

3

Desenvolvimento da fórmula de conversão de atenuação

O ponto de partida para a simulação de medidas de atenuação em enlaces cujo ângulo de elevação varia no tempo de modo a acompanhar o satélite LEO, aqui chamados enlaces LEO, está no desenvolvimento de uma fórmula de conversão de valores de atenuação. Por conversão deve-se entender a transformação de medidas de atenuação em enlaces fixos com satélites GEO em um valor de atenuação em um enlace com inclinação diferente do ângulo onde foi feita a medida. A fórmula é aplicada nas medidas em enlaces fixos GEO realizadas no Brasil.

Neste Capítulo a fórmula de conversão é desenvolvida a partir de um modelo de previsão de atenuação em enlace fixo existente, aplicando-o em dois ângulos de elevação distintos e igualando suas expressões através do termo representativo da chuva no enlace, que é o mesmo nos dois ângulos. Para verificar a validade da fórmula de conversão será usado o conjunto de medidas simultâneas de temperatura de ruído feitas com radiômetro em dois ângulos de elevação diferentes, 53° (Radiômetro A) e 90° (Radiômetro B) no Rio de Janeiro. Aplicando-se a conversão às medidas do Radiômetro A deseja-se que o resultado esteja muito próximo das medidas do Radiômetro B, e vice versa.

A validação será feita de duas formas. Na primeira, chamada Tipo I, aplica-se a conversão sobre a distribuição cumulativa medida de atenuação de um radiômetro.

A segunda, Tipo II, é uma extensão da idéia de converter a atenuação, com aplicação direta nos valores medidos. Com esses valores calcula-se uma nova distribuição cumulativa, e faz-se a comparação com a distribuição medida. Para implementar este procedimento foi necessário desenvolver um programa em MatLab para a manipulação das medidas, cujo registro é feito de 2 em 2 segundos ao longo do dia.

3.1.

Banco de dados de atenuação e taxa de precipitação

O procedimento de conversão foi realizado sobre o banco de dados de medidas de atenuação e chuva em enlaces fixos realizadas pelo CETUC. Essas medidas foram realizadas no Brasil com radiômetros e receptores de *beacons* de satélite, em vários estados em diferentes regiões climáticas, no período entre 1987 e 1999. A Tabela 3 apresenta os períodos e os tipos de medidas utilizados neste trabalho. Para a validação da fórmula de conversão serão empregados os dois períodos do Rio de medidas com radiômetro.

Local	Latitude (°)	Período	Tipo de medida
Mosqueiro (PA)	-1.45	Abril 96 a Março 98	Receptor de beacons
Recife (PE)	-8.05	Dezembro 96 a Fevereiro 99	Receptor de beacons
Rio de Janeiro (RJ)	-22.92	Janeiro 91 a Março 94 Dezembro 97 a Fevereiro 99	Radiômetros com 53° e 90° Receptor de beacons
Curitiba (PR)	-25.42	Abril 97 a Fevereiro 99	Receptor de beacons
Porto Alegre (RS)	-30.05	Março 98 a Fevereiro 99	Receptor de beacons

Tabela 3 – Locais e tipos de medidas

O banco de dados está armazenado sob forma de arquivos diários que contêm séries temporais de atenuação medida em enlaces fixos com satélites GEO. No caso dos radiômetros mediu-se a temperatura de ruído do céu, que é convertida para atenuação através da relação

$$A(dB) = 10 \log \left(\frac{T_m - T_c}{T_m - T_a} \right) \quad (3.1)$$

onde

T_m é a temperatura do meio, usualmente 285° K

T_c é a temperatura de céu claro, 30° K

T_a é a temperatura de ruído do céu medida na antena

O radiômetro possui faixa dinâmica até 12 dB, devido à limitação da equação (3.1), quando T_a se aproxima de T_m . O registro é feito de 2 em 2 segundos na Unidade de Aquisição de Dados (UAD).

