

Referências bibliográficas

- [1] Recommendation UIT-R P.676-5. **Attenuation by Atmospheric Gases**, 2001.
- [2] Allnut, Jeremy, **“Space to earth radio propagation”**, Wiley, 1992.
- [3] Silva Mello, L. A.; Pontes, M. S.; Rodrigues, M. E. da C.; **“Rádio Propagação”**, Notas de Aula do Curso de Propagação. Pós-Graduação, Período 2001.1, CETUC-PUC/Rio, 2001, Rio de Janeiro.
- [4] Ishimaru, A. **“Wave Propagation in Random Media”**.
- [5] Brussard, G; Watson, P. A. **“Atmospheric Modelling and Millimetre Wave Propagation”**.
- [6] Silva Mello, L. A. **“Atenuação por Chuvas”**. Notas de Aula do Curso de Propagação Troposférica. Pós-Graduação, Período 98.1, CETUC-PUC/Rio, 1998, Rio de Janeiro.
- [7] Pérez García., N. A. **“Cálculo de Cobertura de Sistemas WLL e LMDS”**, dissertação de Mestrado na Pontifícia Católica do Rio de Janeiro (PUC/Rio), Abril 2000, Rio de Janeiro, Brasil.
- [8] Olsen, R. L.; Rogers, D. V.; Hodge, D. B. **“The aR^b Relation in Calculation of Rain Attenuation”**.
- [9] Rogers, D. V.; Olsen, R. L. **“Calculation of Radiowave Attenuation Due to Rain at Frequencies up to 1000 GHz”**, Communications Res. Centre, Dep. Of Communications, Ottawa, ON, Canada, CRC Rep. 1299, Nov 1996.
- [10] Van de Hulst, H.C. **“Light Scattering by Small Particles”**, New York, Wiley, 1957.
- [11] Atlas, D.; Ulbrich, C. W. **“The Physical Basis for Attenuation-rainfall Relationships and The Measurement of rainfall Parameters by Combined Attenuation and Radar Methods”**, J. Rech. Atmos., Jan-Jun 1974.

- [12] Recommendation UIT-R P.838-1. **“Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods”**. 1999.
- [13] Recommendation UIT-R P.838-3. **“Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods”**. 2005.
- [14] Crane, R. K. **“Propagation Modeling – Past, Present and Future”**.
- [15] Crane, R. K. **“Comparative Evaluation of Several Rain Attenuation Predictions Models”**.
- [16] Recommendation UIT-R P.530-11. **“Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems”**. 2001.
- [17] Garcia, N. A. P. ; **“Modelamento de Efeitos da Atenuação por Chuvas em Enlaces Terrestres Ponto-a ponto e Ponto-multiponto”** Tese de Doutorado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/Rio), Junho 2003, Rio de Janeiro, Brasil.
- [18] Crane, R. K. **“Prediction of Attenuation by Rain”**, IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-28, No. 9, pp. 1717-1733, September 1980.
- [19] Crane, R. K. **“A Two-component Rain Model for the Prediction of Attenuation Statistics”**, Radio Science, Vol. 17, No. 6, pp. 1371-1387, December 1982.
- [20] UIT-R 3M/38-E. **“Rain Attenuation Effective Path Length”**, July 2002.
- [21] Sabino Pontes, Marlene. **“Atenuação por Chuvas em Enlaces Satélite na Banda Ku em Regiões Tropicais e Equatoriais”**, Evento 21, Relatório Final, Resultados de Medidas, CETUC-PUC\Rio, Abril 1999, Rio de Janeiro, Brasil.
- [22] Recommendation UIT-R PN.837-1. **Characteristics of Precipitation for Propagation Modeling**, 1994.
- [23] Recommendation UIT-R PN.837-3. **Characteristics of Precipitation for Propagation Modeling**, 2001.
- [24] Panagopoulos, A. D., Kanellopoulos, J. D. **“Differential Rain Attenuation Statistics on Two Converging Terrestrial Links”**. IEEE 2002.
- [25] Barbaliscia, F., Ravaioli, G., Paraboni, A. **“Duration Analysis of Simultaneous Fading Events Over a Large Spatial Scale”**. IEEE, pp. 811-814, 1989.

- [26] Matriciani, E., Mauri, M., Paraboni, A. **“Dynamics Characteristics of Rain Attenuation: Duration and Rate of Change”**, Vol. LVI, No. 1-2, January-April 1987.
- [27] Vilar, E., Burgueño, A. **“Analysis and Modeling of Time Intervals Between Rain Rate Exceedances in the Context of Fade Dynamics”**. IEEE Transactions on Communications, Vol. 39, No. 9, pp. 1306-1312, September 1991.
- [28] Paulson, K. S., Gibbins, C. J. **“Rain Models for the Prediction of Fade Durations at Millimetre Wavelengths”**. IEE Proceedings Microwave Antennas Propagation, Vol. 147, No. 6, pp. 431-436, December 2000.
- [29] Pérez García, N., Silva Mello, L. A. **“Duración de Eventos de Lluvia en Enlaces Convergentes Operando en Frecuencias Superiores a 10 GHz”**. VIII Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Sistemas (INTERCON 2002), Agosto 2002, Lima, Perú.
- [30] Couto de Miranda, E., et al. **“Dynamic Analysis of Attenuation for 12 GHz Satellite Beacon Link in Brazil”**. 10th International Conference on Antennas and Propagation, Conference Publication No. 436, IEE 1997, pp 2251-2254, April 1997.
- [31] Couto de Miranda, E., et al. **“Dynamic Analysis of Attenuation on Five Converging Links at 15 GHz located in the Great São Paulo Area, Brazil”**. 10th International Conference on Antennas and Propagation, Conference Publication No. 436, IEE 1997, pp 2367-2373, April 1997.
- [32] JHU Group for Computational and Stochastic Mechanics. **“Reliability Theory Background”**, disponível em <http://venus.ce.jhu.edu/book/chp4/node2.html>
- [33] Weibull.com. **“The Weibull Distribution”**, disponível em <http://www.weibull.com>
- [34] Statsoft. **“Process Analysis”**, Electronics Statistic Textbook, disponível em <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>
- [35] Weibull.com. **“The Lognormal Distribution”**, disponível em <http://www.weibull.com>
- [36] Pérez García, N. A., Silva Mello, L. A. **“Rain Attenuation Considerations in Broadband Wireless Systems Operating at Frequencies Above 10 GHz”**, Proceedings oh the Third IEEE

- International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2001), pp. 99-102, August 2001, Recife, Brazil.
- [37] Silva Mello, L. A., et al. **“Differential Rain Attenuation in Converging Links”**, SBMO/IEEE MTT-S IMOC’95, July 1995, Rio de Janeiro, Brazil.
- [38] Kanellopoulos, J. D., Panagopoulos, A. D., Livieratos, S. N. **“Differential Rain Attenuation Statistics Including an Accurate Estimation of the Effective Slant Path Lengths”**. Progress in Electromagnetics Research, PIER 28, pp. 97-120, 2000.
- [39] Pérez García, N. A., et al. **“Nuevo Modelo para el Cálculo de la Atenuación Diferencial de la Lluvia en Enlaces de 15 GHz”**. XVI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2001), Septiembre 2001, Madrid (España).
- [40] Recommendation UIT-R P.1410-1. **“Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Broadband Millimetric Links do not Cover Area Aspects”**, 2001.
- [41] Paraboni, A.; Capsoni, C.; Fedi, F., **“A Comprehensive Meteorologically Oriented Methodology for Prediction of Wave Propagation Parameters in Telecommunication Applications beyond 10GHz”**, Radio Science, 22(3), 1987, 387-393.
- [42] Paraboni, A.; Capsoni, C.; Fedi, F.; **“Data and Theory for a New Model of Horizontal Structure of rain Cells for propagation Applications”**, Radio Science, 22(3), 1987, 395-404.
- [43] Lin, S. H., **“More on Rain Rate Distribution and Extreme Value Statistics”**, Bell Syst. Tech. J., 57 (5), 1978, 1545-1568.
- [44] Segal, B., **“A New Procedure for the determination and Classification of Rainfall Rate Climate Zones”**, Symposium on Effects of the Lower Atmosphere on radio Propagation at frequencies Above 1 GHz, URSI, Canada, 1980.
- [45] Rue, O., **“An Improved Method for Rain Attenuation Prediction on Terrestrial and earth-Space Paths”**, Rep. RI 01/82, Radio Lab., Stockholm, 1982.
- [46] Moupfpuma, F., **“Model of Rain-Rate Distribution for radio System Design”**, IEEE Proc., 132 (1) 1985, 39-43.

- [47] UIT-R Study Group 3 Data Banks. **“DBSG5”**. February 1997, disponível em <http://www.itu.int/home/index.html>
- [48] Pontes, M. S. **“Medidas Radiométricas da Atenuação por Chuvas em Regiões Tropicais e Equatoriais”**. Relatório CETUC-paSES-01/94, Junho 1994, Rio de Janeiro, Brasil.
- [49] Silva Mello, L. A. et al. **“Medidas de Nível de Sinal e Taxa de Precipitação em Enlaces Convergentes em 15 e 18 GHz”**. Relatório CETUC-EBT-02/94 (Relatório Parcial), CETUC-PUC/Rio, Agosto 1994, Rio de Janeiro, Brasil.
- [50] Mello, L. A. R. S. ; et al **“Measurements of Rain Attenuation in 15 GHz and 18 GHz Converging Links”**, 8th International Conference on Antennas and Propagation, Conference Publication No. 407, IEE 1995, pp 127-130, April 1995.
- [51] Mello, L. A. R. S.; et al. **“Medidas de Nível de Sinal e Taxa de Precipitação em Enlaces Convergentes em 15 e 18 GHz”**. Relatório CETUC-EBT-02/96 (Aditivo ao Relatório Final), CETUC-PUC/Rio, Outubro 1996, Rio de Janeiro, Brasil.
- [52] Mello, L. A. R. S. ; Costa E.; Souza. R. S. L. **“Rain Measurements at 15 GHz and 18 GHz”**, Electronics Letters, Vol. 38, No. 4, February 2002.
- [53] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **“Cidades e Vilas”**, disponível em <http://www.ibge.gov.br/>
- [54] Mello, L. A. R. S. **“Projeto de Unidade de Aquisição de Dados”**. Projeto paIR – contrato 773/97 – aditivo 01, Relatório Final (RTF2 – Parte 1), CETUC-Puc/Rio, Agosto 1998, Rio de Janeiro, Brasil.
- [55] UIT-R 3M/107-E. **“An Improved Prediction Method of Rain Attenuation for Terrestrial Light-of-sight Paths”**, September 2005.
- [56] Recommendation UIT-R P.618-8. **“Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-space Telecommunication Systems”**,2003.
- [57] Chisalita, I.; D’Amico, M.; Gremont, B.; Hajny, M.; Marzano, F. S.; Palade, T. **“Report Cost 255”**,.
- [58] UIT-R 3M/29-E. **“Propagation Data and Prediction Method Required for the Design of Earth-space Telecommunication Systems”**, November 2003.

- [59] UIT-R 3M/108-E. **“The Prediction Method of Rain Attenuation along Earth-space path”**, September 2005.
- [60] Recommendation UIT-R P.311-10. **“Acquisition, Presentation and Analysis of Data in Studies of Tropospheric Propagation”**, 2001.
- [61] UIT-R 3M. **“An Empirical Method for the Prediction of Differential Rain Attenuation in Converging Links ”**, September 2004.

Apêndice A – Resultados das Medições Realizadas

Nas tabelas a seguir são apresentados os dados das medidas realizadas no Rio de Janeiro e Brasília, e que foram acrescentadas ao banco de dados do anexo 1, na análise da formulação dos modelos propostos e comparação com os modelos apresentados neste trabalho.

Tabela 30 – Dados de localização dos enlaces de Brasília

Enlace	Frequência	Latitude	Longitude
BSA	---- (convergente)	15°S 47' 46,2''	47°W 53' 20,2''
ABRIL	38	15°S 47' 16''	47°W 52' 59''
Min Fazenda	38	15°S 47' 45''	47W 52' 84''
DPF05	23	15°S 49' 59''	47°W 56' 20''
INCRA	23	15°S 47' 25''	47°W 52' 56''
AMÉRICA	38	15°S 47' 17,2''	47°W 53' 11''
STF	23	15°S 49' 29''	47°W 55' 07''
BRISA	38	15°S 47' 23,8''	47°W 52' 52''
CASSI	23	15°S 47' 59,8''	47°W 52' 59''
CERES	38	15°S 47'	47°W 52' 41,2''
BRA	23	15°S 48' 7''	47°W 51' 15''
ESAF	15	15°S 52' 2,5''	47°W 49' 25,5''

Tabela 31 – Dados de localização dos enlaces do Rio de Janeiro

Enlace	Frequência (GHz)	Latitude	Longitude
PDC	---- (convergente)	22°S 54' 11"	47°W 53' 20,2''
IME	15	22°S 57' 59"	43°W 10' 30"
ESG	18	22°S 56' 33"	43°W 09' 25'
SUMARÉ	23	22°S 56' 59"	43°W 13' 46"
VMI	8	22°S 51' 56"	43°W 24' 01"

Tabela 32 – Medidas de atenuações e taxas de precipitação de chuva realizadas no Rio de Janeiro e em Brasília.

Enlace	Frequência (GHz)	Comprimento (km)	Porcentagem do tempo que a taxa de precipitação é excedida (%)	Atenuação (dB)	Taxa de Precipitação (mm/h)
ABRIL	38	1,12	0,001	47,53	140,33
MF	38	1,21	0,001	-	140,33
DPF05	23	6,73	0,001	60,48	140,33
INCRA	23	1,21	0,001	30,81	140,33
AMÉRICA	38	0,93	0,001	-	140,33
STF	23	4,48	0,001	-	140,33
BRISA	38	1,09	0,001	50,55	140,33
CASSI	23	0,76	0,001	-	112,15
ESAF	15	10,53	0,001	-	117,75
BRA	23	3,78	0,001	-	117,75
IME	15	5,60	0,001	-	101,74
ESG	18	5,20	0,001	-	117,75
SUMARÉ	23	5,10	0,001	-	101,74
VMI	8	22,0	0,001	-	101,74
ABRIL	38	1,12	0,002	42,93	133,13
MF	38	1,21	0,002	62,46	133,13
DPF05	23	6,73	0,002	58,21	133,13
INCRA	23	1,21	0,002	27,67	133,13
AMÉRICA	38	0,93	0,002	45,75	133,13
STF	23	4,48	0,002	-	133,13
BRISA	38	1,09	0,002	43,42	133,13

CASSI	23	0,76	0,002	-	107,56
CERES	38	2,15	0,002	-	114,24
ESAF	15	10,53	0,002	-	114,24
BRA	23	3,78	0,002	-	95,121
IME	15	5,60	0,002	32,31	114,24
ESG	18	5,20	0,002	-	95,121
SUMARÉ	23	5,10	0,002	-	95,121
VMI	8	22,0	0,002	35,5	115,35
ABRIL	38	1,12	0,003	59,03	115,35
MF	38	1,21	0,003	43,99	115,35
DPF05	23	6,73	0,003	24,59	115,35
INCRA	23	1,21	0,003	40,26	115,35
AMÉRICA	38	0,93	0,003	-	115,35
STF	23	4,48	0,003	38,62	115,35
BRISA	38	1,09	0,003	45,11	91,64
CASSI	23	0,76	0,003	-	102,5
CERES	38	2,15	0,003	-	102,59
ESAF	15	10,53	0,003	-	78,06
BRA	23	3,78	0,003	30,91	102,59
IME	15	5,60	0,003	-	78,06
ESG	18	5,20	0,003	62,05	78,06
SUMARÉ	23	5,10	0,003	27,5	101,02
VMI	8	22,0	0,003	54,38	101,02
ABRIL	38	1,12	0,006	41,52	101,02
MF	38	1,21	0,006	21,16	101,02
DPF05	23	6,73	0,006	33,73	101,02
INCRA	23	1,21	0,006	-	101,02
AMÉRICA	38	0,93	0,006	32,75	101,02
STF	23	4,48	0,006	39,84	82,41
BRISA	38	1,09	0,006	-	88,54
CASSI	23	0,76	0,006	-	88,54
ESAF	15	10,53	0,006	-	62,11
BRA	23	3,78	0,006	28,71	88,54
IME	15	5,60	0,006	-	62,11
ESG	18	5,20	0,006	52,29	62,11
SUMARÉ	23	5,10	0,006	24,6	82,28
VMI	8	22,0	0,006	50,19	82,28
ABRIL	38	1,12	0,01	38,13	82,28
MF	38	1,21	0,01	19,23	82,28

