

MANUAL DO PROGRAMA MMANA

Programa de Análise de Antenas

pelo

Método dos Momentos

Por Roland Zurmely (revisado por Walter P. Carpes Jr.)

O programa MMANA (de Makoto Mori)

Por Roland Zurmely (revisado por Walter P. Carpes Jr.)

Introdução.

Atendendo a pedidos de diversos colegas radioamadores, tentarei explicar, de forma simplificada, o princípio de funcionamento e o uso do excelente programa "freeware", MMANA, para análise de antenas, do nosso colega radioamador Mako, autor dos famosos MMTTY e MMSSTV.

No arquivo de ajuda do MMANA, Mako supõe que o usuário tenha familiaridade com o método dos momentos (*Method of Moments MoM*), usado no programa. Como vou explicar resumidamente o MoM, ainda me resta supor que o leitor tenha noções de números complexos, linhas de transmissão em RF e antenas.

Não tenho vergonha de dizer que não conheço a matemática do MoM, pois envolve cálculos numéricos extremamente complexos, que até poucos anos atrás só eram possíveis em computadores de grande porte, como nos anos 80, quando surgiu um programa em Fortran chamado NEC (Numerical Electromagnetic Codes), desenvolvido no Naval Ocean Systems Center em San Diego, CA.

Agora, na era dos computadores pessoais PC, os tais cálculos são coisa relativamente fácil. Foram criados então o Mininec (no qual é baseado o MMANA), o NEC4 e outros.

O princípio do MoM.

O MoM consiste em dividir todos os elementos (condutores ou fios elétricos) de uma antena em N pequenos segmentos retos, de forma que o tamanho de cada segmento seja da ordem e um décimo do comprimento de onda ou menos.

Os pontos imaginários que delimitam e unem eletricamente os segmentos são chamados em inglês de "pulses", palavra que eu traduzi para pulsos, para não confundi-los com nós de corrente (apesar da grande semelhança), porque um pulso pode conter uma fonte e/ou uma carga, o que não ocorre com um nó de corrente. A extremidade aberta do último segmento de um elemento não é um pulso.

Resumindo: se, por exemplo, dividirmos o diretor de uma antena Yagi em 10 segmentos, teremos 9 pulsos. (No MMANA, os pulsos são representados por pequenos X verdes na vista tridimensional da antena, em View, Segments, como se vê na fig. 2).

No MoM, cada segmento é considerado como uma pequena antena dipolo de Hertz. Isto porque o comportamento deste dipolo é bem conhecido e existem formulas matemáticas para descrevê-lo. O programa calcula as correntes nos segmentos e os campos gerados a uma certa distância, e então calcula o somatório dos campos gerados por todos os segmentos, para obter os valores dos campos elétrico e magnético irradiados como um todo pela antena. É evidente que são levadas em conta as interferências ou influências mútuas destes campos em cada segmento, de cada um em relação a todos os outros. E é levado em conta o tipo de material usado para incluir as perdas, e eventualmente também a presença do solo.

Quanto menores os segmentos, mais precisos serão os resultados, mas também os cálculos serão muito demorados, mesmo em máquinas muito rápidas. O tempo de cálculo é proporcional a N ao cubo! E a quantidade de matrizes e portanto memória de computador necessária é proporcional a N ao quadrado!

Por exemplo, no MMANA, 1024 pulsos precisam de 8 Megabytes de memória. O dobro de pulsos, 2048 pulsos, gastam dois ao quadrado, ou quatro vezes mais memória, ou seja, 32 Mb. Portanto, 8192 pulsos (o máximo permitido no MMANA) precisam de 512 Megabytes de memória RAM!

Coordenadas tridimensionais XYZ.

Para que o programa possa analisar uma antena, é preciso que você forneça o tamanho e a posição exata de cada condutor que a compõe. Por exemplo, uma antena Yagi simples pode ser descrita em apenas um plano, ou seja, em duas dimensões. Mas uma cúbica de quadro só pode ser descrita em três dimensões, pois ocupa um volume. Portanto, foi escolhido o método dos três eixos ortogonais: X, Y e Z.

Simplificando: suponha que você esteja em pé, com os braços estendidos na horizontal, e olhando para frente. Então você está olhando no sentido +X, que também corresponde ao azimute zero no diagrama polar de irradiação, no plano horizontal. No sentido contrário, atrás das suas costas, está o eixo -X, ou 180° de azimute. O braço esquerdo aponta para -Y, ou -90° de azimute e o braço direito para +Y, ou 90° de azimute. Na vertical, acima de sua cabeça, está o eixo +Z, ou ainda zero graus de zênite, e na vertical, para baixo dos seus pés está o eixo -Z, ou 180° de zênite. Imagine que seus braços estendidos formam uma antena dipolo. O ponto bem no meio dos braços (a base do seu pescoço) é o centro do dipolo onde fica o ponto de alimentação, e geralmente tem por coordenadas: $X=0$, $Y=0$ e $Z=0$, considerando a antena em espaço livre, ou seja, muito longe do solo.