Os receptores de *beacons* medem o nível de potência recebido do *beacon* do satélite, que é utilizado para sinalização e correções de posição do satélite. O nível de potência é registrado na UAD. A conversão para atenuação é feita considerando-se o nível nominal diário de potência recebida. Este nível é determinado como sendo o valor de mais ocorrências naquele dia. A atenuação é dada por

$$A(\text{dB}) = P_{\text{nom}}(\text{dBm}) - P_{\text{rec}}(\text{dBm}) \quad (3.2)$$

Com as equações (3.1) e (3.2) obtêm-se as séries temporais para os dois tipos de medidas.

Após o levantamento dos dados existentes, o passo seguinte foi a verificação dos arquivos diários através da inspeção visual para a supressão de erros de medidas que pudessem comprometer o resultado.

3.2.

Determinação da fórmula de conversão de atenuação

Nesta etapa a idéia básica é transformar as distribuições cumulativas obtidas com medidas em ângulo de elevação fixo em distribuições cumulativas obtidas a partir de outro ângulo de elevação. A condição é que nestas duas situações o enlace esteja sujeito ao mesmo regime de chuvas.

A conversão é feita manipulando-se a formulação de um modelo de previsão de enlace fixo GEO já existente. O modelo CETUC/Global desenvolvido no Capítulo 2 foi utilizado na conversão. Este método considera o cálculo da atenuação para várias percentagens de tempo. Tem-se da equação (1.21) do Capítulo 1 que $A_{p_1} = \gamma \cdot L_{\text{eff}_1}$ para um determinado ângulo de elevação θ_1 . Deseja-

se conhecer a distribuição cumulativa de atenuação A_{p2} que ocorre em outro ângulo de elevação θ_2 . Então, da fórmula geral do modelo Cetuc,

$$A_{p2} = \gamma(Rp) \cdot Leff_2 \quad (3.3)$$

Dividindo-se a atenuação prevista no ângulo desejado θ_2 pela atenuação medida no ângulo θ_1 , obtém-se

$$\frac{A_{p2}}{A_{p1}} = \frac{\gamma(Rp) \cdot Leff_2}{\gamma(Rp) \cdot Leff_1} \quad (3.4)$$

Os termos $\gamma(Rp)$ se cancelam e o comprimento efetivo $Leff$ em cada caso é dado por:

$$Leff_{1,2} = \frac{Ls_{1,2}}{1 + \frac{Ls_{1,2} \cos \theta_{1,2}}{Lo}} \quad (3.5)$$

O percurso inclinado Ls dentro da célula de chuva nos dois casos é dado por:

$$Ls_{1,2} = \frac{hr - hs}{\sin \theta_{1,2}} \quad (3.6)$$

Substituindo-se em 3.4 tem-se a fórmula de conversão para a atenuação A_{p1} :

$$A_{p2} = A_{p1} \frac{L_o(R_p) \sin \theta_1 + (h_r - h_s) \cos \theta_1}{L_o(R_p) \sin \theta_2 + (h_r - h_s) \cos \theta_2} \quad [\text{dB}] \quad (3.7)$$

onde L_o depende da distribuição cumulativa da chuva R_p conforme (2.10).

Na equação (3.7) verifica-se que o termo multiplicativo de A_{p1} deve ser menor que a unidade no caso da conversão estar sendo feita para ângulo $\theta_2 \geq \theta_1$, pois em um enlace mais elevado, menor é o percurso Ls dentro da célula de chuva e consequentemente menor a atenuação. No caso $\theta_2 < \theta_1$ o termo multiplicativo deve ser maior que a unidade, para se obter valor maior de atenuação.