DPF05	23	6,73	0,01	27,56	82,28
INCRA	23	1,21	0,01	-	82,28
AMÉRICA	38	0,93	0,01	30,39	82,28
STF	23	4,48	0,01	38,19	68,93
BRISA	38	1,09	0,01	-	78,49
CASSI	23	0,76	0,01	-	78,49
ESAF	15	10,53	0,01	-	46,80
BRA	23	3,78	0,01	25,01	78,49
IME	15	5,60	0,01	44,51	46,80
ESG	18	5,20	0,01	45,47	46,80
SUMARÉ	23	5,10	0,01	20,1	70,02
VMI	8	22,0	0,01	42,63	70,02
ABRIL	38	1,12	0,02	33	70,02
MF	38	1,21	0,02	17,93	70,02
DPF05	23	6,73	0,02	22,18	70,02
INCRA	23	1,21	0,02	-	70,02
AMÉRICA	38	0,93	0,02	27,05	70,02
STF	23	4,48	0,02	34,37	59,64
BRISA	38	1,09	0,02	-	68,42
CASSI	23	0,76	0,02	-	68,42
ESAF	15	10,53	0,02	25,62	38,93
BRA	23	3,78	0,02	18,42	68,42
IME	15	5,60	0,02	40,29	38,93
ESG	18	5,20	0,02	32,75	38,93
SUMARÉ	23	5,10	0,02	18,78	50,93
VMI	8	22,0	0,02	35,93	50,93
ABRIL	38	1,12	0,03	30,06	50,93
MF	38	1,21	0,03	15,25	50,93
DPF05	23	6,73	0,03	19,91	50,93
INCRA	23	1,21	0,03	-	50,93
AMÉRICA	38	0,93	0,03	23,24	50,93
STF	23	4,48	0,03	32,96	44,94
BRISA	38	1,09	0,03	-	53,91
CASSI	23	0,76	0,03	-	53,91
ESAF	15	10,53	0,03	20,76	27,32
BRA	23	3,78	0,03	16,62	53,91
IME	15	5,60	0,03	33,72	27,32
ESG	18	5,20	0,03	26,38	27,32
SUMARÉ	23	5,10	0,03	16,66	32,32

VMI	8	22,0	0,03	28,74	32,32
ABRIL	38	1,12	0,06	23,18	32,32
MF	38	1,21	0,06	10,41	32,32
DPF05	23	6,73	0,06	16,11	32,32
INCRA	23	1,21	0,06	22,07	32,32
AMÉRICA	38	0,93	0,06	18,81	32,32
STF	23	4,48	0,06	30,25	33,88
BRISA	38	1,09	0,06	-	42,83
CASSI	23	0,76	0,06	43,49	42,83
ESAF	15	10,53	0,06	10,01	20,71
BRA	23	3,78	0,06	10,63	42,83
IME	15	5,60	0,06	24,95	20,71
ESG	18	5,20	0,06	19,86	20,71
SUMARÉ	23	5,10	0,06	10,98	140,33
VMI	8	22,0	0,06	23,59	140,33
ABRIL	38	1,12	0,1	20,21	140,33
MF	38	1,21	0,1	8,91	140,33
DPF05	23	6,73	0,1	13,2	140,33
INCRA	23	1,21	0,1	18,7	140,33
AMÉRICA	38	0,93	0,1	15,7	140,33
STF	23	4,48	0,1	27,84	112,15
BRISA	38	1,09	0,1	24,82	117,75
CASSI	23	0,76	0,1	38,25	117,75
ESAF	15	10,53	0,1	6,75	101,74
BRA	23	3,78	0,1	7,83	117,75
IME	15	5,60	0,1	19,45	101,74
ESG	18	5,20	0,1	14,83	101,74
SUMARÉ	23	5,10	0,1	47,53	133,13
VMI	8	22,0	0,1	-	133,13

Tabela 33 – Medidas de atenuações diferenciais e taxas de precipitação de chuva realizadas em Brasília.

Enlace A - B	Frequência (GHz)	Porcentagem do tempo que a taxa de precipitação é excedida (%)	Atenuação A - B (dB)	Atenuação A (dB)	Atenuação B (dB)
ABRIL - MF	38	0,010	14,58	37,42	48,19
ABRIL - MF	38	0,020	11,65	31,29	40,63
ABRIL - MF	38	0,030	9,58	27,86	35,93
ABRIL - MF	38	0,040	8,07	25,58	33,21
ABRIL - MF	38	0,050	7,16	23,99	30,81
ABRIL - MF	38	0,070	6,19	21,69	27,03
ABRIL - MF	38	0,100	5,37	18,98	23,59
ABRIL - MF	38	0,200	4,15	14,7	17,37
ABRIL - MF	38	0,300	3,2	12,09	13,77
ABRIL - MF	38	0,400	2,61	10,14	11,49
ABRIL - MF	38	0,500	2,33	7,93	8,86
ABRIL - MF	38	0,700	1,98	7,24	8,03
ABRIL - MF	38	1,000	1,78	5,97	6,4
ABRIL - AMERICA	38	0,010	13,59	37,42	27,56
ABRIL - AMERICA	38	0,020	11	31,29	22,18
ABRIL - AMERICA	38	0,030	9,71	27,86	19,91
ABRIL - AMERICA	38	0,040	8,94	25,58	18,28
ABRIL - AMERICA	38	0,050	8,4	23,99	17,11
ABRIL - AMERICA	38	0,070	7,61	21,69	15,16
ABRIL - AMERICA	38	0,100	6,71	18,98	13,2
ABRIL - AMERICA	38	0,200	5,11	14,7	9,57
ABRIL - AMERICA	38	0,300	4,29	12,09	7,66
ABRIL - AMERICA	38	0,400	3,81	10,14	6,47
ABRIL - AMERICA	38	0,500	3,49	7,93	5,76
ABRIL - AMERICA	38	0,700	2,8	7,24	4,85
ABRIL - AMERICA	38	1,000	2,68	5,97	4,05
ABRIL - BRISA	38	0,010	10,53	37,42	36,39
ABRIL - BRISA	38	0,020	7,58	31,29	32,05
ABRIL - BRISA	38	0,030	6,31	27,86	28,24
ABRIL - BRISA	38	0,040	5,67	25,58	25,78
ABRIL - BRISA	38	0,050	5,28	23,99	24,24
ABRIL - BRISA	38	0,070	4,69	21,69	21,91

ABRIL - BRISA	38	0,100	3,97	18,98	19,7
ABRIL - BRISA	38	0,200	2,8	14,7	15,21
ABRIL - BRISA	38	0,300	2,38	12,09	12,47
ABRIL - BRISA	38	0,400	2,17	10,14	10,38
ABRIL - BRISA	38	0,500	2,01	7,93	9,05
ABRIL - BRISA	38	0,700	1,74	7,24	7,49
ABRIL - BRISA	38	1,000	1,7	5,97	6,05
MF - ABRIL	38	0,010	24,2	48,19	37,42
MF - ABRIL	38	0,020	20,84	40,63	31,29
MF - ABRIL	38	0,030	18,78	35,93	27,86
MF - ABRIL	38	0,040	17,07	33,21	25,58
MF - ABRIL	38	0,050	15,77	30,81	23,99
MF - ABRIL	38	0,070	14,01	27,03	21,69
MF - ABRIL	38	0,100	12,31	23,59	18,98
MF - ABRIL	38	0,200	8,56	17,37	14,7
MF - ABRIL	38	0,300	6,72	13,77	12,09
MF - ABRIL	38	0,400	5,83	11,49	10,14
MF - ABRIL	38	0,500	5,21	8,86	7,93
MF - ABRIL	38	0,700	3,78	8,03	7,24
MF - ABRIL	38	1,000	2,74	6,4	5,97
MF - AMERICA	38	0,010	29,26	48,19	27,56
MF - AMERICA	38	0,020	25,43	40,63	22,18
MF - AMERICA	38	0,030	22,64	35,93	19,91
MF - AMERICA	38	0,040	20,58	33,21	18,28
MF - AMERICA	38	0,050	18,26	30,81	17,11
MF - AMERICA	38	0,070	15,66	27,03	15,16
MF - AMERICA	38	0,100	14,94	23,59	13,2
MF - AMERICA	38	0,200	10,43	17,37	9,57
MF - AMERICA	38	0,300	7,95	13,77	7,66
MF - AMERICA	38	0,400	6,45	11,49	6,47
MF - AMERICA	38	0,500	5,47	8,86	5,76
MF - AMERICA	38	0,700	4,33	8,03	4,85
MF - AMERICA	38	1,000	3,51	6,4	4,05
MF - BRISA	38	0,010	24,22	48,19	36,39
MF - BRISA	38	0,020	20,35	40,63	32,05
MF - BRISA	38	0,030	18,16	35,93	28,24
MF - BRISA	38	0,040	16,61	33,21	25,78
MF - BRISA	38	0,050	15,3	30,81	24,24
MF - BRISA	38	0,070	13,62	27,03	21,91

MF - BRISA	38	0,100	12,02	23,59	19,7
MF - BRISA	38	0,200	8,76	17,37	15,21
MF - BRISA	38	0,300	6,91	13,77	12,47
MF - BRISA	38	0,400	5,65	11,49	10,38
MF - BRISA	38	0,500	4,75	8,86	9,05
MF - BRISA	38	0,700	3,58	8,03	7,49
MF - BRISA	38	1,000	2,76	6,4	6,05
AMERICA - ABRIL	38	0,010	6,99	27,56	37,42
AMERICA - ABRIL	38	0,020	6,71	22,18	31,29
AMERICA - ABRIL	38	0,030	6,54	19,91	27,86
AMERICA - ABRIL	38	0,040	6,37	18,28	25,58
AMERICA - ABRIL	38	0,050	6,21	17,11	23,99
AMERICA - ABRIL	38	0,070	5,97	15,16	21,69
AMERICA - ABRIL	38	0,100	5,55	13,2	18,98
AMERICA - ABRIL	38	0,200	4,13	9,57	14,7
AMERICA - ABRIL	38	0,300	3,35	7,66	12,09
AMERICA - ABRIL	38	0,400	2,71	6,47	10,14
AMERICA - ABRIL	38	0,500	2,37	5,76	7,93
AMERICA - ABRIL	38	0,700	1,99	4,85	7,24
AMERICA - ABRIL	38	1,000	1,83	4,05	5,97
AMERICA - MF	38	0,010	9,96	27,56	48,19
AMERICA - MF	38	0,020	7,59	22,18	40,63
AMERICA - MF	38	0,030	6,85	19,91	35,93
AMERICA - MF	38	0,040	6,44	18,28	33,21
AMERICA - MF	38	0,050	6,13	17,11	30,81
AMERICA - MF	38	0,070	5,59	15,16	27,03
AMERICA - MF	38	0,100	4,99	13,2	23,59
AMERICA - MF	38	0,200	4,12	9,57	17,37
AMERICA - MF	38	0,300	3,15	7,66	13,77
AMERICA - MF	38	0,400	2,58	6,47	11,49
AMERICA - MF	38	0,500	2,32	5,76	8,86
AMERICA - MF	38	0,700	1,99	4,85	8,03
AMERICA - MF	38	1,000	1,83	4,05	6,4
AMERICA - BRISA	38	0,010	6,21	27,56	36,39
AMERICA - BRISA	38	0,020	5,17	22,18	32,05
AMERICA - BRISA	38	0,030	4,92	19,91	28,24
AMERICA - BRISA	38	0,040	4,81	18,28	25,78
AMERICA - BRISA	38	0,050	4,73	17,11	24,24
AMERICA - BRISA	38	0,070	4,61	15,16	21,91

AMERICA - BRISA	38	0,100	4,47	13,2	19,7
AMERICA - BRISA	38	0,200	3,79	9,57	15,21
AMERICA - BRISA	38	0,300	3,16	7,66	12,47
AMERICA - BRISA	38	0,400	2,77	6,47	10,38
AMERICA - BRISA	38	0,500	2,52	5,76	9,05
AMERICA - BRISA	38	0,700	2,04	4,85	7,49
AMERICA - BRISA	38	1,000	1,83	4,05	6,05
BRISA - ABRIL	38	0,010	7,36	36,39	37,42
BRISA - ABRIL	38	0,020	6,58	32,05	31,29
BRISA - ABRIL	38	0,030	6,34	28,24	27,86
BRISA - ABRIL	38	0,040	6,18	25,78	25,58
BRISA - ABRIL	38	0,050	6,06	24,24	23,99
BRISA - ABRIL	38	0,070	5,87	21,91	21,69
BRISA - ABRIL	38	0,100	5,66	19,7	18,98
BRISA - ABRIL	38	0,200	3,92	15,21	14,7
BRISA - ABRIL	38	0,300	2,63	12,47	12,09
BRISA - ABRIL	38	0,400	2,38	10,38	10,14
BRISA - ABRIL	38	0,500	2,27	9,05	7,93
BRISA - ABRIL	38	0,700	2,1	7,49	7,24
BRISA - ABRIL	38	1,000	1,94	6,05	5,97
BRISA - MF	38	0,010	10,48	36,39	48,19
BRISA - MF	38	0,020	8,04	32,05	40,63
BRISA - MF	38	0,030	6,71	28,24	35,93
BRISA - MF	38	0,040	5,74	25,78	33,21
BRISA - MF	38	0,050	5,04	24,24	30,81
BRISA - MF	38	0,070	4,12	21,91	27,03
BRISA - MF	38	0,100	3,35	19,7	23,59
BRISA - MF	38	0,200	2,49	15,21	17,37
BRISA - MF	38	0,300	2,28	12,47	13,77
BRISA - MF	38	0,400	2,14	10,38	11,49
BRISA - MF	38	0,500	2,02	9,05	8,86
BRISA - MF	38	0,700	1,91	7,49	8,03
BRISA - MF	38	1,000	1,8	6,05	6,4
BRISA - AMERICA	38	0,010	15,29	36,39	27,56
BRISA - AMERICA	38	0,020	12,98	32,05	22,18
BRISA - AMERICA	38	0,030	11,83	28,24	19,91
BRISA - AMERICA	38	0,040	10,86	25,78	18,28
BRISA - AMERICA	38	0,050	10,08	24,24	17,11
BRISA - AMERICA	38	0,070	9,03	21,91	15,16

BRISA - AMERICA	38	0,100	7,77	19,7	13,2
BRISA - AMERICA	38	0,200	5,43	15,21	9,57
BRISA - AMERICA	38	0,300	4,33	12,47	7,66
BRISA - AMERICA	38	0,400	3,76	10,38	6,47
BRISA - AMERICA	38	0,500	3,41	9,05	5,76
BRISA - AMERICA	38	0,700	2,98	7,49	4,85
BRISA - AMERICA	38	1,000	2,61	6,05	4,05
DPF05 - INCRA	23	0,010	29,52	38,13	27,23
DPF05 - INCRA	23	0,020	21,81	33	23,93
DPF05 - INCRA	23	0,030	18,38	30,06	21,25
DPF05 - INCRA	23	0,040	15,81	27,37	19,47
DPF05 - INCRA	23	0,050	14,45	25,46	18,31
DPF05 - INCRA	23	0,070	12,23	22,42	16,67
DPF05 - INCRA	23	0,100	10,26	20,21	14,91
DPF05 - INCRA	23	0,200	7,09	15,2	11,53
DPF05 - INCRA	23	0,300	5,88	12,13	10,18
DPF05 - INCRA	23	0,400	5,25	10,38	9,18
DPF05 - INCRA	23	0,500	4,82	9,26	8,39
DPF05 - INCRA	23	0,700	4,12	7,74	7,38
DPF05 - INCRA	23	1,000	3,38	6,28	6,31
DPF05 - STF	23	0,050	14,27	25,46	29,71
DPF05 - STF	23	0,070	12,66	22,42	24,2
DPF05 - STF	23	0,100	11,21	20,21	20,7
DPF05 - STF	23	0,200	8,89	15,2	15,05
DPF05 - STF	23	0,300	7,48	12,13	11,36
DPF05 - STF	23	0,400	6,6	10,38	9,19
DPF05 - STF	23	0,500	6,03	9,26	7,75
DPF05 - STF	23	0,700	5,05	7,74	6,11
DPF05 - STF	23	1,000	4,22	6,28	5
INCRA - DPF05	23	0,010	7,06	27,23	38,13
INCRA - DPF06	23	0,020	6,47	23,93	33
INCRA - DPF07	23	0,030	6,36	21,25	30,06
INCRA - DPF08	23	0,040	6,29	19,47	27,37
INCRA - DPF09	23	0,050	6,23	18,31	25,46
INCRA - DPF10	23	0,070	6,15	16,67	22,42
INCRA - DPF11	23	0,100	6,06	14,91	20,21
INCRA - DPF12	23	0,200	5,8	11,53	15,2
INCRA - DPF13	23	0,300	5,63	10,18	12,13
INCRA - DPF14	23	0,400	5,51	9,18	10,38