Exemplo 1: Um dipolo horizontal com comprimento total de 10m tem então como coordenadas XYZ: (0, 5, 0) numa ponta e (0, -5, 0) na outra ponta e (0, 0, 0) no centro. Note que as coordenadas são especificadas sempre na seqüência X, Y, Z. Portanto (0, -5, 0) significa $X = 0$, $Y = -5$ e $Z = 0$. Se você colocar na frente do dipolo, no plano horizontal, um elemento diretor para formar uma Yagi, com por exemplo 4 metros de espaçamento e 9 metros de comprimento, então as coordenadas XYZ do diretor serão : início em (4, 4.5, 0) e final em (4, -4.5, 0). Colocando um refletor com 11 metros de comprimentos e 3 metros atrás do dipolo radiador original, então as coordenadas do refletor serão: (-3, 5.5, 0) e (-3, -5.5, 0).

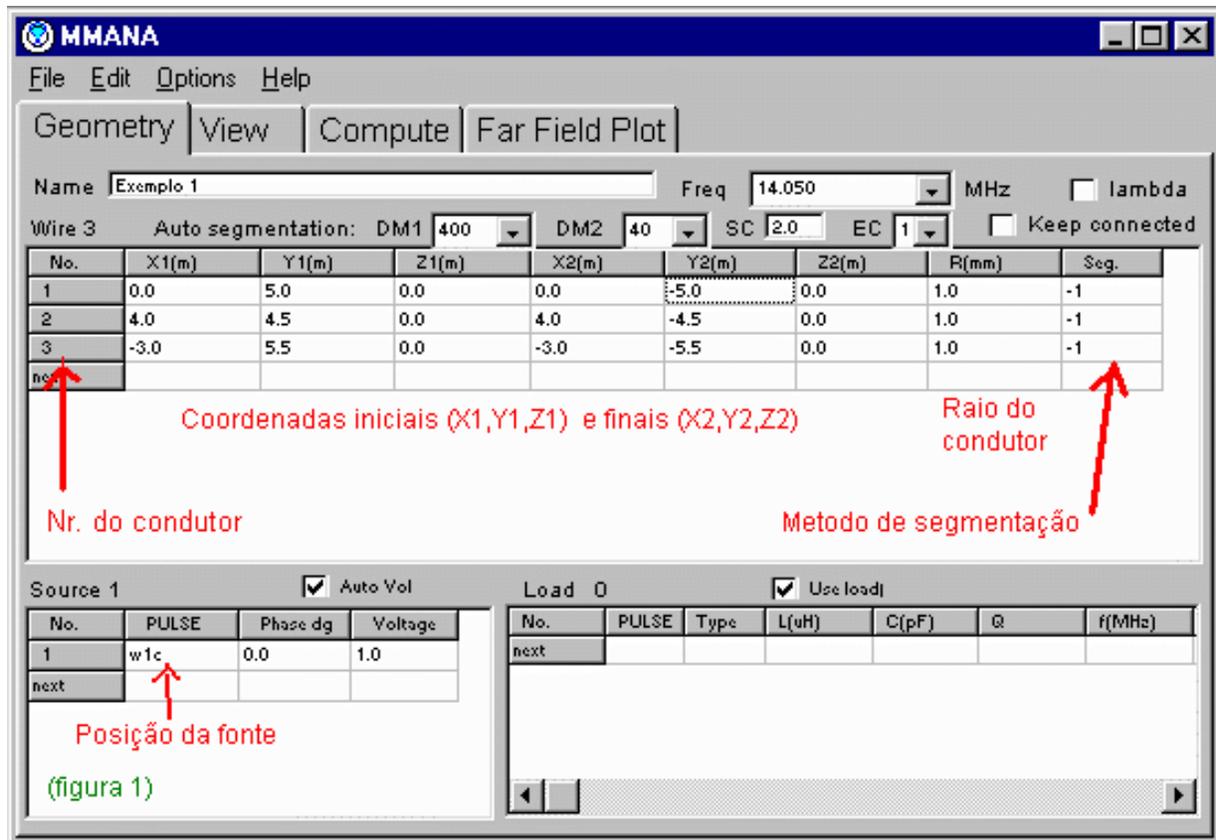
Obs.: estou usando o ponto como separador decimal, para não confundi-lo com as vírgulas que separam X,Y e Z. Observe também que todos os três elementos estão no mesmo plano, pois todos têm zero para a coordenada Z.