Então, se $\theta_2 \geq \theta_1$,

$$\frac{L_o \sin \theta_1 + (h_r - h_s) \cos \theta_1}{L_o \sin \theta_2 + (h_r - h_s) \cos \theta_2} \leq 1 \quad (3.8)$$

Se $h = (h_r - h_s)$,

$$\frac{L_o}{h} \geq \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\sin \theta_2 - \sin \theta_1} \quad (3.9)$$

No caso $\theta_2 < \theta_1$, tem-se que:

$$\frac{L_o}{h} > \frac{\cos \theta_2 - \cos \theta_1}{\sin \theta_1 - \sin \theta_2} \quad (3.10)$$

As duas condições em (3.8) e (3.10) podem ser reunidas numa só expressão:

$$\frac{L_o}{h} \geq \left| \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\sin \theta_2 - \sin \theta_1} \right| \quad (3.11)$$

O modelo GEO de previsão a ser escolhido para a conversão de atenuação deve respeitar a condição de (3.11). Esta expressão significa que há uma limitação no procedimento de conversão para que seja mantida a coerência dos valores possíveis do termo multiplicativo de A_{p1} . No modelo CETUC/Global o comprimento da célula L_o varia com a taxa de precipitação R , conforme equação (2.10), e $h = (h_r - h_s)$ é constante para cada local. Logo existe um valor mínimo de L_o , correspondente a um valor máximo de R que permite que a fórmula de conversão seja aplicada corretamente.

O modelo CETUC/BR desenvolvido sobre a base de dados brasileira não pôde ser utilizado na conversão por não ser capaz de atender a condição de (3.11) devido aos valores de L_o oferecidos pelo modelo, conforme equação (2.5). Este fato tem fundamento físico, uma vez que o regime de chuvas no Brasil é mais intenso e os valores de L_o devem ser tipicamente menores que aqueles calculados por um modelo de previsão que procura atender várias regiões climáticas mundiais.

3.3.

Validação da fórmula de conversão – Tipo I

Uma vez que as fórmulas de conversão foram determinadas, deve-se fazer a verificação das mesmas. O modo utilizado para a validação é fazer-se a conversão para um ângulo θ no qual já existam medidas de atenuação e posterior comparação. Foram utilizadas medidas simultâneas de atenuação em dois ângulos de inclinação, 53° (Radiômetro A) e 90° (Radiômetro B) realizadas no Rio de Janeiro, nos períodos de Fevereiro 1991 a Janeiro de 1992 e Fevereiro 1992 a Janeiro de 1993. Os valores de *uptime* são 344 e 362 dias respectivamente.

Estas medidas apresentam a variabilidade anual característica da chuva. Na tabela estão os valores medidos de taxa de precipitação e os calculados de atenuação, conforme a equação (3.1).

%Tempo	Período 1			Período 2		
	Taxa de Precipitação (mm/h)	Atenuação 53 graus (dB)	Atenuação 90 graus (dB)	Taxa de Precipitação (mm/h)	Atenuação 53 graus (dB)	Atenuação 90 graus (dB)
50.000	0.10	0.005	0.003	0.090	0.006	0.002
40.000	0.13	0.011	0.007	0.120	0.014	0.006
30.000	0.17	0.020	0.012	0.160	0.025	0.011
20.000	0.22	0.032	0.021	0.220	0.047	0.017
10.000	0.32	0.059	0.043	0.310	0.102	0.034
7.000	0.37	0.081	0.063	0.350	0.132	0.050
5.000	0.41	0.112	0.090	0.400	0.162	0.072
4.000	0.45	0.138	0.113	0.430	0.181	0.092
3.000	0.49	0.180	0.154	0.470	0.207	0.127
2.000	1.20	0.267	0.223	0.900	0.247	0.186
1.000	2.95	0.499	0.400	2.420	0.359	0.323
0.700	4.03	0.677	0.555	3.330	0.478	0.418
0.500	5.26	0.885	0.736	4.360	0.631	0.534
0.400	6.15	1.030	0.865	5.160	0.748	0.644
0.300	7.62	1.261	1.089	6.290	0.937	0.806
0.200	10.08	1.768	1.433	8.200	1.308	1.162
0.100	16.21	4.141	3.238	12.310	2.342	2.138
0.070	21.17	6.100	4.642	15.210	3.067	2.830
0.050	25.58	8.124	6.254	17.900	4.027	3.555
0.040	27.92	9.304	7.434	19.150	4.544	4.214
0.030	32.64	10.480	9.382	21.350	5.451	4.949
0.020	38.10	13.310	11.196	24.550	6.859	6.084
0.010	46.81		16.012	31.550	8.936	8.318
0.007	51.65			36.190	9.909	9.128
0.005	55.57			39.480	10.953	9.584

