

- [1] M. Shimba K. Morita, e A. Akeyama, "Radio propagation characteristics due to rain at 20-GHz band," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 22, no. 5, pp. 507-509, Maio 1974.
- [2] K. Morita, O. Sasaki, e A. Akeyama, "Differential rain attenuation on adjacent 20-GHz band links," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 23, no. 2, pp. 300-301, Março 1975.
- [3] K. Morita e I. Higuti, "Prediction of differential rain attenuation on adjacent microwave and millimeter wave links," *Review of the Electrical Communication Laboratories*, vol. 25. no. 1-2, pp. 96-103, Janeiro-Fevereiro 1977.
- [4] J. D. Kanellopoulos e S. G. Koukoulas, "Analysis of the rain outage performance of route diversity systems," *Radio Science*, vol. 22, no. 4, pp.549-565, Agosto, 1987.
- [5] A. D. Panagopoulus e J. D. Kanellopoulos, "Statistics of differential rain attenuation on converging terrestrial propagation paths," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 9, Setembro 2003.
- [6] J. P. de Almeida e Albuquerque, J. M. P. Fortes, e W. A. Finamore, *Probabilidades, Variáveis Aleatórias e Processos Estocásticos*. Rio de Janeiro: Interciência: PUC-Rio, 2008.
- [7] L. A. R. Silva Mello, E. Costa, e R. S. L. Souza, "Rain attenuation measurements at 15 and 18 GHz," *Electronics Letters*, vol. 38, no. 4, pp. 197-198, Fevereiro 2002.
- [8] K. S. Paulson, R. J. Watson, e I. S. Usman, "Diversity improvement estimation from rain radar databases using maximum likelihood estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 1, pp. 168-174, Janeiro 2006.
- [9] N. A. Perez Garcia, L. A. R Silva Mello, e M. S. Pontes, "Measurements and prediction of differential rain attenuation in convergent links," *Electronics*

*Letters*, vol. 41, no. 17, pp. 942-943, Agosto 2005.

- [10] P. Misme e J. Fimbel, “Détermination théorique et expérimentale de l'affaiblissement par la pluie sur um trajet radioélectrique,” *Annales des Télécommunications*, vol. 30, no. 5-6, pp. 149-158, Novembro-Dezembro 1975.
- [11] L. Stola, “An approach to compute the performance of route diversity systems at frequencies above 10 GHz,” *CSELT Rapporti Tecnici*, vol. IX, no. 6, pp. 617-620, Dezembro 1981.
- [12] *Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods*, ITU-R (2005), Recomendação ITU-R P.838-3.
- [13] J. Goldhirsh e B. Musiani, “Rain cell size statistics derived from radar observations at Wallops island, Virginia,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 24, no. 6, pp. 947-954, Novembro 1986.
- [14] C. Capsoni, F. Fedi, C. Magistroni, A. Paraboni, e A. Pawlina, “Data and theory for a new model of the horizontal structure of rain cells for propagation applications,” *Radio Science*, vol. 22, no. 3, pp. 395-404, Maio-Junho 1987.
- [15] L. Féral, H. Sauvageot, L. Castanet, e J. Lemorton, “HYCELL – A new hybrid model of the horizontal distribution for propagation studies: 1. Modeling of the rain cell,” *Radio Science*, vol. 38, no. 3, pp. 22.1-22.20, Maio-Junho 2003.
- [16] L. Féral, H. Sauvageot, L. Castanet, e J. Lemorton, “HYCELL – A new hybrid model of the horizontal distribution for propagation studies: 2. Statistical modeling of the rain rate field,” *Radio Science*, vol. 38, no. 3, pp. 23.1-23.18, Maio-Junho 2003.
- [17] Q. W. Pan e G. H. Bryant, “Effective rain-cell diameters and rain-column heights in the tropics,” *Electronics Letters*, vol. 30, no. 21, pp. 1800-1802, October 1004.
- [18] J. L. R. P. de Cerqueira, *Estudo Radiometeorológico da Região Amazônica*. Rio de Janeiro, Abril 2006. 261 pp. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (DEE/PUC-Rio).
- [19] J. O'Rourke, *Computational Geometry in C*. New York: Cambridge University Press, 2005.