INCRA - DPF15	23	0,500	5,37	8,39	9,26
INCRA - DPF16	23	0,700	5,15	7,38	7,74
INCRA - DPF17	23	1,000	4,89	6,31	6,28
INCRA - STF	23	0,050	20,44	18,31	29,71
INCRA - STF	23	0,070	16,87	16,67	24,2
INCRA - STF	23	0,100	13,55	14,91	20,7
INCRA - STF	23	0,200	12,69	11,53	15,05
INCRA – STF	23	0,300	7,27	10,18	11,36
INCRA – STF	23	0,400	5,69	9,18	9,19
INCRA – STF	23	0,500	5,21	8,39	7,75
INCRA – STF	23	0,700	4,5	7,38	6,11
INCRA – STF	23	1,000	3,13	6,31	5
STF - DPF09	23	0,050	20,44	29,71	25,46
STF - DPF10	23	0,070	16,87	24,2	22,42
STF - DPF11	23	0,100	13,55	20,7	20,21
STF - DPF12	23	0,200	12,69	15,05	15,2
STF - DPF13	23	0,300	7,27	11,36	12,13
STF - DPF14	23	0,400	5,69	9,19	10,38
STF - DPF15	23	0,500	5,21	7,75	9,26
STF - DPF16	23	0,700	4,5	6,11	7,74
STF - DPF17	23	1,000	3,13	5	6,28
STF – INCRA	23	0,050	20,8	29,71	18,31
STF – INCRA	23	0,070	18,26	24,2	16,67
STF – INCRA	23	0,100	15,06	20,7	14,91
STF – INCRA	23	0,200	9,47	15,05	11,53
STF – INCRA	23	0,300	6,74	11,36	10,18
STF – INCRA	23	0,400	5,05	9,19	9,18
STF – INCRA	23	0,500	4,23	7,75	8,39
STF – INCRA	23	0,700	3,2	6,11	7,38
STF – INCRA	23	1,000	2,41	5	6,31

Apêndice B – Cálculo do Comprimento Efetivo para Células Bi-Dimensionais

Neste apêndice serão apresentados os cálculos para o comprimento efetivo (L_{eff}) da formulação empírica com base na relação $A = kR^\alpha d$, similarmente à abordagem da Recomendação de ITU, apenas levando em consideração a bidimensionalidade da célula de chuva, e sendo uma distribuição uniformemente circular da taxa de precipitação.

B1

Modelagem da Célula de Chuva Circular

B1.1

Situação I : Círculo intercepta o enlace em dois pontos (E e F)

Sejam as seguintes considerações apresentadas na figura 47.

- ENLACE : PONTOS A e B**
- Ponto **A** do Enlace na Origem **(0,0)**
- Centro do Círculo em qualquer ponto do Plano xy (ponto **O**)

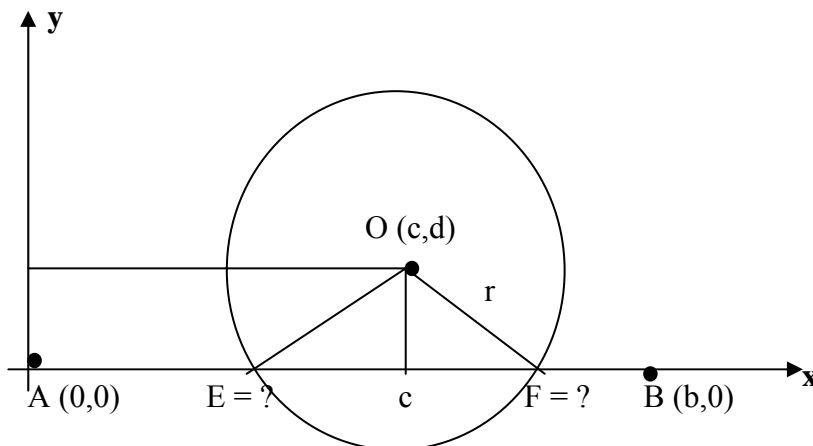


Figura 47 - Célula de chuva intercepta dois pontos do enlace

Desta forma, a equação da circunferência será dada por :
 $(x - c)^2 + (y - d)^2 = r^2$ e considerando a equação da reta que compreende o enlace AB no eixo x, $y = 0$.

Portanto, as equações para realizar os cálculos dos pontos de interseção são :

$$\begin{cases} (x - c)^2 + (y - d)^2 = r^2 \\ y = 0 \end{cases} \quad (\text{B.1})$$

Logo, os pontos de interseção obtidos através da solução das equações serão :

$$\begin{aligned} E &= (c - \sqrt{r^2 - d^2}, 0) \\ F &= (c + \sqrt{r^2 - d^2}, 0) \end{aligned} \quad (\text{B.2})$$

E, assim, pode-se calcular o comprimento \overline{EF} , obtendo :

$$\begin{aligned} \overline{EF} &= (c + \sqrt{r^2 - d^2}, 0) - (c - \sqrt{r^2 - d^2}, 0) = (2\sqrt{r^2 - d^2}, 0) \\ \|\overrightarrow{EF}\| &= \sqrt{(2\sqrt{r^2 - d^2})^2 + 0} \\ \|\overrightarrow{EF}\| &= 2\sqrt{r^2 - d^2} \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

As condições de validade da solução são :

a) $F \leq B$

$$\begin{aligned} (c + \sqrt{r^2 - d^2}, 0) &\leq (b, 0) \\ c + \sqrt{r^2 - d^2} &\leq b \end{aligned} \quad (\text{B.4})$$

b) $E \geq A$

$$\begin{aligned} (c - \sqrt{r^2 - d^2}, 0) &\geq (0, 0) \\ c - \sqrt{r^2 - d^2} &\geq 0 \end{aligned} \quad (\text{B.5})$$

Logo, a equação (B.3) só é válida se as condições das equações (B.4) e (D.5) forem satisfeitas simultaneamente.

B1.2**Situação II : Círculo intercepta o enlace em apenas um ponto (F)**

Sejam as seguintes considerações para a célula de chuva próxima à extremidade A do enlace, apresentada na figura 48:

a) **ENLACE : PONTOS A e B**

b) Ponto A do Enlace na Origem **(0,0)**

c) $c - \sqrt{r^2 - d^2} < 0$

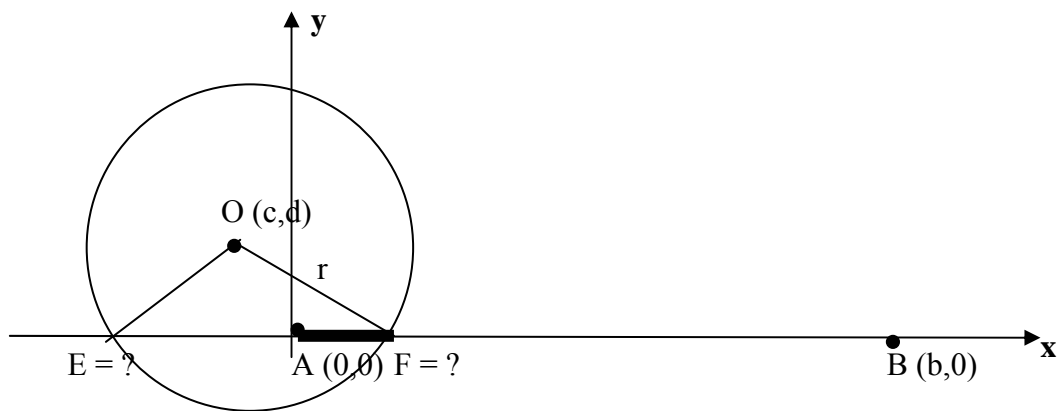


Figura 48 – Célula de chuva intercepta um ponto próximo à extremidade A do enlace

Nesta situação, E e F são dados pelas mesmas expressões calculadas no item B1.1, embora, por estar fora da trajetória do enlace, não seja de interesse o valor de E. O que se deve calcular é o segmento $\|\vec{AF}\|$, cuja formulação é apresentada a seguir:

$$\vec{AF} = F - A = \left((c + \sqrt{r^2 - d^2}), 0 \right) - (0, 0) = \left(c + \sqrt{r^2 - d^2}, 0 \right)$$

$$|\vec{AF}| = \sqrt{(c + \sqrt{r^2 - d^2})^2 + 0}$$

$$\|\vec{AF}\| = c + \sqrt{r^2 - d^2} \quad (\text{B.6})$$

Analogamente, tem-se a situação onde a célula de chuva intercepta o enlace e um único ponto, mas próximo da extremidade B, conforme mostra a

figura 49. Neste caso, assume-se que $c - \sqrt{r^2 - d^2} < 0$ e, também, tem-se E e F dados pelas expressões anteriores, só que agora interessa o valor de F, podendo-se desprezar E.

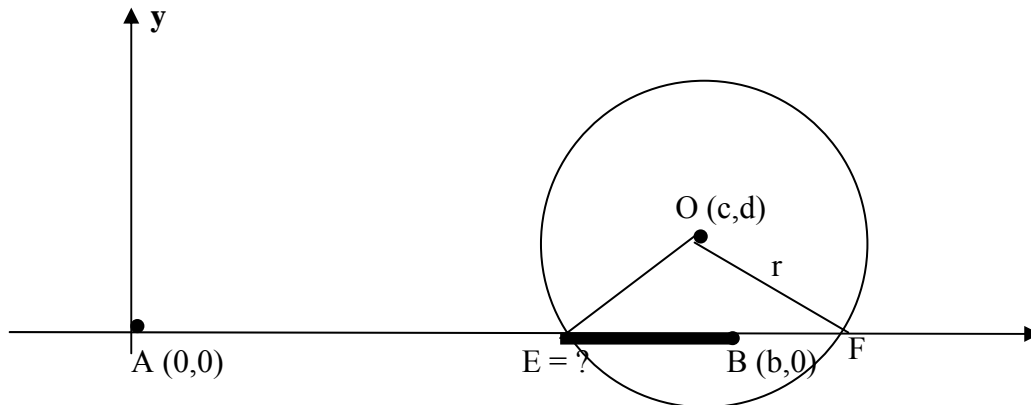


Figura 49 – Célula de chuva intercepta um ponto próximo à extremidade B do enlace

Portanto, deseja-se calcular o segmento $\|\vec{EB}\|$:

$$\vec{EB} = B - E = (b, 0) - (c - \sqrt{r^2 - d^2}, 0) = (b - c + \sqrt{r^2 - d^2}, 0)$$

$$\|\vec{EB}\| = \sqrt{(b - c + \sqrt{r^2 - d^2})^2 + 0}$$

$$\|\vec{EB}\| = b - c + \sqrt{r^2 - d^2} \quad (\text{B.7})$$

B1.3

Cálculo do fator de redução para células de chuva bidimensionais

A figura 50 (a) apresenta a região onde a célula de chuva pode interferir no enlace AB. Analogamente ao modelo do ITU, tem-se que separar o cálculo do fator de redução em quatro situações conforme mostra a figura 50 (b).

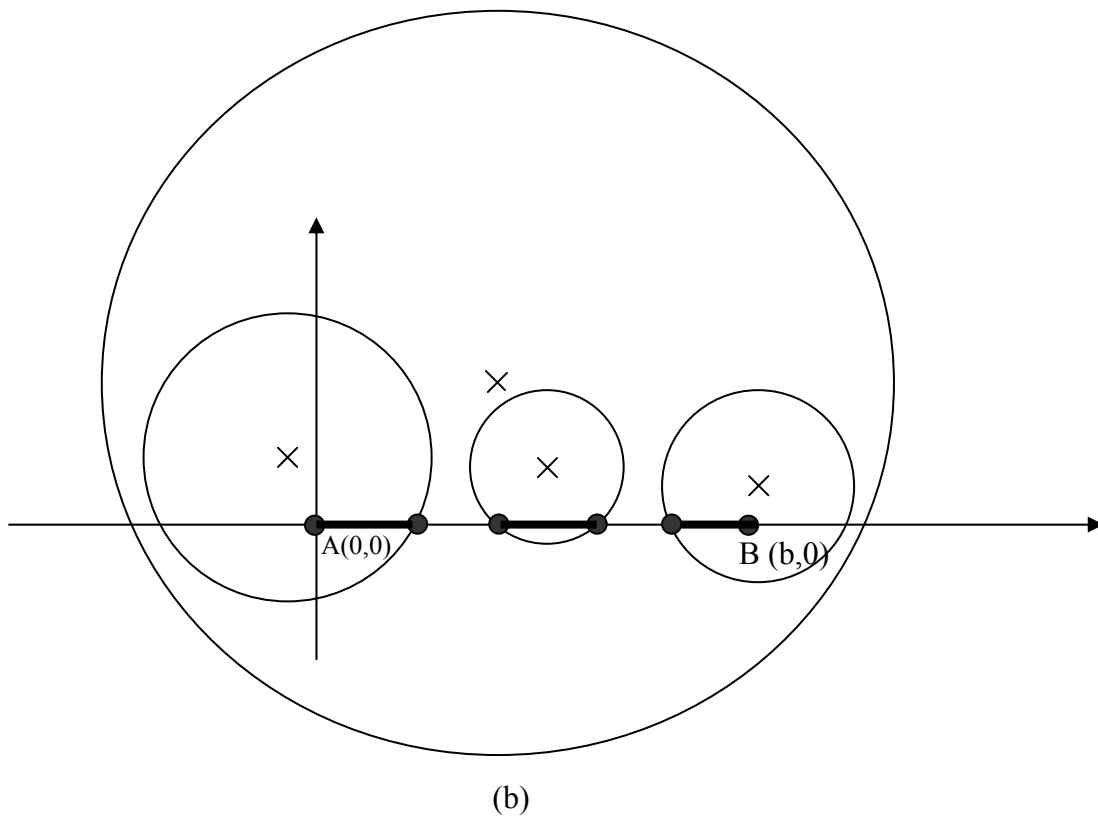
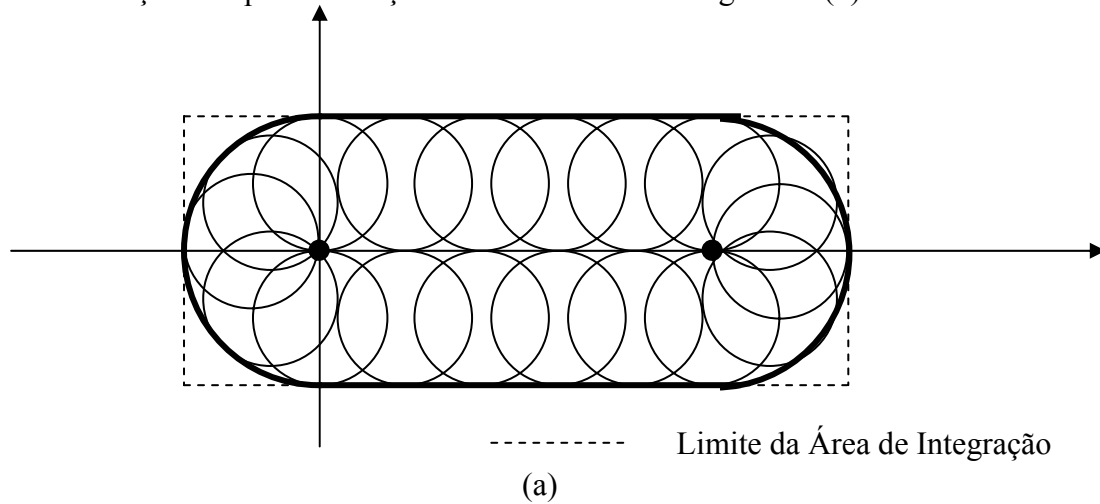


Figura 50 - (a) Região no espaço bidimensional onde a célula de chuva pode interferir no enlace AB; (b) As três posições para integração do segmento de reta que intercepta o enlace

Do cálculo anterior, tem-se para as quatro situações :

$$\begin{aligned}
 AF &= c + \sqrt{r^2 - d^2} \\
 EF &= 2\sqrt{r^2 - d^2} \\
 EB &= b - c + \sqrt{r^2 - d^2}
 \end{aligned}
 \tag{B.8}$$

Fazendo $c = x$, $d = y$ (x, y variáveis), $b = L$ (constante) e sendo o raio, L_0 , também constante :

$$\begin{aligned}
 AF &= x + \sqrt{d_0^2 - y^2} \\
 EF &= 2\sqrt{d_0^2 - y^2}
 \end{aligned}
 \tag{B.9}$$

B1.3.1

Limites de Integração

Inicialmente serão analisados os limites de integração. A figura 51 apresenta a área da região a ser integrada.