Definição dos condutores da antena.

No MMANA, as duas extremidades de um condutor retilíneo isolado são denominadas 1 e 2. Portanto, todo condutor será especificado por: início em (X1,Y1,Z1) e final em (X2,Y2,Z2). Qualquer ponta pode ser tanto início como fim. Portanto, somente podem ser definidos fios ou

condutores retos. Um condutor curvo ou um ângulo devem ser modelados usando vários segmentos retos. E se dois ou mais condutores se cruzarem no mesmo ponto, não haverá contato elétrico, pois cada fio é considerado como sendo isolado. (Para conectar dois ou mais condutores, veja na parte 2). Esta definição é feita na tabela "Geometry" (fig.1), onde também se informa o Raio do condutor.

A antena Yagi do nosso exemplo 1 ficaria especificada no MMANA como na figura 1 seguinte, respeitando a ordem de entrada dos fios na tabela, fio 1 = radiador, fio 2 = diretor e fio 3 = refletor. (Obs.: os fios ou condutores podem ser definidos em qualquer seqüência ou ordem).



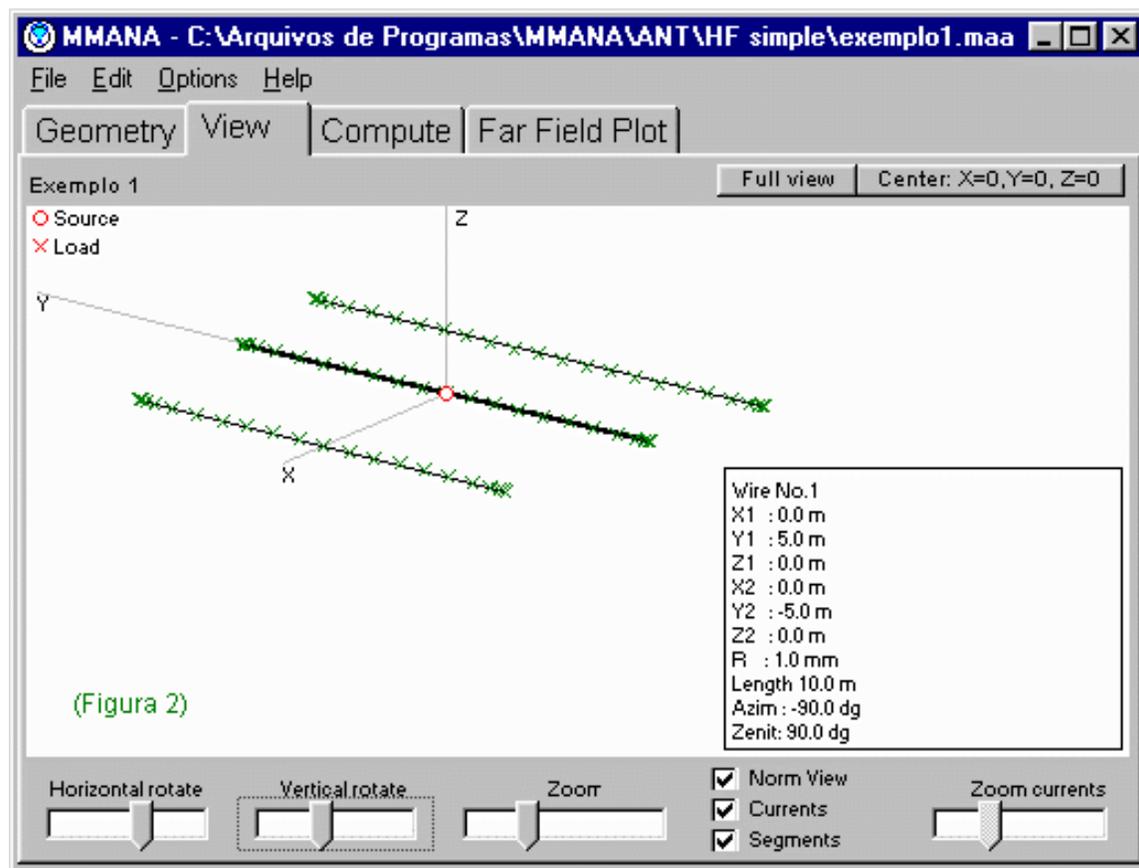
Fontes e cargas.

