) onde o ponto ideal de reflexão para o mesmo tempo de propagação com a velocidade da frente de onda, hipoteticamente, igual à velocidade da luz no vácuo medida com radares pulsados, chamados de sondas radioelétricas, cuja frequência ( $f$ ), é variável, onde se mede o tempo de propagação ( $\tau$ ) de emissões verticais, (ida e volta)

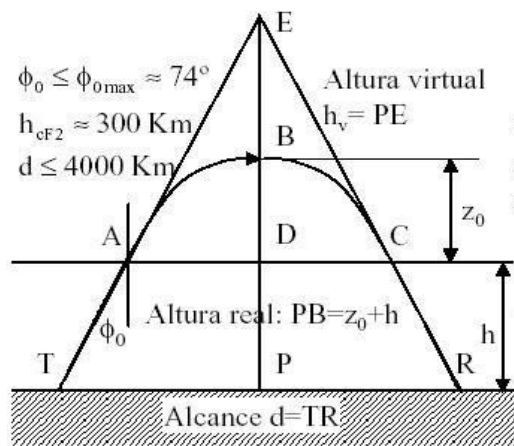
$$h_v(f) = \frac{\tau(f)c}{2}$$



### IONOGRAMA



Um ionograma, representa a altura das camadas de reflexão, conforme a frequência, os desdobramentos são causados pela anisotropia imprimida pelo campo magnético terrestre na ionosfera. Notar que à medida que a frequência aumenta, os padrões se repetem, até a máxima frequência de utilização.



$$\phi_0 \leq \phi_{0max} \approx 74^\circ$$

$$h_{cF2} \approx 300 \text{ Km}$$

$$d \leq 4000 \text{ Km}$$

Altura virtual

$$h_v = PE$$

Altura real:  $PB = z_0 + h$

Alcance  $d = TR$

Lei da Secante: A altura  $h_v$ , de uma emissão de frequência  $f$  e ângulo de incidência  $\phi_0$  é a mesma que corresponde a da frequência  $f_v$  que incide verticalmente é dada por:

$$f = f_v \sec(\phi_0)$$

$$h_v(f, \phi_0) \equiv h_{v \text{ ionograma}}(f / \sec \phi_0)$$

$$MUF_i(\phi_0) = f_{ci} \sec(\phi_0)$$

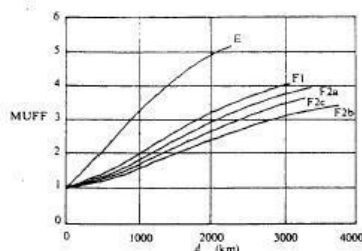
$$MUF_i(d) = f_{ci} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{2h_v}\right)^2}$$

Fator de Máxima Frequência Utilizável MUFF :

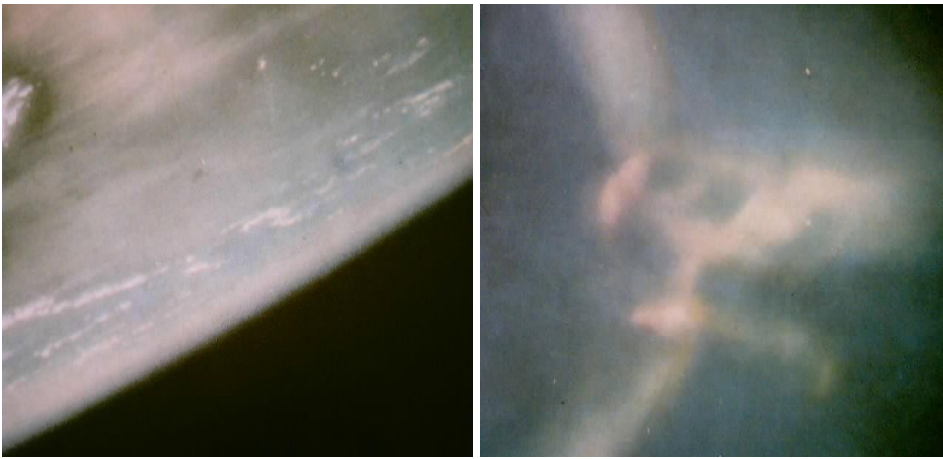
$$MUFF_i(d) = MUF_i(d) / f_{ci} \quad i = E, F1, F2$$

Frequência ótima de trabalho, (OWF):

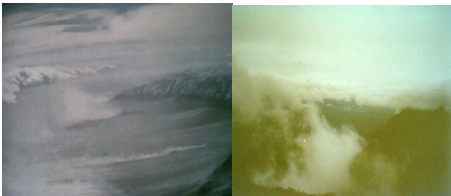
$$OWF_i(d) = 0,85 \cdot MUF_i(d)$$







Em cima: A Terra e a fina camada atmosférica que a envolve. As Auroras são um fenômeno na alta atmosfera, geradas por fenômenos ionosféricos.



