

# Anexo I

## Apontamento das estações terrenas em enlaces com satélites geo-estacionários

### I.1. Introdução

Quando a comunicação via satélite é realizada com repetidor geo-estacionário, as antenas utilizadas nas estações terrenas podem ser apontadas em uma determinada direção, com relação a dois planos. Este apontamento dependerá de dois ângulos, sendo um deles o de elevação e o outro de azimute.

### I.2. Azimute

O azimute pode ser definido como sendo a distância angular, medida sobre o horizonte, a partir de um ponto origem, no sentido horário, até o círculo vertical que passa por um dado astro<sup>1,2</sup>.

Em comunicação via satélite o ponto de origem é o norte geográfico e o astro é o satélite com o qual se deseja realizar a comunicação. Com as coordenadas geográficas do satélite e da estação terrena, pode-se determinar um fator que nos leva ao ângulo de azimute. Este fator está apresentado na equação I.1

$$\hat{A} = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}|\phi_s - \phi_T|}{\operatorname{sen}\theta_T}\right) \quad (\text{I.1})$$

onde  $\theta_T$  é a latitude da estação terrena,  $\phi_T$  é a longitude da estação terrena e  $\phi_s$  é a longitude do satélite.

Para o hemisfério sul com a estação terrena a oeste do satélite:

$$A = \hat{A} \quad (\text{I.2})$$

Para o hemisfério sul com a estação terrena a leste do satélite:

$$A = 360 - \hat{A} \quad (\text{I.3})$$

Para o hemisfério norte com a estação terrena a oeste do satélite:

$$A = 180 - \hat{A} \quad (I.4)$$

Para o hemisfério norte com a estação terrena a leste do satélite:

$$A = 180 + \hat{A} \quad (I.5)$$

Todas as medidas são efetuadas em graus.

### I.3. Elevação

O ângulo de elevação é aquele que deve existir no plano vertical entre o satélite e a antena da estação terrena. O valor pode ser obtido através da equação I.6

$$E = \arctg\left(\frac{r - R_e \cos\theta_T \cos|\phi_S - \phi_T|}{R_e \sin[\arccos(\cos\theta_T \cos|\phi_S - \phi_T|)]}\right) - \arccos(\cos\theta_T \cos|\phi_S - \phi_T|) \quad (I.6)$$

onde  $r$  é o raio da órbita geostacionária que vale 42.164Km e  $R_e$  é o raio da terra que vale 6378 km<sup>3,4</sup>.

Tomando como referência a Figura I.1, a estação pode estar em P sendo Q a projeção ortogonal de P no plano  $O_{xy}$ . Tem-se:

$$\theta_T = \angle(\vec{OP}, \vec{k}) \quad ; \quad \vec{k} = \vec{OA} \quad \phi_T = \angle(\vec{OQ}, \vec{i}) \quad ; \quad \vec{i} = \vec{OB}$$

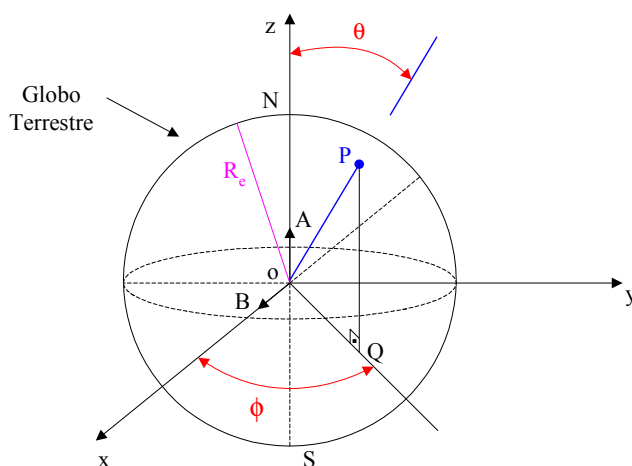


Figura I.1. descrição das coordenadas de um ponto sobre o globo terrestre.

A mesma análise pode ser feita para o satélite fora do globo terrestre, para referenciar  $\phi_S$ .

#### I.4. Exemplo 1

Como exemplo na obtenção de  $A$  e  $E$ , calcular os valores dos ângulos de azimute e elevação para uma estação terrena em Santa Rita do Sapucaí, que deve ser apontada para o satélite Brasilsat B4.

- Coordenadas de Santa Rita do Sapucaí: 22° 11' 39,2" S  
45° 43' 17" W
- Coordenadas do Brasilsat B4: 92° W

Neste caso, utilizando as equações I.3, pois a estação terrena se encontra no hemisfério sul e a leste do satélite, tem-se:

$$A \cong 289^\circ 51' 45''$$

Com a equação I.6, tem-se:

$$E \cong 32^\circ 27' 16''$$

#### I.5. Distância entre as estações terrenas e o satélite

A distância em ( $Km$ ), levando em consideração as coordenadas geográficas de cada elemento, entre a estação terrena e o satélite pode ser calculada através da equação (I.7)<sup>5</sup>.

$$d \cong [X_1 - X_2 \cdot \cos \theta_T \cdot \cos(\phi_S - \phi_T)]^{\frac{1}{2}} \quad (I.7)$$

Na qual  $X_1$  e  $X_2$  são calculados em ( $Km^2$ ).

$$X_1 = R_e^2 + (R_e + H)^2 = 1.826.501.965$$

$$X_2 = 2R_e \cdot (R_e + H) = 539.055.804$$

onde  $H$  é a altitude dos satélites geoestacionários ( $35.881 Km$ );

## I.6. Exemplo 2

Calcular a distância entre uma estação terrena em Santa Rita do Sapucaí, nas coordenadas do Exemplo 1 e o satélite Brasilsat B4.

Neste caso, utilizando os dados do exemplo anterior e a equação (I.7), tem-se:

$$d[Km] \cong 38.490$$

## Referências Bibliográficas

---

- <sup>1</sup> Ferreira, A. B. de H.. *Novo dicionário da língua portuguesa*. 2<sup>a</sup> Edição. Editora Nova Fronteira S.A., 1986.
- <sup>2</sup> Maral, G.; Bousquet, M.. *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. 4<sup>th</sup> Ed.. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- <sup>3</sup> Ha, Tri Ti ; *Digital Satellite Communications*. Macmillan Publishing Comp., 1986.
- <sup>4</sup> Roddy, Dennis. *Satellite Communications*. 3<sup>rd</sup> Ed.. Mc Graw-Hill, 2001.
- <sup>5</sup> Nunes, Mário A. S.; *Telecomunicações IV - 2<sup>o</sup> Volume*.; CDT - INATEL, 1986.