No MMANA, as fontes e/ou as cargas somente podem ser inseridas nos pulsos. A fonte representa o ponto de alimentação da antena. A carga pode ser um elemento reativo (indutivo ou capacitivo) de acoplamento ou sintonia, ou ainda uma carga resistiva, como no final de uma antena rômica. Quando uma fonte e/ou uma carga é inserida num pulso, deixa de existir a conexão elétrica dos dois segmentos para dar lugar à fonte ou à carga ou aos dois em série. Existe portanto uma interrupção isolante infinitesimal do condutor no ponto do pulso onde é colocada uma fonte ou uma carga.

Por exemplo, vamos colocar uma fonte (ponto de alimentação) no centro do elemento do meio (radiador) da antena Yagi anterior. Como na tabela o radiador corresponde ao primeiro condutor,

então definimos a fonte como sendo w/c , ou seja, no centro do fio 1. ($w = \text{wire} = \text{fio}$ e $c = \text{center} = \text{centro}$). O arquivo de ajuda do MMANA mostra as demais formas de posicionamento de uma fonte ou carga.

A figura 2 mostra uma vista tridimensional do nosso exemplo. O círculo vermelho representa a fonte. Observe que o fio 1 está em negrito, e os seus dados aparecem no quadro inferior direito da fig.2. Ao mesmo tempo observe que na fig.1 o cursor está posicionado em algum lugar também no fio 1. Clicando em cima de um outro fio, o quadro mostra as suas características. Observe também o azimute do fio, no caso -90° , pois na tabela ele foi definido com início em $y = 5$ e fim em $y = -5$, portanto apontando para o eixo $-Y$. E o seu zênite de 90° , pois o fio está na horizontal (tem as mesmas coordenadas $Z1$ e $Z2$).



Segmentação dos condutores.

Vimos que cada condutor deve ser segmentado para que possa ser aplicado o MoM. Vimos também que os segmentos devem ser pequenos comparados ao comprimento de onda. Mas vimos também que um número grande de segmentos torna o cálculo extremamente demorado e gasta muita memória. Qual é então a quantidade ideal ou razoável de segmentos? As regras práticas são as seguintes:

- Um condutor retilíneo não precisa ser dividido em muitos segmentos, a não ser nas suas extremidades;
- Um condutor em forma de círculo deve ser decomposto em segmentos retos. No ponto onde um condutor faz um ângulo (o canto do quadro de uma cúbica, por exemplo), devem ser criados mais segmentos, assim como num ponto onde o condutor se aproxima muito da terra (extremidades de uma antena em V invertido, por exemplo) ou ainda quando o condutor fica muito perto de outro (linha de transmissão bifilar, por exemplo).

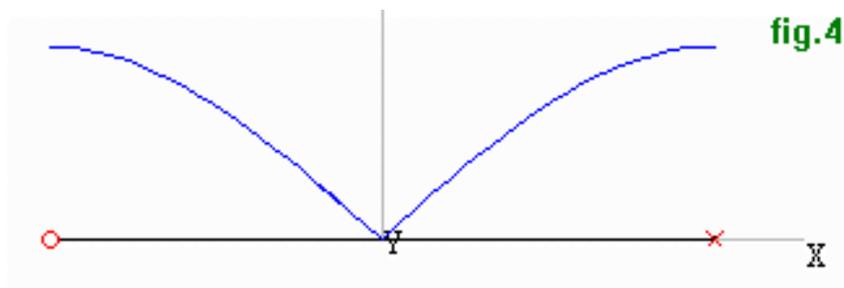
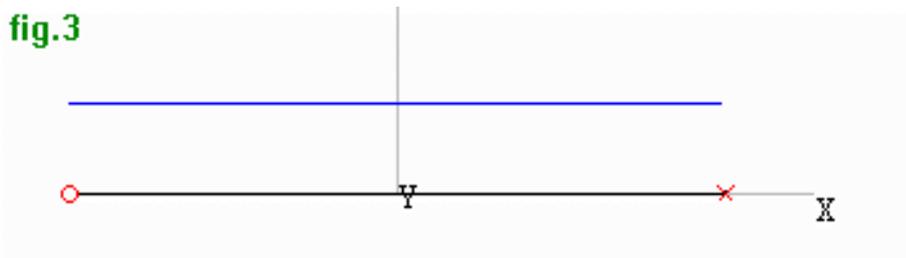
O MMANA permite três formas básicas de segmentação: uma manual, onde o usuário informa com um número positivo a quantidade de segmentos que o condutor deve ter, e duas formas automáticas seguintes:

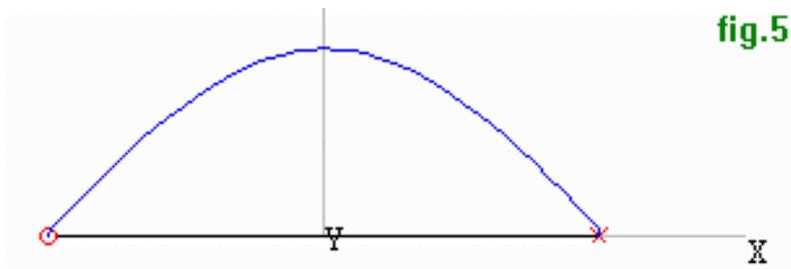
- Informando “0” (zero) para o número de segmentos, o MMANA divide automaticamente o condutor em segmentos idênticos, com valor próximo a $\lambda/DM2$, onde λ é o comprimento de onda na frequência de cálculo e DM2 um parâmetro escolhido pelo usuário;
- Informando “-1” para o número de segmentos, o MMANA realiza uma segmentação automática e variável (escalonada) ao longo do condutor, com segmentos cujo comprimento varia desde $\lambda/DM1$ nas suas pontas, até $\lambda/DM2$ no meio do condutor. Pessoalmente, acredito que este é o melhor método na maioria dos casos. O arquivo de ajuda ainda informa outras possibilidades. (O parâmetro EC define quantos segmentos mantém o valor $\lambda/DM1$. O parâmetro SC informa a velocidade de mudança do escalonamento).

A figura 2 mostra um exemplo de segmentação automática escalonada com parâmetro “-1”, e DM1 e DM2 default.

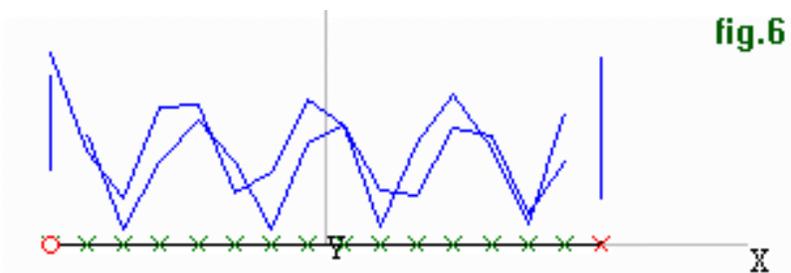
Como saber se a quantidade de segmentos é adequada e gerou um cálculo preciso?

É só refazer o cálculo com um número um pouco maior ou menor de segmentos. Se não houver diferença significativa nos resultados de R, jX, SWR e G, é sinal que a quantidade de segmentos é razoável. Uma outra forma de verificar a adequação da segmentação é observar a distribuição das correntes nos condutores, que deve ser uniforme, como nas figuras 3, 4 e 5 e sem variações bruscas.





As figuras acima correspondem a uma linha de transmissão bifilar, com meia onda de comprimento, terminada com uma carga igual à impedância característica da linha na fig.3, em curto circuito (carga = $0 + j0$) na fig.4, e em circuito aberto (carga de impedância infinita), na fig.5. Nos dois últimos casos, observa-se perfeitamente o nó e ventre das ondas estacionárias de corrente, com comprimento de meia onda. A figura 6 mostra um caso de segmentação mal feita. Observe as variações bruscas de corrente e mesmo a ausência de corrente no último segmento do lado da carga.