Em cima: A atmosfera terrestre em grandes altitudes.



Em cima: Nas regiões polares e de montanha, é possível o estudo da atmosfera terrestre com os efeitos da presença humana minimizados.

## Derretimento da Geleira de Perito Moreno - Argentina

Embaixo: O degelo nas regiões polares, é fenômeno ocasionado pelo aquecimento global. Este afeta todas as condições atmosféricas em todo o globo terrestre. As descargas de gases têm ocasionado uma mudança drástica na estrutura físico-química não só da atmosfera baixa (Troposfera) , mas também na ionosfera terrestre.



Em cima: O clima terrestre está sofrendo alterações profundas, estas estão causando a rápida retroação inclusive (Embaixo) das geleiras.



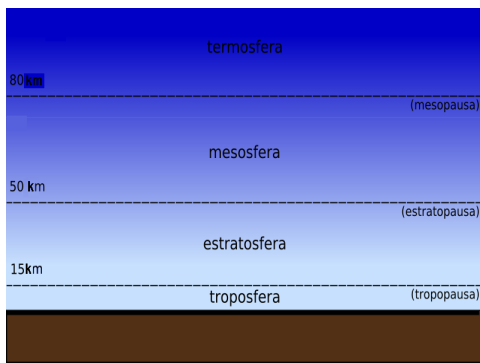
Em cima: As auroras (Boreal à esquerda – austral à direita acima) têm sofrido mudanças de comportamento significativas tanto no Hemisfério Norte, quanto no Hemisfério Sul, acredita-se que isto ocorre devidas alterações da composição iônica na alta-atmosfera.



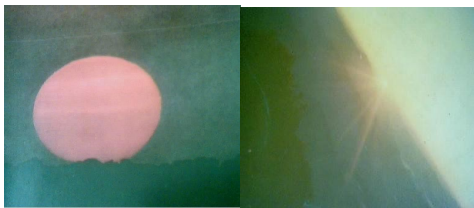
Em cima: A Aeroluminescência que ocorre em ocasiões de extrema ionização atmosférica, tem sofrido mudanças de comportamento, tudo indica que o fenômeno está sendo interferido pela descarga de milhões de toneladas de Carbono na atmosfera.

Embaixo: As tempestades com raios têm se tornado mais violentas, os índices de eletricidade atmosférica têm aumentado e as descargas causado mais perdas e danos.





Em cima: Ao ser aumentada a quantidade de elementos pesados na atmosfera, sua densidade está lentamente se alterando, isto influi diretamente na física da atmosfera e nos fenômenos que nela ocorrem.

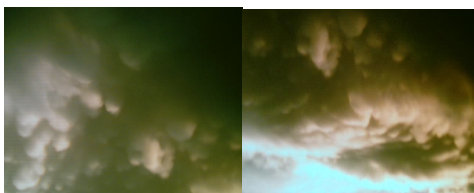


Em cima: A visão do nascer (Direita) e pôr (Esquerda) do Sol no ar translúcido, está ficando mais e mais difícil de se fotografar, seria isto devidas descargas de elementos poluentes?



Fotos (Em cima) como o furacão Catarina no Sul do Brasil (Em cima, visto do espaço, embaixo sob os efeitos reais do furacão), provavelmente serão, com o passar do tempo, comuns de se fazer. Presume-se que as mudanças climáticas geradas pelo aquecimento global gerarão um aumento nas grandes tempestades tropicais, em número e intensidade.

Embaixo: Furacão Catarina, à esquerda, um dos braços. À direita o "olho" do furacão.