0.004	60.11			40.810	11.475	9.908
0.003	60.77			45.330	12.433	10.435
0.002	68.95			50.160		11.109
0.001	74.02			60.420		11.809
0.0007				62.120		12.185
0.0005				66.430		12.637
0.0004				72.010		13.025

Tabela 4 – Distribuições cumulativas de atenuação e chuvas medidas no Rio de Janeiro nos períodos 1 e 2

Como as medidas em 53° e 90° se estendem a percentagens de tempo diferentes, foi necessário limitar cada uma para que a conversão de atenuação fosse feita dentro da faixa dinâmica confiável do radiômetro e resultasse em valores coerentes. Ou seja, foram desconsiderados valores de atenuação convertida que estavam acima de 12 dB.

3.3.1.

Resultados da aplicação das conversões nas distribuições cumulativas de atenuação

Na equação (3.7) Ap_1 é a distribuição cumulativa de atenuação original que será convertida para Ap_2 , utilizando-se a distribuição cumulativa de chuva R_p e o modelo GEO CETUC/Global.

Aplicou-se a conversão na distribuição cumulativa do Radiômetro A para $\theta_2 = 90^\circ$ e comparou-se o resultado com a distribuição do Radiômetro B. Da mesma forma foi feita a conversão da distribuição do Radiômetro B para $\theta_2 = 53^\circ$. Este procedimento foi feito para os dois períodos de medidas do Rio de Janeiro, mas serão ilustrados somente os resultados do segundo período, uma vez que a conclusão obtida nos dois períodos foi a mesma, como será descrito a seguir.

No período Fevereiro 1992 a Janeiro 1993, Figuras 23 e 24 observa-se a que a distribuição cumulativa convertida de 53° para 90° (A_2) está abaixo da distribuição original, tal como a distribuição obtida com as medidas em 90°. Espera-se que quanto maior o ângulo de inclinação, menor seja a atenuação no enlace porque o tamanho do percurso sujeito à chuva é menor. A tendência de junção da distribuição cumulativa medida em 53° (curva azul) e da distribuição convertida Ap_{53-90} (curva verde) que se observa nas Figuras 23 e 24 deve-se ao

fato da conversão ser aplicada sobre a distribuição cumulativa medida, em uma faixa de valores de atenuação próximos a 12 dB, que é o limite de precisão das medidas com radiômetros.

As Figuras 25 e 26 apresentam a distribuição convertida de 90° para 53°. Ela está acima da distribuição original, portanto coerente com o raciocínio do caso anterior. A junção das curvas verde e rosa no extremo das distribuições é explicada também pelo fato do cálculo ser realizado sobre valores de distribuição cumulativa em faixa de valores que contêm imprecisão de medida.

No período Fevereiro 1991 a Janeiro 1992 também observou-se a tendência da curva convertida de 53° para 90° para a distribuição medida no ângulo de 90°. O mesmo comportamento pode ser visto no caso de 90° para 53°.

A Tabela 5 apresenta os valores da distribuição medida (A_m), da distribuição convertida (A_p), do erro médio, desvio padrão e valor RMS das variáveis de teste V_i , conforme descrito no Apêndice IV, para o segundo período de tempo.