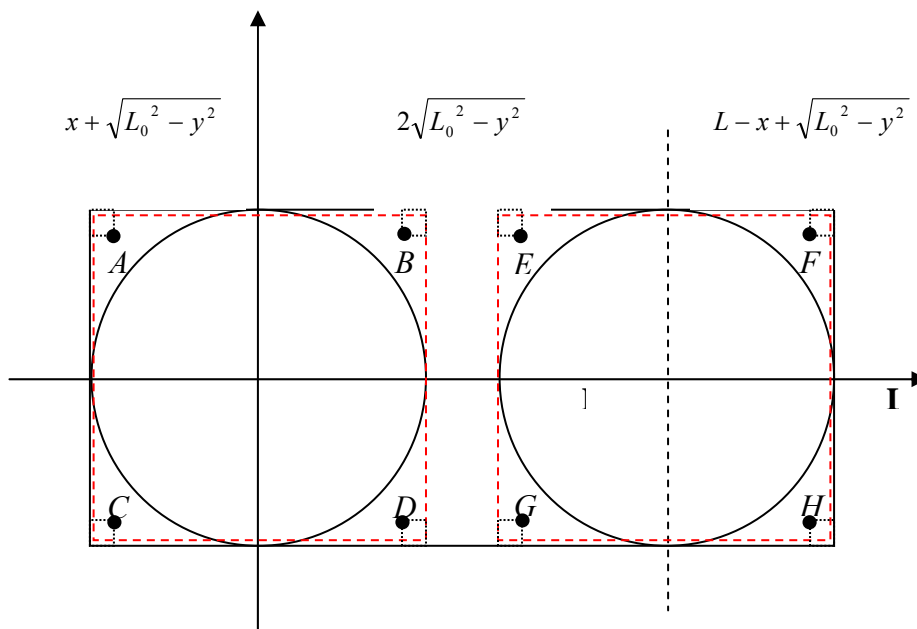


Figura 51 - Região de integração

Os pontos na região demarcada em vermelho à esquerda:

$$\text{Ponto A: } \begin{cases} C = (-L_0 + \Delta L_0, L_0 - \Delta L_0) \\ \text{Corda} = -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

$$\text{Ponto B: } \begin{cases} C = (L_0 - \Delta L_0, L_0 - \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

$$\text{Ponto C: } \begin{cases} C = (-L_0 + \Delta L_0, -L_0 + \Delta L_0) \\ \text{Corda} = -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

$$\text{Ponto D: } \begin{cases} C = (L_0 - \Delta L_0, -L_0 + \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \end{cases} \quad (\text{B.10})$$

Somando as contribuições de A com B, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Corda}_A + \text{Corda}_B &= -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \\ \text{Corda}_A + \text{Corda}_B &= 2\sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

Somando as contribuições de C com D, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Corda}_C + \text{Corda}_D &= -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \\ \text{Corda}_C + \text{Corda}_D &= 2\sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \end{aligned} \quad (\text{B.12})$$

Os valores obtidos em (B.11) e (B.12) são justamente o que se desejava encontrar para a região do meio, isto é, no trecho entre os extremos do enlace.

Procedendo analogamente para a região demarcada em vermelho à direita, tem-se:

Ponto E

$$\begin{cases} C = (L - L_0 + \Delta L_0, L_0 - \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L - L + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} = L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

Ponto F

$$\begin{cases} C = (L + L_0 - \Delta L_0, L_0 - \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L - L - L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} = -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

Ponto G

$$\begin{cases} C = (L - L_0 + \Delta L_0, -L_0 + \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L - L + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} = L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

Ponto H

$$\begin{cases} C = (L + L_0 - \Delta L_0, -L_0 + \Delta L_0) \\ \text{Corda} = L - L - L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} = -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \end{cases}$$

Somando as contribuições de E com F, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Corda}_E + \text{Corda}_F &= -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \\ \text{Corda}_E + \text{Corda}_F &= 2\sqrt{L_0^2 - (L_0 - \Delta L_0)^2} \end{aligned} \quad (\text{B.13})$$

Somando as contribuições de G com H, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Corda}_G + \text{Corda}_H &= -L_0 + \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} + L_0 - \Delta L_0 + \sqrt{L_0^2 - (-L_0 + \Delta L_0)^2} \\ & \quad (\text{B.14}) \end{aligned}$$

Os valores obtidos em (B.13) e (B.14) são justamente o que se desejava encontrar para a região do meio, isto é, no trecho entre os extremos do enlace.

De (B.11), (B.12), (B.13) e (B.14), conclui-se que os extremos à esquerda e à direita da região de integração (pontos A, F, C e H) se somam aos pontos internos (B, E, D, e G) para dar a exata contribuição desejada para a região interior da figura, ou seja, a região entre os extremos do enlace. Com isso, podem-se empregar os limites de integração que serão usados nas deduções a seguir.

a) HIPÓTESE : $2L_0 < L$

$$\begin{aligned}
 \int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L+L_0} f(x,y) dx dy &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L_0} f(x,y) dx + \int_L^{L-L_0} f(x,y) dx + \int_{L-L_0}^{L+L_0} f(x,y) dx \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L_0} (x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx + \int_L^{L-L_0} (2\sqrt{L_0^2 - y^2}) dx + \int_{L-L_0}^{L+L_0} (L - x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{-L_0}^{L_0} + \left[2x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{L_0}^{L-L_0} + \left[Lx - \frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{L-L_0}^{L+L_0} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] + \left[2(L-L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - 2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] + \right. \\
 &\quad \left. + \left[L(L+L_0) - \frac{(L+L_0)^2}{2} + (L+L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - \left(L(L-L_0) - \frac{(L-L_0)^2}{2} + (L-L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} \right) \right] \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + 2L\sqrt{L_0^2 - y^2} - 4L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + L^2 + LL_0 - \frac{(L+L_0)^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} + \right. \\
 &\quad \left. + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} - L^2 + LL_0 + \frac{(L-L_0)^2}{2} - L\sqrt{L_0^2 - y^2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L\sqrt{L_0^2 - y^2} + LL_0 - \frac{(L+L_0)^2}{2} + LL_0 + \frac{(L-L_0)^2}{2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L\sqrt{L_0^2 - y^2} + 2LL_0 - \frac{(L^2 + 2LL_0 + L_0^2)}{2} + \frac{(L^2 - 2LL_0 + L_0^2)}{2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L\sqrt{L_0^2 - y^2} + 2LL_0 - \frac{L^2}{2} - LL_0 - \frac{L_0^2}{2} + \frac{L^2}{2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy = 2L \int_{-L_0}^{L_0} \sqrt{L_0^2 - y^2} dy \tag{B.15}
 \end{aligned}$$

Para resolver a integral na equação (B.15) será feita uma mudança de variável, efetuando, assim, uma substituição trigonométrica:

Fazendo a mudança de variável $y = L_0 \text{sen} \theta$, tem-se :

$$\sqrt{L_0^2 - y^2} = \sqrt{L_0^2 - L_0^2 \text{sen}^2 \theta} = L_0 \sqrt{1^2 - \text{sen}^2 \theta} = L_0 \sqrt{\text{cos}^2 \theta} = L_0 \text{cos} \theta \quad (\text{B.16})$$

Diferenciando ambos os lados de $y = L_0 \text{sen} \theta$, obtém-se :

$$dy = (L_0 \text{cos} \theta) d\theta \quad (\text{B.17})$$

Desta forma, a integral da equação (B.15) se tornará:

$$\begin{aligned} \int \sqrt{L_0^2 - y^2} dy &= \int (L_0 \text{cos} \theta \cdot L_0 \text{cos} \theta) d\theta = \int L_0^2 \text{cos}^2 \theta d\theta = L_0^2 \int \text{cos}^2 \theta d\theta = \\ &= L_0^2 \left(\frac{1}{2} \theta + \frac{1}{4} \text{sen} 2\theta + C \right) \end{aligned} \quad (\text{B.18})$$

Mas $\text{sen} \theta = \frac{y}{L_0} \therefore \theta = \text{arcsen} \left(\frac{y}{L_0} \right)$, então :

$$\int \sqrt{L_0^2 - y^2} dy = L_0^2 \left[\frac{1}{2} \text{arcsen} \left(\frac{y}{L_0} \right) + \frac{1}{4} \text{sen} 2 \left(\text{arcsen} \left(\frac{y}{L_0} \right) \right) + C \right] \quad (\text{B.19})$$

Finalmente, substituindo a equação (B.19) em (B.15), teremos:

$$\begin{aligned} \int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L_0} f(x, y) dx dy &= 2L \int_{-L_0}^{L_0} \sqrt{L_0^2 - y^2} dy = 2LL_0^2 \left[\frac{1}{2} \text{arcsen} \left(\frac{y}{L_0} \right) + \frac{1}{4} \text{sen} 2 \left(\text{arcsen} \left(\frac{y}{L_0} \right) \right) \right]_{-L_0}^{L_0} = \\ &= 2LL_0^2 \left[\frac{1}{2} \text{arcsen} \left(\frac{L_0}{L_0} \right) + \frac{1}{4} \text{sen} 2 \left(\text{arcsen} \left(\frac{L_0}{L_0} \right) \right) - \frac{1}{2} \text{arcsen} \left(\frac{-L_0}{L_0} \right) - \frac{1}{4} \text{sen} 2 \left(\text{arcsen} \left(\frac{-L_0}{L_0} \right) \right) \right] = \\ &= 2LL_0^2 \left[\frac{1}{2} \text{arcsen}(1) + \frac{1}{4} \text{sen} 2(\text{arcsen}(1)) - \frac{1}{2} \text{arcsen}(-1) - \frac{1}{4} \text{sen} 2(\text{arcsen}(-1)) \right] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2LL_0^2 \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{2} + \frac{1}{4} \operatorname{sen} 2 \left(\frac{\pi}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{-\pi}{2} \right) - \frac{1}{4} \operatorname{sen} 2 \left(\frac{-\pi}{2} \right) \right] = 2LL_0^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4} \operatorname{sen}(\pi) - \frac{1}{4} \operatorname{sen}(-\pi) \right] = \\
 &= 2LL_0^2 \left[\frac{\pi}{2} + 0 - 0 \right] = 2LL_0^2 \left[\frac{\pi}{2} \right] = LL_0^2 \pi = \pi L_0^2 L \quad (\text{B.20})
 \end{aligned}$$

Portanto:

$$\int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx dy = (\pi L_0^2) L \quad (\text{B.21})$$

b) HIPÓTESE: $2L_0 = L$

$$\begin{aligned}
 \int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx dy &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L_0} f(x, y) dx + \int_{L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx \right] dy \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L_0} (x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx + \int_{L_0}^{L+L_0} (L - x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{-L_0}^{L_0} + \left[Lx - \frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{L_0}^{L+L_0} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] - \left[\frac{L_0^2}{2} - L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] + \left[L(L+L_0) - \frac{(L+L_0)^2}{2} + (L+L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] - \left[LL_0 - \frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + L(L+L_0) - \frac{(L+L_0)^2}{2} + (L+L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} - L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + L^2 + LL_0 - \frac{L^2 + 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} - L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + L^2 + LL_0 - \frac{L^2}{2} - LL_0 - \frac{L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} + \frac{L^2}{2} - LL_0 \right] dy = \\
 &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[(2L_0 + L)\sqrt{L_0^2 - y^2} + \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) \right] dy = \int_{-L_0}^{L_0} \left[(2L_0 + L)\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy + \int_{-L_0}^{L_0} \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) dy = \\
 &= (2L_0 + L) \int_{-L_0}^{L_0} \left[\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy + \int_{-L_0}^{L_0} \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) dy = (2L_0 + L) \frac{L_0^2 \pi}{2} + \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) y \Big|_{-L_0}^{L_0} = \\
 &= (2L_0 + L) \frac{L_0^2 \pi}{2} + \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) y \Big|_{-L_0}^{L_0} = (2L_0 + L) \frac{L_0^2 \pi}{2} + \left(\frac{L^2}{2} - LL_0 \right) (2L_0) = \\
 &= (2L_0 + L) \frac{L_0^2 \pi}{2} + LL_0(L - 2L_0) \quad (\text{B.22})
 \end{aligned}$$

Substituindo $2L_0 = L$ na equação (B.22), tem-se, portanto:

$$\int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx dy = (\pi L_0^2) L \quad (B.23)$$

c) HIPÓTESE: $2L_0 > L$

$$\begin{aligned} \int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx dy &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L-L_0} f(x, y) dx + \int_{L-L_0}^{L_0} f(x, y) dx + \int_{L_0}^{L+L_0} f(x, y) dx \right] dy \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\int_{-L_0}^{L-L_0} (x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx + \int_{L-L_0}^{L_0} (2\sqrt{L_0^2 - y^2}) dx + \int_{L_0}^{L+L_0} (L - x + \sqrt{L_0^2 - y^2}) dx \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{-L_0}^{L-L_0} + Lx \Big|_{L-L_0}^{L_0} + \left[Lx - \frac{x^2}{2} + x\sqrt{L_0^2 - y^2} \right]_{L_0}^{L+L_0} \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{(L-L_0)^2}{2} + (L-L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] + L(L_0 - L + R)L_0 + \right. \\ &+ \left. \left[L(L+L_0) - \frac{(L+L_0)^2}{2} + (L+L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - \left(LL_0 - \frac{L_0^2}{2} + L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right) \right] \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{L^2 - 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} \right] + L(2L_0 - L) + \right. \\ &+ \left. \left[L(L+L_0) - \frac{L^2 + 2LL_0 + L_0^2}{2} + (L+L_0)\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} - L_0\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\left[\frac{L^2 - 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} \right] + L(2L_0 - L) + \left[L(L+L_0) - \frac{L^2 + 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} \right] \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\frac{L^2 - 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} + 2LL_0 - L^2 + L^2 + LL_0 - \frac{L^2 + 2LL_0 + L_0^2}{2} + L\sqrt{L_0^2 - y^2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\frac{L^2 - 2LL_0 + L_0^2}{2} + 2L\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} + 2LL_0 - \frac{L^2 + 2LL_0 + L_0^2}{2} + \frac{L_0^2}{2} \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[\frac{L^2}{2} - LL_0 + \frac{L_0^2}{2} + 2L\sqrt{L_0^2 - y^2} - \frac{L_0^2}{2} + 2LL_0 - \frac{L^2}{2} - LL_0 - \frac{L_0^2}{2} + \frac{L_0^2}{2} \right] dy = \\ &= \int_{-L_0}^{L_0} \left[2L\sqrt{L_0^2 - y^2} \right] dy = (\pi L_0^2) L \quad (B.24) \end{aligned}$$

Logo:

$$\int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L_0} f(x, y) dx dy = (\pi L_0^2) L \quad (\text{B.25})$$

Observando-se, nas hipóteses, a igualdade nas equações (B.21), (B.23) e (B.25) conclui-se que para qualquer tamanho de célula e enlace:

$$\int_{-L_0}^{L_0} \int_{-L_0}^{L_0} f(x, y) dx dy = (\pi L_0^2) L \quad (\text{B.26})$$

Desta forma pode-se calcular, para a célula bidimensional, fazendo-se uma analogia ao modelo do UIT-R unidimensional, o fator de redução de percurso, r , que é a relação entre o comprimento real e o comprimento efetivo do enlace. O comprimento efetivo será a equação (B.26) dividida pela área da região onde a célula de chuva intercepta o enlace, definida na figura 52 (a).

$$L_{ef_{0,01}}(km) = \frac{(\pi L_0^2) L}{\pi L_0^2 + 2L_0 L} = \frac{L}{1 + \frac{2L}{\pi L_0}} \quad (\text{B.27})$$

$$L_{ef_{0,01}}(km) = r L$$

Assim, r , é dada por:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{2L}{\pi L_0}} \quad (\text{B.28})$$

Assim, tem-se um modelamento semi-empírico do comprimento efetivo para enlaces terrestres ponto-a-ponto, considerando células de chuva bidimensionais. Observa-se que a equação (B.28) tem a mesma forma da equação (3.8), diferindo dela apenas por um fator de proporcionalidade $2/\pi$.