## Apêndice I – Sobre antenas e sua utilidade nas pesquisas da Ionosfera.

Considerações sobre ganho de antenas de feixe dirigido para a ionosfera. Para se fazer experiências e medições na pesquisa ionosférica, é necessário tecer algumas considerações sobre antenas, principalmente porque as utilizadas em ionossondas devem possuir características especiais. Para o projetista de antena, o "ganho de uma antena" é o logaritmo da relação da intensidade do padrão de radiação de uma antena na direção da radiação mais forte, para uma antena de referência. Se a antena de referência for isotrópica, o ganho é expresso em unidades de dBi (decibéis sobre o isotrópico). Por exemplo, uma antena dipolo tem um ganho de 2.14 dBi . Frequentemente, a antena dipolo é usada como referência no lugar de um elemento isotrópico (uma vez que a referência isotrópica perfeita é impossível de construir) pois, o ganho da antena em questão é medido em dBd (decibéis sobre o dipolo). O ganho de antenas é fenômeno considerado "passivo" (Ao contrário de ganho de amplificadores, estes são dispositivos "ativos"), pois, não existe "amplificação" do sinal de recepção ou transmissão. Ou, a potência não é somada pela antena, mas a "energia irradiada" ou recebida, é redistribuída para prover o sinal mais irradiado em determinada direção que seria transmitido por uma antena isotrópica. Se uma antena tiver um ganho positivo em algumas direções, tem que ter um ganho negativo em outras direções devida lei de conservação de energia, pois, esta não é criada pela antena. O ganho que pode ser alcançado por uma Antena é então o intercâmbio entre a gama de direções que devem ser cobertas entre esta e o seu ganho. Por exemplo, uma antena parabólica instalada num satélite artificial tem um ganho muito grande, mas só em cima de uma gama muito pequena de direções, por isso deve ser apontada com precisão para o Planeta Terra. Para antenas parabólicas, o ganho é proporcional à abertura (área do refletor) e precisão de superfície da parábola, como também a frequência de transmissão e recepção. Em geral, uma abertura maior provê um ganho mais alto. Também, em frequências maiores, o ganho será maior quanto maior a antena, mas, inexatidões na superfície conduzem a uma degradação maior de ganho a frequências mais altas. "Abertura", e "padrão de radiação" estão relacionados para ganhos em pequenas distâncias. A abertura é a forma do lóbulo na seção transversal na direção do sinal mais alto, e é lida bidimensionalmente. Às vezes, a abertura é expressa como o raio do círculo que aproxima da seção transversal ou o ângulo do cone. O padrão de radiação, é o padrão tridimensional do ganho, normalmente é considerado graficamente só as seções transversais entre si, ou seja, horizontais e verticais bidimensionais representadas no padrão de radiação em direção à frente de propagação de onda. Lóbulos laterais, em geral, detraem a qualidade da antena sempre que o sistema está sendo usado para determinar a direção de um sinal, (como em sistemas de radar) e reduz ganho no lóbulo principal de distribuição de potência.

## Apêndice 2 - As pesquisas da região ionosférica no Brasil

Esquema de procedimentos para levantamento de ionogramas através da reflexão ionosférica utilizando ionossondas é utilizado no Brasil onde a pesquisa da ionosfera é principalmente executada pela Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. Os estudos ionosféricos iniciaram em 1963, através da recepção de sinais de satélites. Em 1973, em Cachoeira Paulista, SP, a pesquisa através de ionossondas teve seu aprimoramento e alargamento dos dados coletados. Em 1975, em Fortaleza, Ceará foram instalados equipamentos de pesquisa, entre estes antenas transmissoras e ionossondas de grande precisão. Em 1984, o Ministério da Aeronáutica brasileiro autorizou o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) a efetuar experiências e sondagens com foguetes ionosféricos e equipamentos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A Universidade Estadual do Maranhão e o INPE, firmaram um convênio tecnológico e construíram um observatório espacial em São Luis, Maranhão, este foi equipado com uma digissonda, e um radar de espalhamento coerente (ESCO). A função destes instrumentos científicos é estudar o comportamento da ionosfera, os processos dinâmicos, eletrodinâmicos e químicos do plasma. Os dados recolhidos através de sensoriamento remoto utilizam foguetes, satélites, sistemas de modelagem e simulação dos processos ionosféricos e termosféricos.