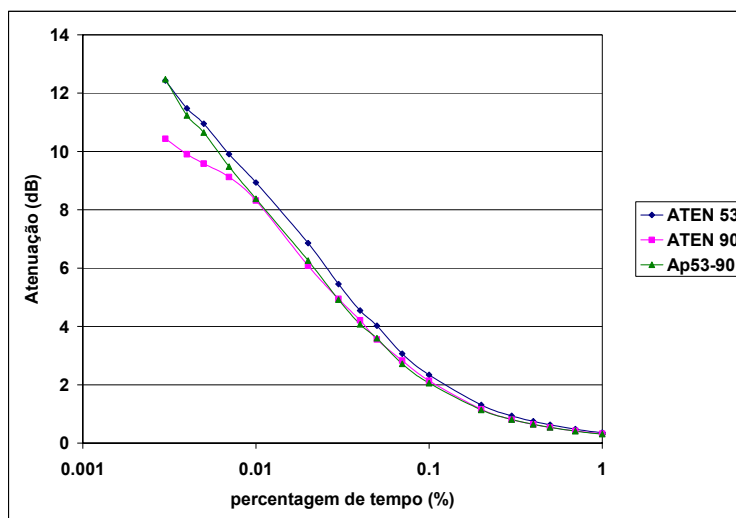


Figura 23 - Distribuições cumulativas medidas e convertida 53°-90°, período 2

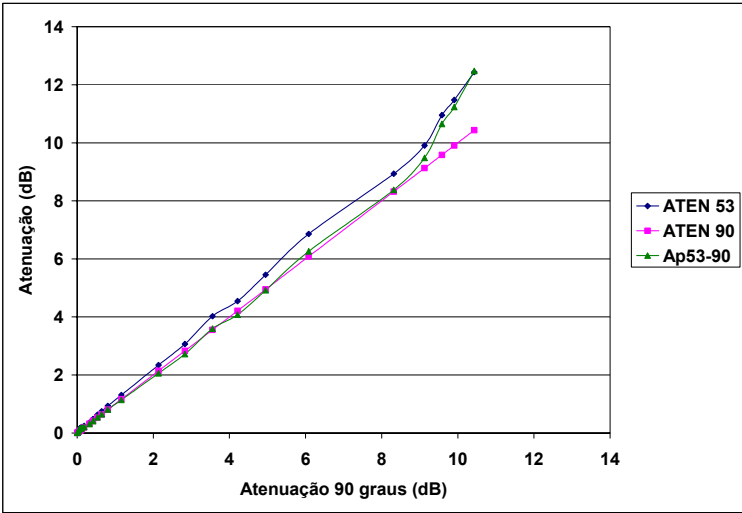


Figura 24 - Conversão 53°-90° pelo modelo Cetuc, período 2

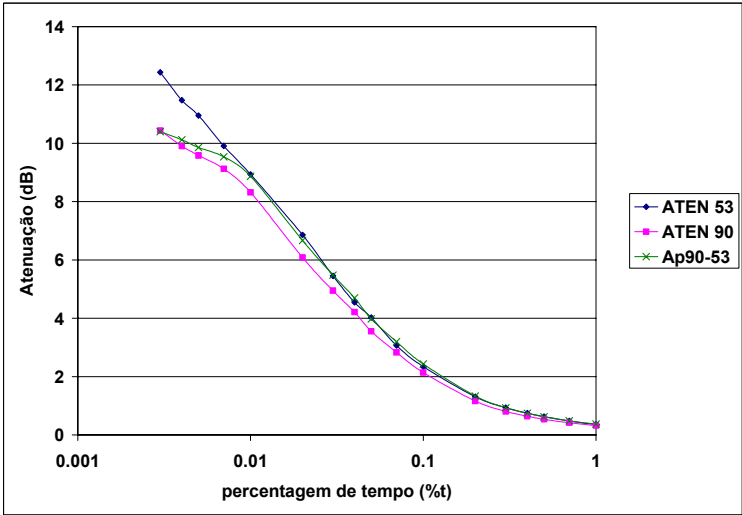


Figura 25 - Distribuições cumulativas medidas e convertida 90°-53°, período 2

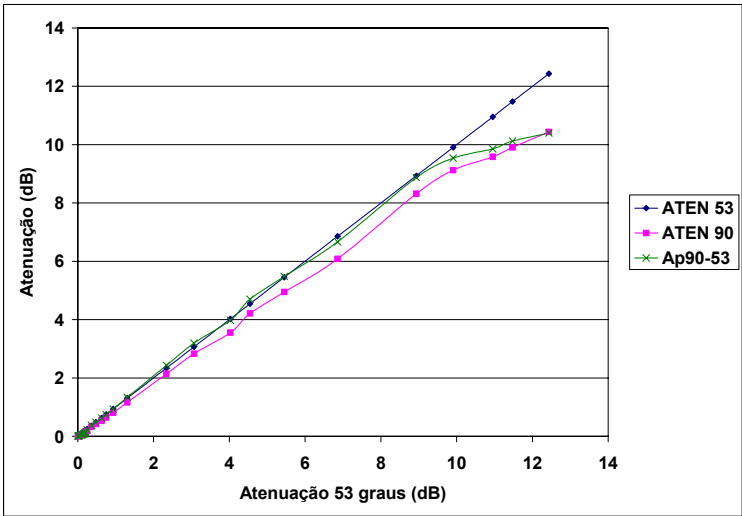


Figura 26 - Conversão 90°-53°, período 2

%tempo	A _m 90gr	A _p 53-90	Vi	A _m 53gr	A _p 90-53	Vi
50.000	0.002	0.005	0.164	0.006	0.00	-0.202
40.000	0.006	0.012	0.161	0.014	0.01	-0.192
30.000	0.011	0.021	0.178	0.025	0.01	-0.212
20.000	0.017	0.040	0.239	0.047	0.02	-0.292
10.000	0.034	0.087	0.304	0.102	0.04	-0.379
7.000	0.050	0.113	0.284	0.132	0.06	-0.346
5.000	0.072	0.139	0.246	0.162	0.08	-0.289
4.000	0.092	0.155	0.203	0.181	0.11	-0.232
3.000	0.127	0.177	0.140	0.207	0.15	-0.155
2.000	0.186	0.212	0.059	0.247	0.22	-0.062