Anexo 1 – Conceitos

An 1

Seção Retra

AN 1.1

Seção Retra Diferencial de Espalhamento (σ_d)

A partir das densidades de fluxo incidentes e espalhadas em função dos campos elétricos e magnéticos dados como:

$$S_i = \frac{1}{2}(\vec{E}_i \times \vec{H}_i^*) = \frac{|E_i|^2}{2\eta_0} \hat{i} = \frac{1}{2\eta_0} \hat{i}$$

(AN1.1)

$$S_s = \frac{1}{2}(\vec{E}_s \times \vec{H}_s^*) = \frac{|E_s|^2}{2\eta_0} \hat{o}$$

onde $\eta_0 = (\mu_0/\epsilon_0)^{1/2}$ é a impedância característica do meio.

Define-se a Seção Retra Diferencial de Espalhamento como a seção retra responsável pelo fluxo de potência espalhada por unidade de ângulo sólido em uma determinada direção, sendo expressa da seguinte forma:

$$\sigma_d(\hat{o}, \hat{i}) = \lim_{R \rightarrow \infty} \left(\frac{R^2 S_s}{S_i} \right) = |f(\hat{o}, \hat{i})|^2$$

(AN1.2)

Utilizando-se da definição, também pode-se representar a Seção Retra Diferencial de Espalhamento como função da Seção Retra Total :

$$\sigma_d(\hat{\theta}, \hat{i}) = \left(\frac{\sigma_t}{4\pi} \right) p(\hat{\theta}, \hat{i}) \quad (\text{AN1.3})$$

onde $p(\hat{\theta}, \hat{i})$ é a quantidade de potência espalhada, sendo denominada de função fase.

AN 1.2

Seção Reta de Espalhamento (σ_s)

A seção reta da partícula que produz a energia espalhada em todos os ângulos ao redor da partícula é chamada de Seção Reta de Espalhamento, σ_s , e é dada por :

$$\sigma_s = \int_{4\pi} \sigma_d d\omega = \int_{4\pi} |\vec{f}(\hat{\theta}, \hat{i})|^2 d\omega = \frac{\sigma_t}{4\pi} \int_{4\pi} |\vec{p}(\hat{\theta}, \hat{i})|^2 d\omega \quad (\text{AN1.4})$$

Logo, a Potência Espalhada, P_s , será o produto da densidade de fluxo de potência incidente pela seção reta de espalhamento ($P_s = S_i \cdot \sigma_s$).

AN 1.3

Seção Reta de Absorção (σ_a)

A seção reta de uma partícula, à qual corresponde a energia total absorvida, é chamada de Seção Reta de Absorção e, analogamente, a Potência de Absorção, P_a , é dada por: $P_a = S_i \cdot \sigma_a$.

AN 1.4

Seção Reta Total ou de Extinção (σ_t)

Finalmente, a perda total de energia da onda incidente, devido ao espalhamento e absorção pela partícula, é denominada Seção Reta Total ou de Extinção, sendo dada pela soma das seções retas de espalhamento e absorção.

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_s \quad (\text{AN1.5})$$

AN 1.5

Albedo (W_0)

O Albedo, W_0 , é definido como a razão entre a seção reta de Espalhamento e a Seção Reta Total, e apresenta a seguinte formulação:

$$W_0 = \frac{\sigma_s}{\sigma_t} = \frac{1}{\sigma_t} \int_{4\pi} |f(\hat{o}, \hat{i})|^2 dw = \frac{1}{4\pi} p(\hat{o}, \hat{i}) dw \quad (\text{AN1.6})$$

AN 1.6

Relação entre Seção Reta Total e Seção Reta Geométrica para $D \gg \lambda$

Se o tamanho de uma partícula for muito maior que o comprimento de onda, a seção reta total, σ_t , será duas vezes a seção reta geométrica. Para demonstrar tal proposição, considera-se uma onda incidente com densidade de fluxo de energia S_i conforme figura 52.

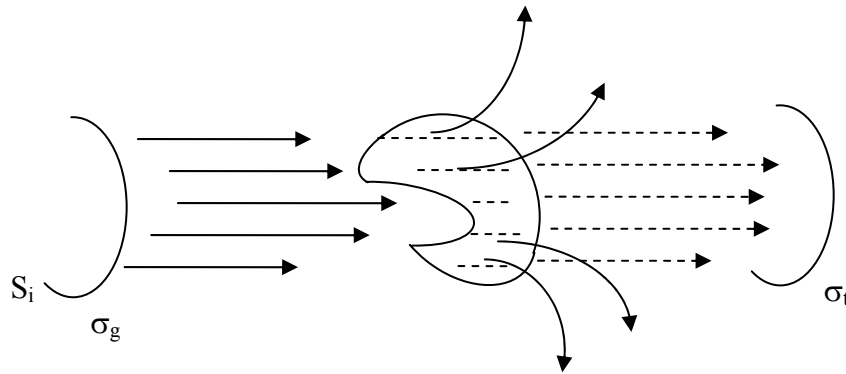


Figura 52 – Relação entre seção reta total e seção reta geométrica.

$$\phi_i = S_i \sigma_g \rightarrow \text{Fluxo de potência incidente}$$

$$\phi_s = S_s \sigma_g \rightarrow \text{Fluxo de potência espalhada}$$

Na região de sombra:

$$\begin{aligned}
\vec{E} &= \vec{E}_i + \vec{E}_s = 0 \\
\vec{E}_s &= \vec{E}_i e^{j\pi} \\
\vec{S}_s &= \frac{1}{2} (\vec{E}_s \times \vec{H}_s^*) = \frac{1}{2} (\vec{E}_i e^{j\pi} \times \vec{H}_i^* e^{-j\pi}) = \vec{S}_i \\
\phi_i &= \phi_i + \phi_s = 2S_i \sigma_g = S_i \sigma_t \Rightarrow \sigma_t = 2\sigma_g
\end{aligned}
\tag{AN1.7}$$

Pode-se também observar que a energia total absorvida, quando a partícula é muito grande, não pode ser maior do que $S_i \sigma_g$ e, assim, a seção reta de absorção σ_a apresenta uma constante um pouco menor do que a seção reta geométrica :

$$P_a \leq S_i \sigma_g \Rightarrow \sigma_a \rightarrow \sigma_g \tag{AN1.8}$$

AN 1.7

Teorema Avançado de Espalhamento ou Teorema Ótico

Uma vez que a perda de potência total da onda incidente, devido ao espalhamento e absorção da energia pela partícula, é representada pela seção reta total, esta perda é relacionada no Teorema Avançado de Espalhamento ou Teorema Ótico.

O Teorema Avançado de Espalhamento expressa que a seção reta total, σ_t , é relacionada à parte imaginária da amplitude de espalhamento na direção $f(\hat{i}, \hat{i})$, da seguinte forma [5] :

$$\sigma_t = \frac{4\pi}{k} \text{Im} [f(\hat{i}, \hat{i})] \hat{e}_i \tag{AN1.9}$$

onde \hat{e}_i é o vetor unitário na direção de polarização da onda incidente.

AN 1.8**Representação Integral da Amplitude de Espalhamento e da Seção Reta de Absorção**

A descrição matemática da amplitude de espalhamento e seções retas pode ser realizada através de: uma forma simples da partícula, tal como uma esfera ou um cilindro infinito; e uma forma complexa das partículas.

No primeiro caso é possível obter a expressão exata das seções retas e amplitude de espalhamento. A solução exata para uma esfera dielétrica é chamada “Solução de Mie”, cuja formulação será apresentada mais adiante.

Entretanto, para formas de partículas mais complexas será necessário utilizar-se de método de determinação aproximada das seções. Isto pode ser feito através da representação da integral geral da amplitude espalhada [4].

Desta forma, considerando-se a permeabilidade μ_0 , constante e utilizando-se das equações de Maxwell em conjunto com o conceito de fonte de corrente equivalente, pode-se expressar o vetor de Hertz do campo espalhado para a solução da equação de onda como:

$$\mathbf{\Pi}_s(\vec{r}) = -\frac{1}{i\omega\epsilon_0} \int_V G_0(\vec{r}, \vec{r}') J_{eq}(\vec{r}') dV' = \int_V [\epsilon(\vec{r}') - 1] E(\vec{r}') G_0(\vec{r}, \vec{r}') dV' \quad (\text{AN1.10})$$

onde $G_0(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|}$ é a função de Green de Espaço Livre e

$J_{wg}(\vec{r}') = [\epsilon(\vec{r}') - 1] E(\vec{r}')$ é a fonte de corrente equivalente.

Assim, o campo espalhado pode ser obtido por:

$$\begin{aligned} \vec{H}_s &= -i\omega\epsilon_0 \nabla \times \mathbf{\Pi}_s(\vec{r}) \\ \nabla \times \vec{H}_s &= -i\omega\epsilon_0 \vec{E}_s \\ \vec{E}_s &= \nabla \times \nabla \times \mathbf{\Pi}_s(\vec{r}) \end{aligned} \quad (\text{AN1.11})$$

Para o cálculo do campo distante, fazem-se as seguintes aproximações:

$$\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \approx \frac{1}{R}$$

$$|\vec{r} - \vec{r}'| \approx R - \vec{r}' \cdot \hat{\sigma}$$

$$\nabla = i\kappa \hat{\sigma}$$
(AN1.12)

E chega-se a uma aproximação aceitável para a função de Green de Espaço Livre como sendo:

$$G_0(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{e^{i\kappa|\vec{r} - \vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}'|} = \frac{e^{(i\kappa R - i\kappa \vec{r}' \cdot \hat{\sigma})}}{4\pi R}$$
(AN1.13)

Substituindo as equações (AN.15) e (AN.16) na formulação do campo espalhado, A.14, tem-se:

$$\vec{E}_s = \frac{e^{i\kappa R}}{R} \frac{\kappa^2}{4\pi} \int_V \{-\hat{\sigma} \times [\hat{\sigma} \times E(\vec{r}')] \} [\epsilon(\vec{r}') - 1] e^{-i\kappa \vec{r}' \cdot \hat{\sigma}} dV'$$
(AN1.14)

Conforme mencionado anteriormente, pode-se observar que o campo espalhado, para regiões distantes, tende a uma onda esférica, e a amplitude de espalhamento é dada por:

$$\vec{E}_s = \vec{f}(\hat{\sigma}, \hat{i}) \frac{e^{i\kappa R}}{R}$$

$$f(\hat{\sigma}, \hat{i}) = \frac{\kappa^2}{4\pi} \int_V \{-\hat{\sigma} \times [\hat{\sigma} \times E(\vec{r}')] \} [\epsilon(\vec{r}') - 1] e^{-i\kappa \vec{r}' \cdot \hat{\sigma}} dV'$$
(AN1.15)

Esta é uma expressão exata para a amplitude de espalhamento $f(\hat{\sigma}, \hat{i})$ em termos de campo elétrico $E(\vec{r}')$. Entretanto, em geral, o campo elétrico $E(\vec{r}')$ não é conhecido, sendo de difícil descrição. Para situações práticas, é possível aproximar o campo por alguma função conhecida e, assim, obter uma expressão aproximada.

Algumas aproximações usuais são descritas a seguir:

- a) Espalhamento Rayleigh: Considera-se a partícula como uma esfera dielétrica ($\epsilon_r \approx \text{cte}$) cujo tamanho é muito menor do que o comprimento de onda ($D \ll \lambda$). Devido a este pequeno tamanho, o campo elétrico dentro e próximo da esfera deve se comportar quase como um campo eletrostático, E_i , o qual, aplicado à esfera, gera um campo elétrico dentro da esfera, E , conhecido e igual a:

$$E = \frac{3}{\epsilon_r + 2} E_i \quad (\text{AN1.16})$$

Nota-se que, por esta aproximação ser aplicada para $D \ll \lambda$, ela não deve ser empregada para gotas de chuva em frequências elevadas, sendo esta a área de interesse do presente trabalho.

- b) Espalhamento Rayleigh-Debye (Aproximação de Born): Neste caso considera-se a constante dielétrica aproximadamente igual a 1 ($\epsilon_r \approx 1$) para $(\epsilon_r - 1) \kappa D \ll 1$. Esta aproximação conduz a que o campo dentro da esfera é aproximadamente igual ao campo incidente, ou seja, $\vec{E}(\vec{r}') \approx \vec{E}_i(\vec{r}') = \hat{e}_i e^{i\kappa \vec{r}' \cdot \hat{i}}$. Esta aproximação descreve muito bem as características angulares do espalhador, entretanto, não consegue representar a parte imaginária de $f(\hat{o}, \hat{i})$, a qual expressa a amplitude de espalhamento.
- c) Aproximação WKB: Esta aproximação fornece uma solução aos casos em que não são aplicadas as soluções de Rayleigh e Born, ou seja, considera $(\epsilon_r - 1) \kappa D \gg 1$ e $(\epsilon_r - 1) < 1$. O ângulo de refração é assumido como sendo igual ao ângulo incidente, e considera-se a onda propagando na direção da onda incidente. Assim, pode-se, calculando o campo em função do índice de refração da partícula, obter a amplitude de espalhamento.

AN 1.9

Teoria de Mie

A Teoria de Mie apresenta uma solução exata para o espalhamento de uma onda eletromagnética plana em uma esfera isotrópica e homogênea. Portanto, considera-se o problema de uma esfera com constante dielétrica $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$, uma onda incidente propagando na direção z e polarizada na direção x, conforme mostrado na figura 53.

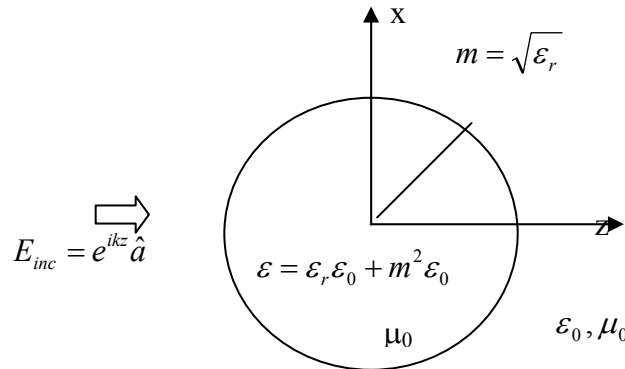


Figura 53 – Geometria para Teoria de Mie.