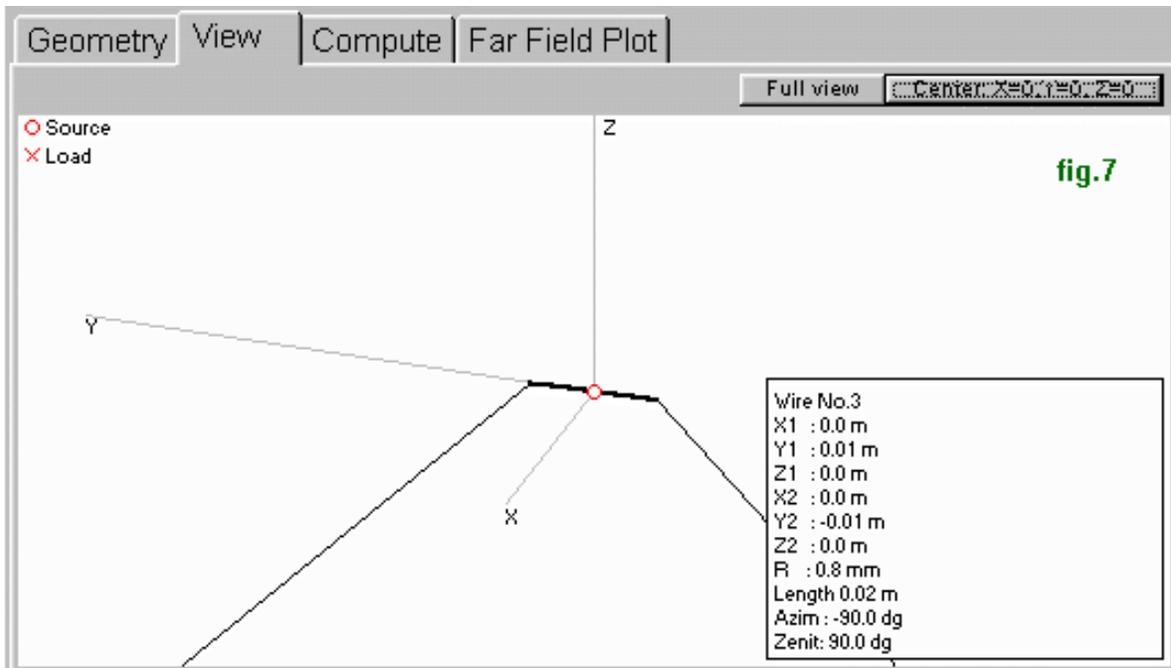


Interconexão dos condutores.

Para definir um simples dipolo basta definir um único condutor e colocar a fonte no meio, como no caso do radiador do exemplo 1 anterior. Mas, para definir um dipolo em V invertido, devemos definir dois condutores, pois somente podemos definir segmentos de reta. E para poder inserir a fonte, precisamos de um terceiro condutor bem curto, ligado aos dois primeiros. Para que dois ou mais condutores fiquem interligados, cada um deve ter uma extremidade com exatamente as mesmas coordenadas. Veja o exemplo do V invertido: (coordenadas $X1, Y1, Z1$ e $X2, Y2, Z2$)

- fio 1: $(0, 0.01, 0)$ e $(0, 5, -5)$ \Rightarrow ma metade do dipolo;
- fio 2: $(0, -0.01, 0)$ e $(0, -5, -5)$ \Rightarrow outra metade;
- fio 3: $(0, 0.01, 0)$ e $(0, -0.01, 0)$ \Rightarrow fio de 2 cm de comprimento que irá conter a fonte, em $w3c$.

Veja o resultado na figura 7, onde foi dado *zoom* no fio 3.



Para fazer uma derivação em T com dois condutores, ou seja, ligar a extremidade de um condutor ao centro (ou qualquer outro lugar excluindo as extremidades) do outro condutor, devemos definir três condutores: o topo do T deve ser dividido em dois pedaços que terão em comum duas extremidades e com as mesmas coordenadas de uma extremidade da base do T.

Exemplo:

- fio 1: (1, 0, 0) e (0, 0, 0);
- fio 2: (0, 0, 0) e (2, 0, 0);
- fio 3: (0, 0, 0) e (0, 0, -4).

As coordenadas do ponto de conexão neste exemplo são (0, 0, 0). Os fios 1 e 2 formam o topo do T com 3 metros de comprimento, na posição horizontal. O fio 3 tem 4 metros de comprimento, é vertical e é ligado a 1 metro do início do fio de topo.

Posicionamento de fontes e cargas.

Fontes e cargas são posicionadas somente em pulsos, e usando a seguinte convenção:

- $wncm$: m pulsos fora do centro do fio n (m pode ser negativo);
- $wnbm$: m pulsos depois do início do fio n
- $wnem$: m pulsos antes do fim do fio n .

Por exemplo, já vimos o que wlc significa : no centro do fio 1 (pois a variável m vale 0 quando omitida).

Obs.: o início ou o fim de um fio, para posicionamento de fonte ou carga não é o ponto físico de início ou fim, mas o primeiro pulso próximo ao início ou fim. Portanto, se posicionarmos uma fonte em $w2b3$, esta fonte fica situada no quarto pulso depois do início do fio 2 ($4 = 3 + 1$).

Uma fonte, depois de posicionada, assume o valor *default* de 1 Volt com fase 0° . O valor da tensão não tem a menor importância (desde que diferente de zero). A fase é muito importante quando temos mais de uma fonte como, por exemplo, numa HB9CV, onde os dois elementos são alimentados por duas fontes com 135° de defasagem entre elas. O valor das cargas pode ser informado de três formas: valores de L e C, valores de $R + jX$ ou ainda parâmetros S, clicando na coluna "Type" (fig.1). Para mais informações, consulte o "help" do programa e os inúmeros arquivos *.mma exemplos de antenas disponíveis, em Open, File.