### Apêndice 3 - Propagação de ondas eletromagnéticas.

A propagação de ondas eletromagnéticas no plasma ionosférico, se comporta analogamente como ondas sônicas dentro de fluidos de diferentes densidades. Ora refletindo, ora refratando, ora sem oferecer resistência alguma. Num plasma com  $n$  colisões por segundo de partículas, entre estas: íons; átomos; moléculas; elétrons; neutrinos; etc, o movimento termo-eletrônico tem características ora fluidas, ora sólidas, ora gasosas. O plasma ionosférico não é líquido, nem sólido, tampouco gasoso, seu comportamento é difícil de prever, por isso as previsões de condições de propagação de radiofrequência são tão complexas.

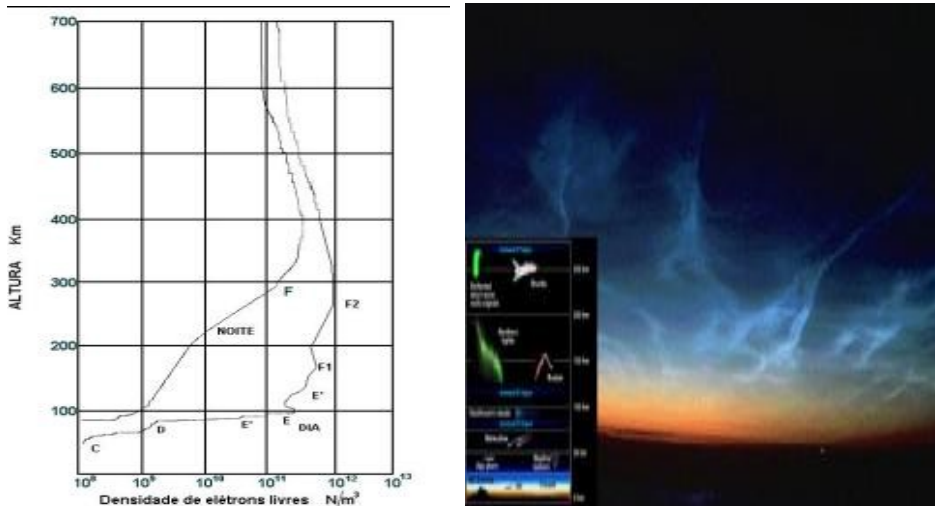
#### Pequeno histórico da descoberta da Ionosfera

Em 1899, Nikola Tesla pesquisou modos para utilizar a ionosfera para transmissão de energia a longas distâncias. Nas suas experiências transmitiu sinais de muito baixa frequência entre a terra e a ionosfera. Baseado nos resultados de suas experiências, compilou os dados obtidos e chegou à conclusão que a uma frequência de ressonância da região dentro de 15% do valor experimental aceito atualmente. Em meados da década de cinquenta, experiências realizadas confirmaram que a frequência ressonante da ionosfera estava na gama de 6.8 Hz. (Corum, 1986) , (Grotz, 1997). Guglielmo Marconi, utilizando a propagação ionosférica, recebeu o primeiro sinal transatlântico de rádio no dia 12 de dezembro de 1901, em St. John, Newfoundland (agora no Canadá) usando uma antena de 400 pés. A estação transmissora localizada em Poldhu, Cornwall, utilizou um transmissor composto de centelhadores sintonizados para produzir um sinal com uma frequência de aproximadamente 500 kHz. A mensagem recebida era três pontos, a letra “S” do código Morse. Para alcançar Newfoundland o sinal irradiado teria que saltar duas vezes a ionosfera, isto é, teria que irradiar para a ionosfera, retornar à terra, refletir para a ionosfera, e retornando à terra novamente. Marconi conseguiu realizar as comunicações transatlânticas sem fio definitivamente em 1902 em Glace Bay. Ainda em 1902, Oliver Heaviside propôs a existência de uma camada ionosférica devidas experiências de Marconi, por isso esta se chama de camada de Kennelly-Heaviside. A proposta de Heaviside incluiu meios pelos quais são transmitidos sinais de rádio ao redor da curvatura da Terra, a sua proposta, acrescida erroneamente à “lei de Planck” (da radiação de corpo negro), provavelmente foi o que impediu o crescimento da radioastronomia, e, por consequência a descoberta das ondas eletromagnéticas de corpos celestes até 1932, retardando assim, inclusive o desenvolvimento dos transceptores de VHF naquela época. Portanto, devidas “crenças” científicas improváveis, houve atraso tecnológico por alguns anos. Também em 1902, Arthur Edwin Kennelly descobriu algumas das propriedades radielétricas da ionosfera, uma destas foi a dutificação dos sinais de RF. Em 1912, o Congresso norte-americano impôs o “Ato do Rádio de 1912”, em que radioamadores, tinham limitadas suas operações a frequências de HF até 1.5 MHz . Isto se deu porque os técnicos do governo americano acreditavam que as frequências altas eram inúteis, conduzindo assim à descoberta definitiva do HF e da radiopropagação pela ionosfera em 1923. Edward V. Appleton foi premiado em 1947 com o Prêmio de Nobel pela confirmação definitiva da existência da ionosfera em 1927. Muitos dos gráficos mostrados aqui foram baseados no trabalho de Lloyd Berkner que mediu a altura e a densidade das camadas ionosféricas permitindo assim a elaboração da teoria da propagação de rádio de ondas curtas. Maurice V. Wilkes e J. A. Ratcliffe pesquisaram a propagação de rádio de ondas muito longas através da ionosfera. Vitaly Ginzburg desenvolveu a teoria de propagação eletromagnética em protoplasmas. E finalmente em 1962 o satélite canadense Alouette 1, o Alouette 2 em 1965, e os dois satélites ISIS em 1969 e 1971 foram utilizados para estudar as camadas ionosféricas..