Os campos eletromagnéticos incidentes podem ser representados, em coordenadas esféricas, pelos vetores de Hertz, sendo dados por expansão de funções de Bessel e Legendre, associados à onda plana em harmônicos esféricos.

$$\begin{aligned}
 r \Pi_1^i &= \frac{1}{\kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} \psi_n(\kappa r) P_n^1(\cos \theta) \cos \phi \\
 r \Pi_2^i &= \frac{1}{\eta \kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} \psi_n(\kappa r) P_n^1(\cos \theta) \sin \phi
 \end{aligned} \tag{AN1.17}$$

Analogamente, os campos espalhados apresentam formulação semelhante, entretanto, utilizando-se, também, de funções de Hankel.

$$\left. \begin{aligned}
 r \Pi_1^s &= \frac{(-1)}{\kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} a_n \xi_n(\kappa r) P_n^1(\cos \theta) \cos \phi \\
 r \Pi_2^s &= \frac{(-1)}{\eta \kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} b_n \xi_n(\kappa r) P_n^1(\cos \theta) \sin \phi
 \end{aligned} \right\} r > a \text{ (fora da esfera)}$$

$$\left. \begin{aligned} r\Pi_1^r &= \frac{(-1)}{\kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} c_n \psi_n(\kappa r) P_n^1(\cos\theta) \cos\phi \\ r\Pi_2^r &= \frac{(-1)}{\eta\kappa^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{i^{n-1}(2n+1)}{n(n+1)} d_n \psi_n(\kappa r) P_n^1(\cos\theta) \text{sen}\phi \end{aligned} \right\} r < a \text{ (interior da esfera)}$$

(AN1.18)

onde θ e ϕ são os ângulos do vetor posição com os eixos.

As condições de contorno, continuidade de E_θ , E_ϕ , H_θ , H_ϕ em $r = a$, determinam: a_n , b_n , c_n , d_n . As condições são equivalentes à continuidade de $n^2\Pi_1$, $\partial/\partial r(r\Pi_1)$, Π_2 e, fornecem:

$$a_n = \frac{\psi_n(\kappa a)\psi_n'(\kappa ma) - m\psi_n(\kappa ma)\psi_n'(\kappa a)}{\xi_n(\kappa a)\psi_n'(\kappa ma) - m\psi_n(\kappa ma)\xi_n'(\kappa a)}$$

(AN1.19)

$$b_n = \frac{m\psi_n(\kappa a)\psi_n'(\kappa ma) - \psi_n(\kappa ma)\psi_n'(\kappa a)}{m\xi_n(\kappa a)\psi_n'(\kappa ma) - \psi_n(\kappa ma)\xi_n'(\kappa a)}$$

Desta forma, pode-se calcular o campo espalhado, E_s , obtendo-se:

$$\vec{E}_\theta = \frac{ie^{i\kappa r}}{\kappa r} S_2(\theta) \cos\phi ; \quad \vec{E}_\phi = -\frac{ie^{i\kappa r}}{\kappa r} S_1(\theta) \text{sen}\phi$$

$$\vec{E}_s = \vec{E}_\theta + \vec{E}_\phi \Rightarrow \vec{E}_s = \left[\frac{i}{\kappa} S_2(\theta) \cos\phi \hat{a}_\theta - \frac{i}{\kappa} S_1(\theta) \hat{a}_\phi \right] \frac{e^{i\kappa r}}{R}$$

(AN1.20)

onde

$$S_1(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} [a_n \pi_n(\cos\theta) + b_n \tau_n(\cos\theta)]$$

$$S_2(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} [a_n \tau_n(\cos\theta) + b_n \pi_n(\cos\theta)]$$

$$\pi_n(\cos\theta) = \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\text{sen}\theta} , \quad \tau_n(\cos\theta) = \frac{d}{d\theta} P_n^1(\cos\theta)$$

e da condição de que o campo espalhado, em regiões distantes, é uma onda esférica, tem-se:

$$\vec{E}_s = \left[\frac{i}{\kappa} S_2(\theta) \cos \varphi \hat{a}_\theta - \frac{i}{\kappa} S_1(\theta) \hat{a}_\phi \right] \frac{e^{i\kappa \vec{r}}}{R} \quad (\text{AN1.21})$$

$$\vec{f}(\hat{o}, \hat{i}) = \left[\frac{i}{\kappa} S_2(\theta) \cos \varphi \hat{a}_\theta - \frac{i}{\kappa} S_1(\theta) \hat{a}_\phi \right]$$

Anexo 2 – Validação da Relação $A = Ar^b$

AN 2

Validação da Relação

AN 2.1

Validação da relação empírica $\gamma = aR^b$

Uma análise teórica da relação empírica mostra que é uma aproximação de:

$$\gamma = a' R^{b'} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} c_n f^n R^{nd} \right] \quad (\text{AN2.1})$$

onde a' , b' e c_n são considerados em função da frequência, temperatura da chuva e parâmetros de distribuição de chuva, e quando $f \rightarrow 0$ ou $f \rightarrow \infty$, a equação tende à relação empírica $\gamma = aR^b$.

AN 2.2

Validação da relação para frequência baixa

Usando a Teoria de Mie [8, 10] :

$$\begin{aligned} \bar{f}(\hat{i}, \hat{i}) &= -\frac{i}{\kappa} S_2(\pi) = -\frac{i}{\kappa} S(0, D) \\ S(0, D) &= S_2(\pi) = \frac{1}{2} [3(a_1 + b_1) + 5(a_2 + b_2) + 7(a_3 + b_3) + \dots] \end{aligned} \quad (\text{AN2.2})$$

onde a_1, b_1, \dots são os coeficientes de Mie.

Utilizando os primeiros coeficientes de Mie até truncar na ordem x^8 , onde $x = \pi D/\lambda$, tem-se [10]:

$$S(0, D) = ix^3(M_1 + M_2x^2 + M_3x^3 + M_4x^4 + M_5x^5 + \dots) \quad (\text{AN2.3})$$

onde:

$$M_1 = \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}$$

$$M_2 = M_1 \left[\frac{3}{5} \left(\frac{m^2 - 2}{m^2 + 2} \right) + \frac{1}{30} (m^2 + 2) + \frac{1}{6} \left(\frac{m^2 - 2}{2m^2 + 3} \right) \right]$$

$$M_3 = -i \frac{2}{3} M_1^2$$

$$M_4 = M_1 \left[\frac{3}{350} \frac{(m^6 + 20m^4 - 200m^2 + 200)}{(m^2 + 2)^2} + \frac{1}{315} (m^2 + 2)(m^2 - 2) - \frac{5}{42} \frac{(m^2 + 2)}{(2m^2 + 3)^2} + \frac{2}{225} \left(\frac{m^2 + 2}{3m^2 + 4} \right) \right]$$

$$M_5 = -i \frac{4}{5} M_1^2 \left(\frac{m^2 - 2}{m^2 + 1} \right)$$

onde m é dependente da frequência, temperatura e índice de refração da água.

Pode-se considerar, como uma boa aproximação, a distribuição média das gotas de chuva como uma exponencial negativa:

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D} \quad ; \quad \Lambda = \alpha R^{-\beta} \quad (\text{AN2.4})$$

onde α e β constantes.

Outra distribuição que também é empregada e apresenta conformidade, é a distribuição Gama Modificada:

$$N(D) = \Lambda_1 D^p e^{-\Lambda_2 D^q} \quad (\text{AN2.5})$$

Λ_1 e Λ_2 são funções da taxa de precipitação de chuva e tipo de chuva, mas independente de D .

Então:

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \int_0^{\infty} Q_t(D) N(D) dD \Rightarrow A = \frac{10}{\ln 10} \int_0^{\infty} Q_t(D) N_0 e^{-\Lambda D} dD$$

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \int_0^{\infty} \frac{4\pi}{\kappa^2} \operatorname{Re}[S(0, D)] N_0 e^{-\Lambda D} dD = \frac{10}{\ln 10} \frac{4\pi c^2}{(2\pi)^2 f^2} \int_0^{\infty} \operatorname{Re}[S(0, D)] N_0 e^{-\Lambda D} dD$$

(AN2.6)

Assim, deve-se obter um equacionamento para $\operatorname{Re}[S(0, D)]$:

$$S(0, D) = ix^3 (M_1 + M_2 x^2 + M_3 x^3 + M_4 x^4 + M_5 x^5 + \dots)$$

$$x = \frac{\pi D}{\lambda} = \frac{\pi D f}{c} \Rightarrow S(0, D) = i \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 D^3 \left[M_1 + M_2 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^2 D^2 + M_3 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 D^3 + M_4 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^4 D^4 + M_5 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^5 D^5 + \dots \right]$$

$$\operatorname{Re}[S(0, D)] = \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 \operatorname{Re} \left[D^3 \left(iM_1 + iM_2 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^2 D^2 + iM_3 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 D^3 + iM_4 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^4 D^4 + iM_5 \left(\frac{\pi f}{c} \right)^5 D^5 + \dots \right) \right]$$

$$\operatorname{Re}[S(0, D)] = \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 \operatorname{Im}(M_1) \operatorname{Im} \left[D^3 + \left(\frac{\pi f}{c} \right)^2 D^5 + \frac{M_3}{M_1} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 D^6 + \frac{M_4}{M_1} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^4 D^7 + \frac{M_5}{M_1} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^5 D^8 + \dots \right]$$

$$\operatorname{Re}[S(0, D)] = \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 \operatorname{Im}(M_1) \left\{ D^3 + \sum_{n=2}^5 \operatorname{Im} \left[\frac{M_n}{M_1} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^n D^{n+3} \right] \right\}$$

(AN2.7)

Substituindo (AN2.7) em (AN2.6) tem-se:

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{4\pi c^2}{(2\pi)^2 f^2} \int_0^{\infty} \operatorname{Re}[S(0, D)] N_0 e^{-\Lambda D} dD$$

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{4\pi c^2 N_0}{(2\pi)^2 f^2} \int_0^{\infty} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^3 N_0 \operatorname{Im}(M_1) \left\{ D^3 + \sum_{n=2}^5 \operatorname{Im} \left[\frac{M_n}{M_1} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^n D^{n+3} \right] \right\} e^{-\Lambda D} dD$$

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f N_0 \operatorname{Im}(M_1)}{c} \left[\int_0^{\infty} D^3 e^{-\Lambda D} dD + \sum_{n=2}^5 \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^n \int_0^{\infty} D^{n+3} e^{-\Lambda D} dD \right]$$

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f N_0 \operatorname{Im}(M_1)}{c} \left[\frac{\Gamma(4)}{\Lambda^4} + \sum_{n=2}^5 \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^n \frac{\Gamma(n+4)}{\Lambda^{n+4}} \right]$$

$$\gamma = \frac{60 \pi^2 N_0 f \operatorname{Im}(M_1)}{\ln(10) c \alpha^4} R^{4\beta} \left[1 + \sum_{n=2}^5 \frac{(n+3)!}{3!} \left(\frac{\pi}{c\alpha} \right)^n R^{n\beta} \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \right]$$

$$\gamma = a' R^{b'} \left(1 + c_2 f^2 R^{2\beta} + c_3 f^3 R^{3\beta} + c_4 f^4 R^{4\beta} + c_5 f^5 R^{5\beta} + \dots \right) \quad (\text{AN2.8})$$

Analogamente, considerando a distribuição mais geral Gama modificada, então:

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f \Lambda_1 \operatorname{Im}(M_1)}{c} \left[\int_0^\infty D^3 D^p e^{-\Lambda_2 D^q} dD + \sum_{n=2}^5 \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \left(\frac{\pi f}{c} \right)^n \int_0^\infty D^{n+3} D^p e^{-\Lambda_2 D^q} dD \right]$$

$$A = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f \Lambda_1 \operatorname{Im}(M_1)}{c} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{p+4}{q}\right)}{q \alpha^{\frac{(p+4)\beta}{q}}} + \sum_{n=2}^5 \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \left(\frac{\pi f}{c \alpha^{1/q}} \right)^n \Gamma\left(\frac{p+n+4}{q}\right) R^{n\beta/q} \right]$$

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f \Lambda_1 \operatorname{Im}(M_1)}{c} R^{(p+4)\beta/q} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{p+4}{q}\right)}{q \alpha^{\frac{(p+4)\beta}{q}}} + \sum_{n=2}^5 \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \left(\frac{\pi f}{c \alpha^{1/q}} \right)^n \Gamma\left(\frac{p+n+4}{q}\right) R^{n\beta/q} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a' = \frac{10}{\ln 10} \frac{\pi^2 f \Lambda_1 \operatorname{Im}(M_1) \Gamma\left(\frac{p+4}{q}\right)}{c q \alpha^{\frac{(p+4)\beta}{q}}} \\ b' = \frac{(p+4)\beta}{q} \\ c_n = \Gamma^{-1}\left(\frac{p+4}{q}\right) \left(\frac{\pi}{c \alpha^{1/q}}\right)^n \Gamma\left(\frac{p+n+4}{q}\right) \frac{\operatorname{Im}(M_n)}{\operatorname{Im}(M_1)} \end{array} \right.$$

$$\gamma = a' R^{b'} \left[1 + c_2 f^2 R^{2\beta/q} + c_3 f^3 R^{3\beta/q} + c_4 f^4 R^{4\beta/q} + c_5 f^5 R^{5\beta/q} + \dots \right] \quad (\text{AN2.9})$$

Assim, por indução:

$$\gamma = a' R^{b'} \left[1 + \sum_{n=2}^\infty c_n f^n R^{n\beta/q} \right] \quad (\text{AN2.10})$$

O equacionamento (AN2.8) não costuma ser aplicado por não convergir rapidamente quanto à forma truncada, exceto para frequências e taxas de precipitação baixas. A forma $\gamma = aR^b$ permanece a melhor aproximação. Portanto, a importância da expansão em séries para a atenuação serve para mostrar a validação e limitação da forma $\gamma = aR^b$.

Para frequências ou taxas de chuva baixas, no limite, quando a frequência ou a taxa de precipitação tendem a zero, a expansão da atenuação tende à relação aR^b ($a = a'$ e $b = b'$).

Para frequências ou taxas de chuva elevadas, a e b não são independentes de R e a expansão de $\left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} c_n f^n R^{n\beta/q}\right]$ é aproximada por uma Lei de Potência $a''R''$ ($a = a'a''$ e $b = b' + b''$).

AN2.3

Validação da relação para frequência alta

Devido à difração de Fraunhofer ($\sigma_t = 2\sigma_g = 2\pi a^2 = \pi D^2/2$):

$$\sigma_t = Q_t(D) \cong \pi \frac{D^2}{2} \quad (\text{AN2.11})$$

Então, para a distribuição Gama modificada:

$$\gamma = \frac{10}{\ln 10} \int_0^{\infty} Q_t(D) N(D) dD \Rightarrow A \approx \frac{10}{\ln 10} \int_0^{\infty} \frac{\pi D^2}{2} \Lambda_1 D^p e^{-\Lambda_2 D^q} dD \quad (\text{AN2.12})$$

$$\gamma \approx \frac{5\pi\Lambda_1\Gamma\left(\frac{p+3}{q}\right)}{\ln(10)q\alpha^{\frac{(p+3)}{q}}} R^{3\beta} \Rightarrow A = aR^b \quad (\text{AN2.13})$$

Para distribuição exponencial negativa ($p = 0$; $q = 1$):

$$\gamma \approx \frac{5\pi\Lambda_1\Gamma\left(\frac{p+3}{q}\right)}{\ln(10)q\alpha^{\frac{(p+3)}{q}}} R^{3\beta} \Rightarrow A \approx \frac{10\pi N_0}{\ln(10)\alpha^3} R^{3\beta} \Rightarrow A = aR^b \quad (\text{AN2.14})$$

AN 2.4

Validação da relação para frequência intermediária

Para esta situação pode-se considerar a seção reta total como sendo [11] :

$$\sigma_t = Q_t(D) \cong CD^n \quad (\text{AN2.15})$$

Então, para a distribuição Gama modificada:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{10}{\ln 10} \int_0^\infty Q_t(D)N(D)dD \Rightarrow A \approx \frac{10}{\ln 10} \int_0^\infty CD^n \Lambda_1 D^p e^{-\Lambda_2 D^q} dD \\ \gamma &\cong \frac{10C\Lambda_1\Gamma\left(\frac{p+n+1}{q}\right)}{\ln(10)q\alpha^{\frac{(p+n+1)}{q}}} R^{(p+n+1)\beta/q} \Rightarrow A = aR^b \end{aligned} \quad (\text{AN2.16})$$

Para distribuição exponencial negativa ($p = 0$; $q = 1$):

$$\gamma \cong \frac{10CN_0\Gamma(n+1)}{\ln(10)\alpha^{(n+1)}} R^{(n+1)\beta} \Rightarrow A = aR^b \quad (\text{AN2.17})$$

C e n são determinados, para frequências baixas e elevadas, pelas relações assintóticas de a e b e para frequências intermediárias, pela determinação numérica.