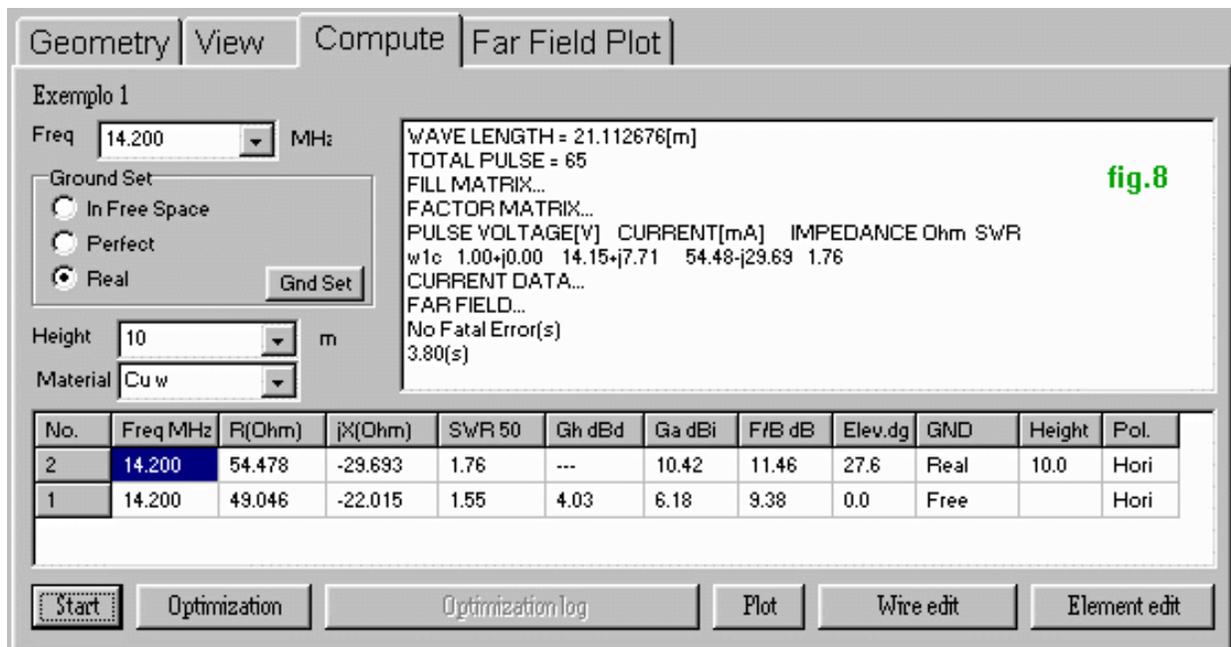
Cálculo das características fundamentais da antena.

Finalmente, podemos efetuar, para uma frequência especificada pelo usuário, o cálculo das características básicas da antena, que são:

- a impedância de entrada da antena, no formato $R + jX$. Corresponde à impedância no ponto onde foi definida a fonte;
- o coeficiente de onda estacionária (SWR), tendo como referência o valor especificado pelo usuário em Options, Setup, Standard Z;
- os ganhos em relação ao dipolo e à antena isotrópica, a relação frente-costas e, para antenas que incluem o efeito do solo, o ângulo de elevação do lóbulo principal;
- o diagrama de irradiação de campo distante nos planos horizontal e vertical, e para componentes de polarização de onda V e H ou total;
- gráficos que representam a variação de R, jX e SWR em função da frequência, que permitem obter a banda passante da antena e sua frequência central ou de ressonância;

O programa também permite visualizar a distribuição da corrente em todos os elementos. Além destes parâmetros, o programa ainda permite calcular vários tipos de circuitos para adaptação da impedância da antena para um valor desejado, em "Options and setup".

O cálculo é feito em "Compute" com o botão "Start", após serem definidos : a frequência, o tipo de material dos condutores e se a antena está em espaço livre ou então a que altura do solo, e neste caso, qual o tipo de solo. A seguir temos os resultados dos cálculos feitos com a antena do exemplo 1, (definida na parte 1).