## A Ionosfera e as suas camadas segundo a ionização.

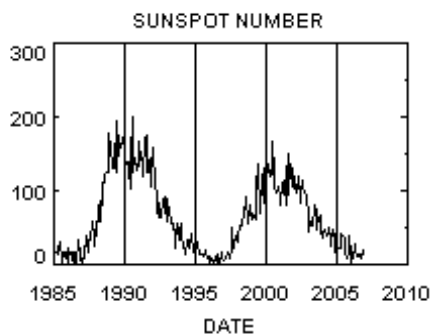
Nas camadas ionosféricas a distribuição média de elétrons por metro cúbico varia muito. Do solo para cima a ionosfera se divide em camadas de ionização. Estas variam conforme a hora do dia, estações do ano e condições solares e são denominadas "camada D; camada E; camada E esporádica; camada F1; e camada F2.

Embaixo- Esquerda: Ionograma. Direita: Foto Eletroluminescência.



## O ciclo dos 11 anos.

Embaixo: Gráfico representativo do avanço do Ciclo Solar.



A cada 11 anos, obedecendo ao Ciclo Solar, a densidade de elétrons e a composição da ionosfera sofrem mudanças radicais. Muitas vezes estas mudanças bloqueiam totalmente as comunicações em alta frequência. A composição da atmosfera a partir dos cem quilômetros de altitude, embora tênue, varia. Os gases O<sub>2</sub>; O; N<sub>2</sub>; N na alta atmosfera estratificam-se e absorvem radiações quantitativamente, uma vez que o nível de absorção varia conforme sua densidade. A densidade de ionização varia proporcionalmente com a altura formando desta forma camadas de absorção distintas e variáveis, conforme a hora do dia, temperatura e irradiação solar.

## Insolação

A ionosfera, dependendo da insolação, nas bandas de Raio-X e luz ultra-violeta, separa-se em camadas, isso ocorre devida absorção energética de seus componentes.

Quando a incidência não é vertical, a frequência máxima de retorno de cada camada depende

do ângulo de incidência  $\theta_i$ :  $n_1 = \cos(\theta_i)$

$$\cos(\theta_i) = \sqrt{1 - \frac{N_{max}}{f_{max}^2}} \Rightarrow MUF_1 = f_{max} = f_{c1} \cos(\theta_i)$$

Como o ângulo máximo de incidência na ionosfera

( $\theta_{max}$ ) se obtém para uma elevação  $\Delta = 1^\circ$  na Terra

( $f_A$ ), a frequência mais elevada que reflete para a Terra, corresponde a camada F2, valendo em torno de