Anexo 3 – Características dos Enlaces em Bancos de Dados da Literatura

As Tabelas 34 e 35 apresentam as características dos enlaces da base de dados do UIT-R, e de experimentos no Brasil de atenuação por chuvas para enlaces terrestres e satélite, respectivamente.

Tabela 34 – Características dos enlaces terrestres

Enlace	Latitude	Longitude	Frequência (GHz)	Comprimento (km)	Polarização
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	19,4	7,4	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	37,402	7,7	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	20,1	16,6	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	22,1	2,9	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	22,3	4	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	22,1	7	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	36,6	2,8	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	36,1	7,4	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	36,6	8,8	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	37,4	3,7	Vertical
Mendlesham	51°10'0"N	1°30'0"E	20,7	22,7	Vertical
Kjeller	56°10'12"N	11°0'0"E	18	21,3	Vertical
Stockholm	59°12'0"N	18°02'44,79"E	10,8	15	Horizontal
Stockholm	59°12'0"N	18°02'44,79"E	17,9	15	Horizontal
Stockholm	59°12'0"N	18°02'44,79"E	36	15	Horizontal
Darmstadt	50°0'0"N	8°39'0"E	12,4	20	Horizontal
Darmstadt	50°0'0"N	8°39'0"E	15	20	Horizontal
Darmstadt	50°0'0"N	8°39'0"E	29	20	Horizontal
Darmstadt	50°0'0"N	8°39'0"E	39	20	Horizontal
Leidschendam	52°1'12"N	4°14'24"E	35,5	12,4	Horizontal
Paris	48°31'12"N	2°20'24"E	11,7	58	Horizontal
Paris	48°31'12"N	2°20'24"E	13	12	Horizontal
Paris	48°31'12"N	2°20'24"E	13	12	Horizontal
Paris	48°31'12"N	2°20'24"E	13	15,4	Horizontal
Dijon	47°9'36"N	5°02'34"W	13	53	Horizontal
Dijon	47°9'36"N	5°02'34"W	19,3	23	Horizontal
Fucino	42°0'36"N	13°36'0"E	11	9,5	Vertical
Fucino	42°0'36"N	13°36'0"E	17,8	9,5	Vertical
Fucino	42°0'36"N	13°36'0"E	17,8	9,5	Horizontal
Rome	41°32'24"N	12°29'58,87"E	11	25	Vertical
Enlace	Latitude	Longitude	Frequência (GHz)	Comprimento (km)	Polarização
Turin	45°4'47"N	7°42'0"E	11,4	22,5	Vertical

Merrimack	42°29'24"N	71°30"W	18	4,3	Vertical
Palmetto	33°18'36"N	82°36'0"W	17,7	5,1	Horizontal
Holmdel	40°12'36"N	74°12'0"W	18,5	6,4	Vertical
Tokyo	34°25'12"N	139°46'1,74"E	11,5	1,3	Circular
Tokyo	34°25'12"N	139°46'1,74"E	34,5	1,3	Circular
Tokyo	34°25'12"N	139°46'1,74"E	81,8	1,3	Circular
Brazzaville	4°9'36"S	15°12'0"E	7	33,5	Horizontal
Rio de Janeiro	22°32'24"S	43°12'21"W	10,9	8,6	Horizontal
Xixiang-Henan	32°28'47"N	110°54'0"E	12	2,5	Horizontal
Xixiang-Henan	32°28'47"N	110°54'0"E	25,3	2,5	Horizontal
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	37	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	57	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	57	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	57	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	97	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	97	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	97	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	137	0,5	Vertical
Uvaly	50°2'16,08"N	14°29'19,32"E	14,92	15,3	Horizontal
Mostova	48°10'57"N	17°5'44,16"E	13,143	43,8	Vertical
Pisek	50°6'24,84"N	14°16'4,08"E	13,031	39,4	Vertical
Strahov	50°22'21"N	14°31'19"E	13,185	34	Horizontal
Strahov	50°22'21"N	14°31'19"E	13,101	34	Vertical
Piaseczno	52°10'12"N	21°11'24"E	11,5	15,4	Horizontal
Piaseczno	52°10'12"N	21°11'24"	18,6	15,4	Horizontal
Dubna 3	56°43'47"N	37°12'E	29,3	12,65	Vertical
Dubna 3	56°43'47"N	37°12'E	19,3	12,65	Vertical
Dubna 3	56°43'47"N	37°12'E	11,5	12,65	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	37	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	57	0,5	Vertical
Chilbolton	51°7'59,88"N	358°34'0,12"E	97	0,5	Vertical
Bradesco2	23°33'17"S	46°38'5"W	14,55	12,79	Vertical
Bradesco2	23°33'17"S	46°38'5"W	14,55	12,79	Vertical
CENESP15	23°33'17"S	46°38'5"W	14,55	12,78	Horizontal
CENESP15	23°33'17"S	46°38'5"W	14,55	12,78	Horizontal
CENESP18	23°33'17"S	46°38'5"W	18,6125	12,78	Vertical
Scania	23°33'17"S	46°38'5"W	14,5045	18,38	Vertical
Scania	23°33'17"S	46°38'5"W	14,5045	18,38	Vertical
Barueri	23°33'17"S	46°38'5"W	14,529	21,69	Vertical
Shell	23°33'17"S	46°38'5"W	18,5925	7,48	Vertical
Paranapiacaba	23°33'17"S	46°38'5"W	14,5185	42,99	Horizontal
Enlace	Latitude	Longitude	Frequência (GHz)	Comprimento (km)	Polarização
Paranapiacaba	23°33'17"S	46°38'5"W	14,5185	42,99	Horizontal

Tabela 35 – Características dos enlaces satélite

Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento L _s (km)	Ângulo de Elevação (θ)	Polarização
Lake Cowichan, B.C.	48°48'0"N	124°2'24"W	13	3,21	33	Linear
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	11,7	8,00	24	Circular
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	11,7	8,00	24	Circular
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	19	5,60	35,5	Linear
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	19	5,23	38,5	Linear
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	28,6	5,60	35,5	Linear
Waltham	42°24'0"N	71°18'0"W	28,6	5,23	38,5	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	11,6	5,12	42	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	11,6	9,56	21	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	11,6	5,22	41	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	11,6	4,98	43,5	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	19	9,56	21	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	19	9,56	21	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	19	5,22	41	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	19	5,22	41	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	19	4,98	43,5	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	28,6	9,56	21	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	28,6	5,22	41	Linear
Clarksburg	39°12'0"N	77°18'0"W	28,6	4,98	43,5	Linear
Greenbelt	38°30'0"N	77°0'0"W	11,7	7,12	29	Circular
Greenbelt	38°30'0"N	77°0'0"W	11,7	7,12	29	Circular
Greenbelt	38°30'0"N	77°0'0"W	11,7	7,12	29	Circular
Greenbelt	38°30'0"N	77°0'0"W	11,7	7,12	29	Circular
Wallops Is	37°48'0"N	75°30'0"W	28,6	5,19	41,6	Linear
Wallops Is	37°48'0"N	75°30'0"W	28,6	4,92	44,5	Linear
Wallops Is	37°48'0"N	75°30'0"W	28,6	4,92	44,5	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,7	5,99	33	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,7	5,99	33	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,7	5,99	33	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,6	17,58	10,7	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,6	17,58	10,7	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	11,6	17,58	10,7	Circular
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	19	4,54	46	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	19	4,54	46	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	19	4,62	45	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	19	4,62	45	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	28,6	4,62	45	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	28,6	4,70	44	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	28,6	4,62	45	Linear
Blacksburg#1	37°12'0"N	80°30'0"W	28,6	4,54	46	Linear
Palmetto	33°18'0"N	84°24'0"W	19	7,85	29,9	Linear
Palmetto	33°18'0"N	84°24'0"W	19	5,15	49,5	Linear
Palmetto	33°18'0"N	84°24'0"W	28,6	7,85	29,9	Linear
Palmetto	33°18'0"N	84°24'0"W	28,6	5,15	49,5	Linear
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	11,7	4,97	50	Circular
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	11,7	4,97	50	Circular
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	11,7	4,97	50	Circular
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	13,6	4,83	52	Linear
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	19	4,83	52	Linear
Austin	30°24'0"N	97°42'0"W	28,6	4,83	52	Linear
Tampa	27°36'0"N	82°18'0"W	19	5,14	54,5	Linear
Tampa	27°36'0"N	82°18'0"W	28,6	5,14	54,5	Linear
Lenox	39°36'0"N	79°18'0"W	11,6	9,94	18	Linear
Etam	39°18'0"N	79°42'0"W	11,6	10,19	18	Linear
Melville Sask.	50°54'0"N	103°0'0"W	13	4,47	31	Linear
Thunder Bay Ont.	48°24'0"N	89°24'0"W	13	5,98	30	Linear
Ottawa Ont.	45°24'0"N	75°54'0"W	13	7,19	26	Linear
Mill Village	44°30'0"N	64°30'0"W	13	8,93	20	Linear
Blacksburg#2	37°12'0"N	80°30'0"W	11,6	17,58	10,7	Circular
Austin#2	30°23'24"N	97°43'48"W	11,2	38,22	5,8	Circular
Austin#2	30°23'24"N	97°43'48"W	11,2	38,22	5,8	Circular
Austin#2	30°23'24"N	97°43'48"W	11,2	38,22	5,8	Circular
Austin#2	30°23'24"N	97°43'48"W	11,2	38,22	5,8	Circular
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	12,5	13,50	14	Linear
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	19,7	13,50	14	Linear
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	29,6	13,50	14	Linear
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	12,5	13,50	14	Linear
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	19,7	13,50	14	Linear
Blacksburg#3	37°12'0"N	80°30'0"W	29,6	13,50	14	Linear
Utibe	9°1'0"S	79°18'0"W	15,3	5,51	55	Linear
Manaus	3°6'0"S	60°18'0"W	11,7	5,40	55	Linear
Manaus	3°6'0"S	60°18'0"W	12	4,46	83,05	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Manaus	3°6'0"S	60°18'0"W	12	4,46	83,05	Linear
Manaus	3°6'0"S	60°18'0"W	12	4,46	83,05	Linear
Rio de Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	5,31	53,87	Linear
Rio de Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	5,31	53,87	Linear
Rio de Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	5,31	53,87	Linear
Rio de Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	5,31	53,87	Linear
Belem	1°18'0"S	48°0'0"W	12	4,79	70,53	Linear
Belem	1°18'0"S	48°0'0"W	12	4,79	70,53	Linear
Belem	1°18'0"S	48°0'0"W	12	4,79	70,53	Linear
Ponta das Lages	3°6'0"S	59°54'0"W	12	4,49	82,97	Linear
Trinidad	10°41'24"N	61°31'48"W	11,6	5,72	51,3	Linear
Iquitos	3°24'0"S	74°0'0"W	11,6	9,45	27,7	Linear
Brasilia	15°48'0"S	47°49'48"W	12	3,70	62,82	Linear
Trondheim	63°36'0"N	10°24'0"E	11,6	5,15	18	Linear
Bergen	60°24'0"N	5°18'0"E	11,6	4,02	21	Linear
Eik	61°18'0"N	5°12'0"E	11,6	3,29	23	Linear
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	14,5	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	14,5	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,8	4,25	26,5	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Albertslund#1	55°40'48"N	12°21'36"E	11,2	22,03	4,94	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,6	3,57	29,9	Linear
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,8	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	14,5	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,8	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,8	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,8	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,6	3,57	29,9	Linear
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,6	3,57	29,9	Linear
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	11,6	3,57	29,9	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	14,5	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	14,5	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	14,5	3,57	29,9	Circular
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	20	3,57	29,9	Linear
Martlesham#1	52°6'0"N	1°18'0"E	30	3,57	29,9	Linear
Nederhorst	52°12'0"N	5°6'0"E	11,6	3,77	30	Linear
Nederhorst	52°12'0"N	5°6'0"E	11,6	3,77	30	Linear
Nederhorst	52°12'0"N	5°6'0"E	11,6	3,77	30	Linear
Nederhorst	52°12'0"N	5°6'0"E	11,6	3,77	30	Linear
Nederhorst	52°12'0"N	5°6'0"E	11,6	3,77	30	Linear
Slough	51°30'0"N	0°30'0"W	11,8	4,06	30,3	Circular
Slough	51°30'0"N	0°30'0"W	11,6	4,16	29,5	Circular
Slough	51°30'0"N	0°30'0"W	30	5,38	22,4	Circular
Leeheim	49°54'0"N	8°18'0"E	11,4	4,86	30	Linear
Leeheim	49°54'0"N	8°18'0"E	11,8	4,47	32,9	Circular
Leeheim	49°54'0"N	8°18'0"E	11,8	4,47	32,9	Circular
Leeheim	49°54'0"N	8°18'0"E	11,8	4,47	32,9	Circular
Leeheim	49°54'0"N	8°18'0"E	11,6	4,47	32,9	Linear
Gometz	48°42'0"N	2°6'0"E	11,6	3,88	32	Circular
Gometz	48°42'0"N	2°6'0"E	11,6	3,72	33,6	Linear
Gometz	48°42'0"N	2°6'0"E	11,8	3,72	33,6	Circular
Gometz	48°42'0"N	2°6'0"E	14,5	3,72	33,6	Circular
Munich	48°12'0"N	11°36'0"E	11,6	5,61	29	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	11,6	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Lario	46°12'0"N	9°24'0"E	17,8	5,50	32	Circular
Spino D'adda	45°24'0"N	9°30'0"E	11,6	5,47	32	Linear
Spino D'adda	45°24'0"N	9°30'0"E	11,6	5,47	32	Linear
Spino D'adda	45°24'0"N	9°30'0"E	11,6	5,47	32	Linear
Spino D'adda	45°24'0"N	9°30'0"E	11,6	5,47	32	Linear
Spino D'adda	45°24'0"N	9°30'0"E	11,6	5,47	32	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,4	2,79	42	Linear
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	17,8	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	11,6	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	17,8	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	17,8	3,40	33,3	Circular
Fucino	42°0'0"N	13°36'0"E	17,8	3,40	33,3	Circular
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,37	13,2	Linear
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,37	13,2	Linear
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,37	13,2	Linear
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,37	13,2	Linear
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,83	12,5	Linear
Sodankyla	67°24'0"N	26°36'0"E	11,6	8,83	12,5	Linear
Kirkkonummi	60°12'0"N	24°24'0"E	11,8	4,68	20,6	Circular
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	11,4	4,82	21	Linear
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	11,6	4,53	22,4	Circular
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	14,5	4,53	22,4	Circular
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	11,8	4,53	22,4	Linear
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	11,6	4,53	22,4	Circular
Stockholm	59°18'0"N	18°6'0"E	11,8	4,53	22,4	Linear
Lustbuehel	47°6'0"N	15°30'0"E	11,6	4,31	35,2	Linear
Lustbuehel	47°6'0"N	15°30'0"E	11,6	4,31	35,2	Linear
Lustbuehel	47°6'0"N	15°30'0"E	11,6	4,31	35,2	Linear
Lustbuehel	47°6'0"N	15°30'0"E	11,6	4,31	35,2	Linear
Lustbuehel	47°6'0"N	15°30'0"E	11,6	4,31	35,2	Linear
Lyngby	55°42'0"N	12°24'0"E	11,8	4,22	26,5	Circular
Bern	47°0'0"N	7°30'0"E	11,4	3,90	35	Linear
Bern	47°0'0"N	7°30'0"E	11,6	3,81	36	Linear
Bern	47°0'0"N	7°30'0"E	11,6	3,81	36	Linear
Bern	47°0'0"N	7°30'0"E	11,6	3,81	36	Linear
Leuk	46°18'0"N	7°36'0"E	11,4	4,11	35	Linear
Milano	45°30'0"N	9°24'0"E	11,4	4,76	37	Linear
Milo	38°0'0"N	12°36'0"E	11,4	3,24	46	Linear
Porto	41°12'0"N	8°36'0"W	11,4	2,04	40	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Buitrago	41°24'0"N	2°12'0"W	11,4	2,63	40	Linear
Villafranca	40°30'0"N	4°0'0"W	11,4	3,13	41	Linear
Graz	47°6'0"N	15°30'0"E	11,4	4,68	34	Linear
Dublin	53°24'0"N	6°18'0"W	11,4	3,49	27	Linear
Kirkkonummi #2	60°13'5"N	24°23'39"E	19,7	7,75	12,67	Linear
Kirkkonummi #2	60°13'5"N	24°23'39"E	19,7	7,75	12,67	Linear
Kirkkonummi #2	60°13'5"N	24°23'39"E	29,6	7,75	12,67	Linear
Kirkkonummi #2	60°13'5"N	24°23'39"E	19,7	7,75	12,67	Linear
Kirkkonummi #2	60°13'5"N	24°23'39"E	29,6	7,75	12,67	Linear
Spino D'adda#2	45°24'0"N	9°30'0"E	12,5	5,72	30,4	Linear
Spino D'adda#2	45°24'0"N	9°30'0"E	19,8	5,72	30,4	Linear
Dubna	56°42'0"N	37°19'48"E	11,5	10,92	12	Circular
Dubna	56°42'0"N	37°19'48"E	11,5	10,92	12	Circular
Dubna	56°42'0"N	37°19'48"E	11,5	10,92	12	Circular
Dubna	56°42'0"N	37°19'48"E	11,5	10,92	12	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Neu Golm	52°11'24"N	14°3'0"E	11,5	5,67	24,7	Circular
Miedzeszyn	52°30'0"N	21°10'48"E	11,5	5,96	23	Linear
Miedzeszyn	52°30'0"N	21°10'48"E	11,5	5,96	23	Linear
Miedzeszyn	52°30'0"N	21°10'48"E	11,5	5,96	23	Linear
Miedzeszyn	52°30'0"N	21°10'48"E	11,5	5,96	23	Linear
Goonhilly	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	29,15	3,27	Circular
Goonhilly	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	29,15	3,27	Circular
Goonhilly	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	29,15	3,27	Circular
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	3,9	21,09	5	Linear
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	11,7	21,09	5	Linear
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	17	21,09	5	Linear
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	17	21,09	5	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	17	21,09	5	Linear
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	11,7	5,38	20	Linear
Backwell	51°18'0"N	2°48'0"W	17	5,38	20	Linear
Madley	52°1'48"N	2°50'24"W	12,1	16,71	6	Linear
Madley	52°1'48"N	2°50'24"W	12,1	16,71	6	Linear
Madley	52°1'48"N	2°50'24"W	12,1	16,71	6	Linear
Madley	52°1'48"N	2°50'24"W	12,1	16,71	6	Linear
Goonhilly#2	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	28,57	3,3	Circular
Goonhilly#2	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	28,57	3,3	Circular
Goonhilly#2	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	28,57	3,3	Circular
Goonhilly#2	50°3'0"N	5°10'12"W	11,2	28,57	3,3	Circular
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	8,93	13,5	Linear
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	8,93	13,5	Linear
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	8,93	13,5	Linear
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	4,19	29,8	Linear
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	4,19	29,8	Linear
London	51°30'0"N	0°3'36"E	12,1	4,19	29,8	Linear
Martlesham#2	52°3'36"N	1°17'24"E	17	20,62	5	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	4,66	22,7	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	3,60	29,9	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	3,60	29,9	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	3,60	29,9	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	3,60	29,9	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	20	3,60	29,9	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	19,8	3,89	27,5	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	19,8	3,89	27,5	Linear
Martlesham#3	52°3'36"N	1°17'24"E	19,8	3,89	27,5	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	4,66	22,7	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	3,60	29,9	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	3,60	29,9	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	3,60	29,9	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	3,60	29,9	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	30	3,60	29,9	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	29,7	3,89	27,5	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	29,7	3,89	27,5	Linear
Martlesham#4	52°3'36"N	1°17'24"E	29,7	3,89	27,5	Linear
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,8	3,60	29,9	Circular
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,2	10,35	10	Circular
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,2	10,35	10	Circular
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,2	10,35	10	Circular
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,2	10,35	10	Circular
Martlesham#5	52°3'36"N	1°17'24"E	11,2	10,35	10	Circular
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,5	3,60	29,9	Circular
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,3	10,35	10	Linear
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,3	10,35	10	Linear
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,3	10,35	10	Linear
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,3	10,35	10	Linear
Martlesham#6	52°3'36"N	1°17'24"E	14,3	10,35	10	Linear
Martlesham#7	52°3'36"N	1°17'24"E	12,9	3,89	27,5	Linear
Martlesham#7	52°3'36"N	1°17'24"E	12,9	3,89	27,5	Linear
Martlesham#7	52°3'36"N	1°17'24"E	12,9	3,89	27,5	Linear
Eindhoven#1	51°27'0"N	5°30'36"W	12,5	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#1	51°27'0"N	5°30'36"W	12,5	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#2	51°27'0"N	5°30'36"W	19,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#2	51°27'0"N	5°30'36"W	19,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#2	51°27'0"N	5°30'36"W	19,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#2	51°27'0"N	5°30'36"W	19,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#3	51°27'0"N	5°30'36"W	29,6	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#3	51°27'0"N	5°30'36"W	29,6	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#3	51°27'0"N	5°30'36"W	29,6	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	12,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	20	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	29,8	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	12,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	20	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	29,8	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	12,7	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	20	3,58	26,74	Linear
Eindhoven#4	51°27'0"N	5°30'36"W	29,8	3,58	26,74	Linear
Louvain-La-Neuve#1	50°40'12"N	4°37'12"E	12,5	4,11	27,8	Linear
Louvain-La-Neuve#2	50°40'12"N	4°37'12"E	29,6	4,11	27,8	Linear
Lessive#1	50°13'11"N	5°15'0"E	12,5	4,39	27,8	Linear
Lessive#1	50°13'11"N	5°15'0"E	12,5	4,39	27,8	Linear
Lessive#2	50°13'11"N	5°15'0"E	19,7	4,39	27,8	Linear
Lessive#2	50°13'11"N	5°15'0"E	19,7	4,39	27,8	Linear
Lessive#2	50°13'11"N	5°15'0"E	19,7	4,39	27,8	Linear
Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento	Ângulo de	Polarização