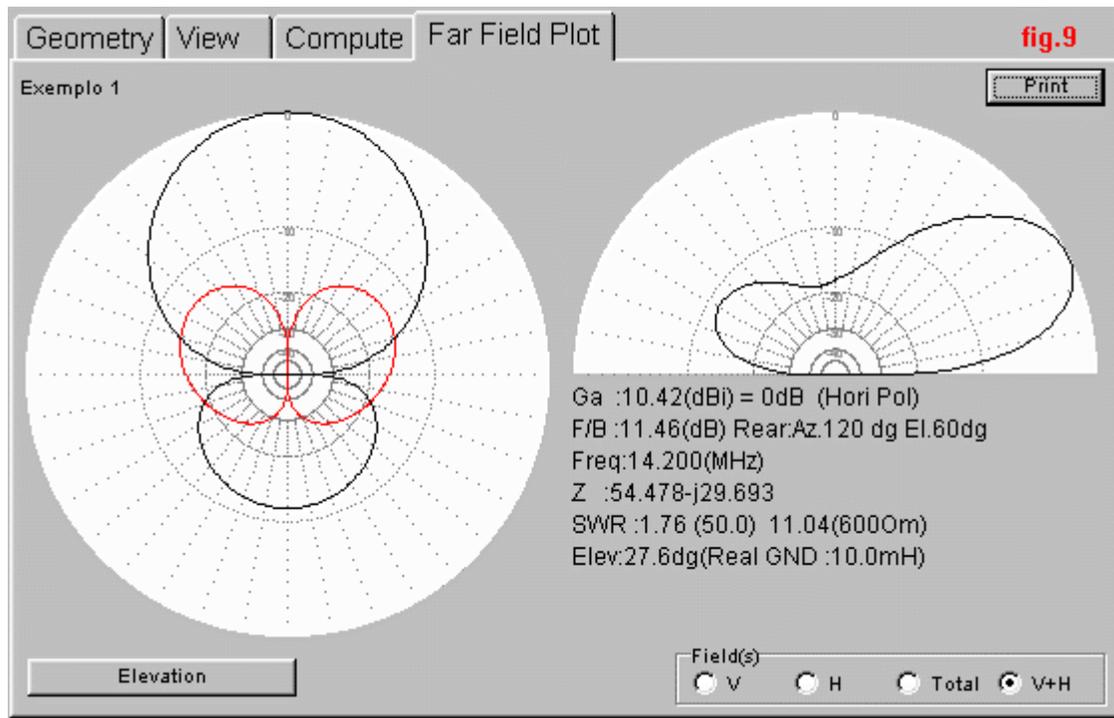
Observe na fig.8 que foram feitos dois cálculos, que vão sendo automaticamente inseridos na lista. O de número 1 foi feito em espaço livre (“free”) e o número 2 com a antena a uma altura de 10 metros, com um solo de características reais (não perfeito). As medidas da antena do exemplo 1 são arbitrárias e depois, na parte 3, veremos como otimizá-la para uma determinada frequência. Portanto, a frequência usada para o cálculo não é necessariamente a frequência de ressonância da antena, como se pode ver pelo valor da sua impedância: 54,478-j29,693 ohms: a antena está curta demais para a frequência de 14200 kHz pois apresenta uma reatância capacitiva de -j29,693 ohms.

A figura 9 mostra o diagrama de irradiação polar da antena. À esquerda, o diagrama no plano horizontal (visto de cima), sendo a direção X ou zero de azimute o ponto onde está o 0 da escala de ganho em dB (a parte superior). Em preto está a intensidade do campo polarizado horizontalmente e, em vermelho, a componente polarizada verticalmente (lembramos que o plano que define a polarização é o plano do campo elétrico, e por favor, não confunda plano do diagrama com plano de polarização). Como esta antena tem o seu dipolo radiador na horizontal, realmente o campo de maior intensidade é o horizontal, sendo o vertical criado pela presença do solo (inexistente em espaço livre). À direita está o diagrama de irradiação no plano vertical, onde também são representadas as intensidades relativas das ondas polarizadas H (em preto) e V (em vermelho). Esta última, no caso particular desta antena, não existe. Nele podemos ver o ângulo de elevação do lóbulo principal, que no caso vale 27,6°. Este diagrama só cobre 180°, o que é evidente com a presença do solo. Mas mesmo em espaço livre, também só é mostrada esta metade superior, pois a metade inferior é exatamente igual em espaço livre (inexistente com a presença do solo).

Importante: o diagrama do plano horizontal (à esquerda) é na verdade feito no plano horizontal correspondente à elevação do maior lóbulo do plano vertical, ou seja, no caso desta antena, é um plano elevado a 27,6° da horizontal e onde a antena tem o maior ganho. Porém, se o ângulo de elevação do lóbulo principal for maior que 87°, então o diagrama horizontal será feito numa

elevação de 45°. Você pode obter o diagrama em outro plano, apertando o botão “Elevation” e especificando o valor.

No caso da presença do solo, o ganho é especificado apenas em relação à antena isotrópica e não em relação ao dipolo de meia onda, como no caso de espaço livre. (a diferença entre G_i e G_d é de 2,15 dB).



Na figura 10 podemos ver a distribuição das correntes nos elementos. Como esta é uniforme desde as pontas dos elementos, podemos concluir que o método de segmentação usado é correto.