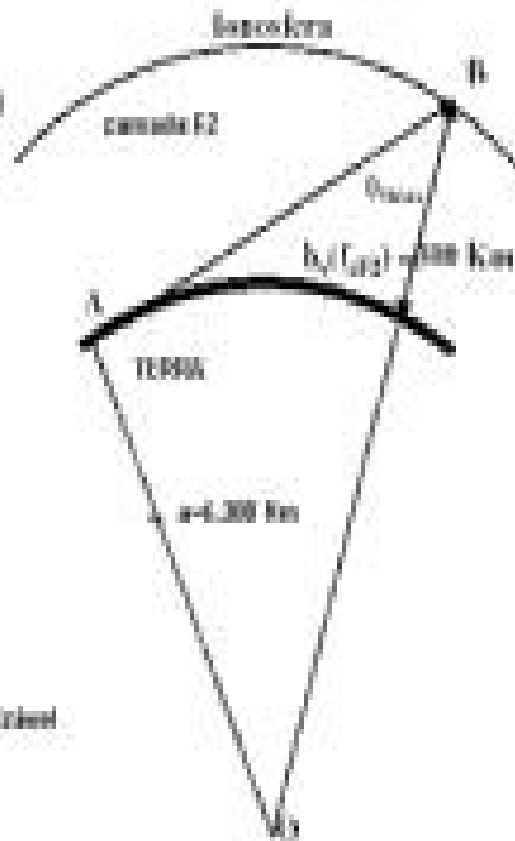
$$MUF_{F2} = f_{cF2} \cos(\theta_{max})$$

$$MUF_{F2} = f_{cF2} \frac{a+h}{\sqrt{(a+h)^2 - a^2}}$$

$$MUF_{F2} = 4f_{cF2}$$

$$MUF_{F2} = 30 \text{ MHz}$$

obs.: MUF - Máx. freq. utilizada



No plasma ionosférico encontramos condutividade iônica e permissividade eletromagnética, isto é, em alguns momentos parece se comportar como um condutor elétrico ou placa metálica, em outros pode se comportar como um condutor sintonizado em determinadas frequências podendo refletir ou refratar determinados comprimentos de onda praticamente sem perdas, absorver outros comprimentos de onda inutilizando totalmente a propagação destas.

## Variação da densidade ionosférica.

Durante o dia o aumento da densidade ionosférica é significativo, conseqüentemente, a altitude da região diminui. À noite com a diminuição da densidade, a ionosfera aumenta sua altitude ficando mais tênue, propiciando um aumento da propagação de ondas de rádio para distâncias maiores.

## BIBLIOGRAFIA

- \*ABDU, M. A., Outstanding problems in the equatorial ionosphere–thermosphere electrodynamics relevant to spread F, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 63, p. 869 – 884, 2001.
- \*Corum, J. F., and Corum, K. L., "A Physical Interpretation of the Colorado Springs Data".  
\*Proceedings of the Second International Tesla Symposium. Colorado Springs, Colorado, 1986.
- \*Kelley, M. C, and Heelis, R. A., "The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics". Academic Press, 1989.
- \*Leo F. McNamara. (1994) ISBN 0-89464-807-7 Radio Amateurs Guide to the Ionosphere.
- \*Stix, Thomas Howard. Waves in Plasmas (1992).
- \*Tascione, Thomas F. (1994). Introduction to the Space Environment, 2nd. Ed.. Malabar, Florida USA: Kreiger Publishing CO.. ISBN 0-89464-044-5.
- \*ANALYSIS, IV EPG Encontro Latino Americano de Pós-Graduação Científica, 2004, São José dos Campos – SP.
- \*BERTONI, Fernando C. Perin. Derivas Ionosféricas em Latitudes Equatoriais: Observações e Modelagem. 149p. Tese de Doutorado em Geofísica Espacial. São José dos Campos: INPE, 2004.
- \*Davies, K., 1990. Peter Peregrinus Ltd, London. ISBN 0-86341-186-X Ionospheric Radio.
- \*Grotz, Toby, "The True Meaning of Wireless Transmission of power". Tesla : A Journal of Modern Science, 1997.
- \*Hargreaves, J. K., "The Upper Atmosphere and Solar-Terrestrial Relations". Cambridge University Press, 1992,
- \*K.Rawer and Y.V.Ramanamurty (eds) (1 January 1986). International Reference Ionosphere - Status 1985/86. Pergamon Press. IRI85-6.
- \*Swanson, D.G. Plasma Waves (2003). 2nd edition.