				L_s (km)	Elevação (θ)	
Lessive#2	50°13'11"N	5°15'0"E	19,7	4,39	27,8	Linear
Albertslund#2	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	5,37	20,7	Linear
Albertslund#2	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	5,37	20,7	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	29,6	5,39	20,6	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	29,6	5,37	20,7	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	12,5	4,22	26,74	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	4,22	26,74	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	4,22	26,74	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	4,22	26,74	Linear
Albertslund#3	55°40'48"N	12°21'36"E	19,7	4,22	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	19,7	5,74	27,6	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	19,7	5,74	27,6	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	29,8	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	12,7	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	20	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	29,8	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	12,7	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	20	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#1	48°4'48"N	11°16'48"E	29,8	5,91	26,74	Linear
Oberpfaffenho fen#2	48°4'48"N	11°16'48"E	18,9	5,74	27,6	Linear
Roma#1	41°52'12"N	12°27'36"E	12,5	4,92	32,7	Linear
Roma#1	41°52'12"N	12°27'36"E	19,8	5,76	27,5	Linear
Roma#1	41°52'12"N	12°27'36"E	29,7	5,76	27,5	Linear
Roma#2	41°52'12"N	12°27'36"E	19,7	4,99	32,2	Linear
Bassone	45°24'0"N	11°0'0"E	19,7	5,86	29,91	Linear
Nola	40°51'0"N	14°12'3"E	19,7	7,08	20,6	Linear
Aveiro#1	40°39'0"N	8°6'0"W	12,5	4,29	40	Linear
Aveiro#2	40°39'0"N	8°6'0"W	19,7	4,29	40	Linear
Aveiro#2	40°39'0"N	8°6'0"W	19,7	4,29	40	Linear
Aveiro#3	40°39'0"N	8°6'0"W	29,6	4,29	40	Linear
					Ângulo	

Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento L _s (km)	de Elevação (θ)	Polarização
Gometz-La-Ville#2	48°40'18"N	2°7'17,76"E	12,5	4,07	30,57	Linear
Gometz-La-Ville#3	48°40'18"N	2°7'17,76"E	19,7	4,07	30,57	Linear
Gometz-La-Ville#3	48°40'18"N	2°7'17,76"E	19,7	4,07	30,57	Linear
Gometz-La-Ville#4	48°40'18"N	2°7'17,76"E	29,6	4,07	30,57	Linear
La-Folie-Bessin#1	48°40'24"N	2°11'48"E	19,7	4,08	30,57	Linear
La-Folie-Bessin#2	48°40'24"N	2°11'48"E	29,6	4,08	30,57	Linear
Martlesham Heath#8	52°3'36"N	1°17'24"E	12,5	3,93	27,5	Linear
Martlesham Heath#8	52°3'36"N	1°17'24"E	19,8	3,93	27,5	Linear
Martlesham Heath#8	52°3'36"N	1°17'24"E	29,7	3,93	27,5	Linear
Lustbuehel#2	47°4'4,8"N	15°29'38"E	12,5	5,74	25,7	Linear
Lustbuehel#3	47°4'4,8"N	15°29'38"E	19,7	5,74	25,7	Linear
Lustbuehel#3	47°4'4,8"N	15°29'38"E	19,7	5,74	25,7	Linear
Lustbuehel#4	47°4'4,8"N	15°29'38"E	29,7	5,74	25,7	Linear
Douala	4°3'0"N	9°42'0"E	11,6	6,21	47	Linear
Douala	4°3'0"N	9°42'0"E	11,6	6,21	47	Linear
Nairobi	1°18'0"S	36°45'0"E	11,6	3,32	56,9	Linear
Nairobi	1°18'0"S	36°45'0"E	11,6	3,32	56,9	Linear
Ile-Ife	7°19'48"N	4°20'24"E	11,6	5,69	48,3	Linear
Ile-Ife	7°19'48"N	4°20'24"E	11,6	5,69	48,3	Linear
Delhi	28°24'0"N	77°6'0"E	11	6,66	45	Circular
Wakkanai	45°24'0"N	141°42'0"E	12,1	3,85	29,1	Linear
Wakkanai	45°24'0"N	141°42'0"E	19,5	3,11	37	Circular
Sendai	38°12'0"N	140°30'0"E	19,5	4,24	45	Circular
Mitaka	35°42'0"N	139°36'0"E	17	5,59	45	Circular
Kashima	35°36'0"N	140°42'0"E	11,5	4,06	47	Circular
Kashima	35°36'0"N	140°42'0"E	34,5	4,06	47	Circular
Kashima	35°36'0"N	140°42'0"E	11,7	4,93	37	Linear
Kashima	35°36'0"N	140°42'0"E	19,5	3,99	48	Circular
Setagaya	35°30'0"N	139°0'0"E	11,8	5,52	45	Linear
Matsue	35°30'0"N	133°0'0"E	12,1	4,37	42	Linear
					Ângulo	

Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento L _s (km)	de Elevação (θ)	Polarização
Yokohama	35°12'0"N	139°24'0"E	19,5	4,99	48	Circular
Yokosuka	35°6'0"N	139°24'0"E	19,5	4,79	48	Circular
Toyokawa	34°54'0"N	137°24'0"E	9,4	5,49	45	Linear
Osaka	34°42'0"N	135°30'0"E	12,1	6,02	41	Linear
Marugame	34°18'0"N	133°42'0"E	11,9	39,63	6	Linear
Marugame	34°18'0"N	133°42'0"E	11,9	16,00	15	Linear
Marugame	34°18'0"N	133°42'0"E	11,9	5,86	45	Linear
Izuhara	34°12'0"N	129°18'0"E	12,1	4,72	45,2	Linear
Owase	34°30'0"N	136°12'0"E	12,1	6,35	41,5	Linear
Ashizuri	32°48'0"N	132°54'0"E	12,1	5,32	44,6	Linear
Kesenuma	38°48'0"N	141°30'0"E	12,1	5,60	34,4	Linear
Yamagawa	31°12'0"N	130°36'0"E	12,1	5,30	47,3	Linear
Yamagawa	31°12'0"N	130°36'0"E	19,5	4,87	53	Circular
Ogasawara	27°6'0"N	142°12'0"E	12,1	6,34	42,5	Linear
Minamidaito	25°48'0"N	131°12'0"E	12,1	5,49	51,7	Linear
Taipei	25°6'0"N	121°36'0"E	11,6	12,61	20	Linear
Yonaguni	24°30'0"N	122°24'0"E	12,1	4,99	57,9	Linear
Klang	3°6'0"N	101°24'0"E	11,8	6,52	45	Linear
Singapore	1°18'0"N	103°54'0"E	11,6	7,03	41	Linear
Hong Kong	22°12'0"N	114°12'0"E	11,6	14,21	20	Linear
Hong Kong	22°12'0"N	114°12'0"E	11,6	10,39	27,9	Linear
Yamaguchi	34°6'0"N	131°36'0"E	11,9	24,32	9,2	Linear
Yamaguchi	34°6'0"N	131°36'0"E	11,5	34,35	6,5	Circular
Hamada	34°54'0"N	132°6'0"E	11,9	24,28	8,4	Linear
Beijing	39°36'0"N	116°12'0"E	11,5	10,60	20,5	Circular
Beijing	39°36'0"N	116°12'0"E	11,5	10,60	20,5	Circular
Beijing	39°36'0"N	116°12'0"E	11,5	10,60	20,5	Circular
Unitech Lae	6°27'0"N	147°0'0"E	12,7	4,89	72,8	Linear
Unitech Lae	6°27'0"N	147°0'0"E	12,7	4,89	72,8	Linear
Djatiluhur	6°30'0"S	107°24'0"E	6,2	6,35	38	Circular
Darwin#1	12°24'0"S	130°54'0"E	11,1	5,42	60	Linear
Darwin#1	12°24'0"S	130°54'0"E	14,2	5,42	60	Linear
Darwin#1	12°24'0"S	130°54'0"E	11,1	5,42	60	Linear
Darwin#1	12°24'0"S	130°54'0"E	14,2	5,42	60	Linear
Innisfail	17°36'0"S	146°6'0"E	11,1	9,11	30	Linear
Innisfail	17°36'0"S	146°6'0"E	11,1	6,44	45	Linear
Clayton	37°54'0"S	145°6'0"E	11,1	3,69	45	Linear
Clayton	37°54'0"S	145°6'0"E	14,2	3,69	45	Linear
Clayton	37°54'0"S	145°6'0"E	11,1	10,07	15	Linear
					Ângulo	

Enlace	Latitude	Longitude	F (GHz)	Comprimento L_s (km)	de Elevação (θ)	Polarização
Padang	1°0'0"S	100°12'36"E	11,198	6,12	43,3	Circular
Padang	1°0'0"S	100°12'36"E	11,198	6,12	43,3	Circular
Cibinong	6°20'24"S	106°27'0"E	11,198	7,61	35,9	Circular
Sydney	33°52'12"S	151°12'0"E	12,75	4,69	40	Linear
Melbourne	37°49'12"S	144°58'12"E	12,75	4,87	33	Linear
Canberra	35°30'0"S	149°0'0"E	12,75	5,45	37	Linear
Brisbane	27°25'12"S	153°4'48"E	12,75	4,69	47	Linear
Adelaide	34°55'48"S	138°34'48"E	12,75	5,40	30	Linear
Surabaya	7°9'0"S	122°26'24"E	11,1	19,20	14,1	Circular
Surabaya	7°9'0"S	122°26'24"E	11,1	13,55	20,2	Circular
Surabaya	7°9'0"S	122°26'24"E	11,1	13,55	20,2	Circular
Townsville	19°19'59"S	144°45'24"E	11,1	6,24	45,3	Circular
Rio De Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	4,82	63	Circular
Rio De Janeiro	22°55'12"S	43°30'0"W	12	4,82	63	Circular
Mosqueiro	1°27'0"S	48°30'0"W	12	4,51	89	Circular
Curitiba	25°25'12"S	49°16'48"W	12	3,80	60	Circular
Recife	8°0'0"S	48°30'0"W	12	4,75	69	Circular