- A partir do ponto (A), extremidade esquerda do enlace horizontal (AB), traçamos na direção de (B), dois segmentos de reta consecutivos, de comprimento  $(L_o/2)$ : segmentos AC e  $CC_1$ .

- A partir do ponto (C), traçamos uma perpendicular ao enlace AB (mediatriz de  $AC_1$ ).

- Centro do compasso no ponto ( $C_1$ ) e com raio da célula de chuva =  $(d/2)$ , traçamos uma circunferência que intercepta a mediatriz nos pontos (E) e (E'), determinando assim o arco de circunferência esquerdo (E)-(E').

- A altura do lugar geométrico ( $EE'=2h$ ) é determinada pelo triângulo retângulo  $ECC_1$  :

$$(h)^2 = (d/2)^2 - (L_o/2)^2 \quad (A.1)$$

$$\text{Ou, } 2h = (d^2 - L_o^2)^{(1/2)} \quad (A.2)$$

- A partir do ponto (B), extremidade direita do enlace horizontal AB, traçamos na direção (A), dois segmentos de reta consecutivos, de comprimento  $(L_o/2)$ : segmentos  $BC'$  e  $BC_2$ . Procedemos analogamente e determinamos o arco de circunferência direito (F)-(F').

O lugar geométrico será a figura fechada determinada pelos elementos abaixo:

- pelo retângulo determinado pelos segmentos de reta horizontais EF e E'F' (cujo comprimento é  $EF = AB - L_o = D - L_o$ ) e pelos segmentos de reta verticais  $EE'$  e  $FF'$  (cujo comprimento é  $EE' = 2h$ ).

- a este retângulo, à sua direita e à sua esquerda, são adicionados dois segmentos circulares, determinados pelos dois arcos de circunferência de raio  $(d/2)$ , respectivamente entre os pontos (E)-(E') e entre os pontos (F)-(F').

Observamos que o Lugar Geométrico (que denominaremos "L.G.") poderá conter ou não as extremidades do enlace AB, de comprimento (D). A distância do centro do arco de circunferência esquerdo (D) à extremidade do enlace (A) é dada por  $L_o$ ; assim conforme o raio deste arco (de comprimento  $(d/2)$ ) for maior ou

menor que esta distância  $L_0$ , o lugar geométrico conterà (ou não) a extremidade do enlace (A).

- Caso  $L_0 > d/2$ : O L.G. não conterà as extremidades A e B (pois com centro de compasso no ponto 'D' com raio  $(d/2) < L_0$ , a circunferência intercepta o enlace AB dentro do segmento, vide Figura A.1).

- Caso  $L_0 < d/2$ : O L.G. conterà as extremidades A e B

Observamos que, quando  $L_0$  decresce, aumentam as dimensões do lugar geométrico: a partir da equação (A.2), onde o diâmetro ( $d$ ) é constante, verificamos o aumento da altura ( $2h$ ); ocorre também um aumento no lado do retângulo  $EF = AB - L_0$  (pois é constante o comprimento do enlace AB).

Casos extremos, quanto a  $L_0$ , interseção da célula de chuva com o enlace:

- Caso  $L_0 = L_0(\max) = d$  (diâmetro da célula de chuva).

O centro da célula de chuva cruza o enlace. Neste caso, por (A.2), temos para a altura do lugar geométrico  $2h=0$  (isto significa que o L.G se reduz a um segmento de reta de comprimento igual a ' $d$ ', diâmetro da célula).

- Caso  $L_0 = 0$  (a célula de chuva tangencia o enlace). O lugar geométrico chega à sua dimensão máxima.

Pela fórmula (A.2), temos para a altura do L.G.  $2h=2h(\max)=d$  (diâmetro da célula de chuva). O comprimento do lado do retângulo será  $EF = EF(\text{máximo}) = AB - L_0 = AB$  (comprimento do enlace). Os pontos A, C, C<sub>1</sub> se confundem (pois  $L_0=0$ ), e o arco de circunferência chega à sua dimensão radial máxima ( $180^\circ$ ).

- Caso  $L_0 = AB = D$  (comprimento do enlace).

O lado do retângulo do lugar geométrico será nulo (pois  $EF = EF(\text{mínimo}) = D - L_0 = L_0 - L_0 = 0$ ). O lugar geométrico se reduz a dois arcos de circunferência (esquerdo e direito), cujas extremidades estão nas extremidades opostas do enlace AB.