1.000	0.323	0.309	-0.024	0.359	0.38	0.024
0.700	0.418	0.412	-0.008	0.478	0.49	0.008
0.500	0.534	0.545	0.011	0.631	0.62	-0.011
0.400	0.644	0.647	0.002	0.748	0.75	-0.002
0.300	0.806	0.812	0.005	0.937	0.93	-0.005
0.200	1.162	1.139	-0.013	1.308	1.33	0.014
0.100	2.138	2.059	-0.028	2.342	2.43	0.028
0.070	2.830	2.718	-0.031	3.067	3.19	0.032
0.050	3.555	3.597	0.009	4.027	3.98	-0.010
0.040	4.214	4.074	-0.028	4.544	4.70	0.029
0.030	4.949	4.921	-0.005	5.451	5.48	0.005
0.020	6.084	6.260	0.026	6.859	6.67	-0.026
0.010	8.318	8.378	0.007	8.936	8.87	-0.007
0.007	9.128	9.482	0.037	9.909	9.54	-0.038
0.005	9.584	10.650	0.105	10.953	9.86	-0.105
0.004	9.908	11.233	0.125	11.475	10.12	-0.126
0.003	10.435	12.476	0.179	12.433	10.40	-0.179
		Vi média	0.022		Vi média	-0.022
		Desvio padrão	0.058		Desvio padrão	0.058
		Valor RMS	0.061		Valor RMS	0.062

Tabela 5 - Distribuições cumulativas para período 2

3.3.2.**Comparação entre os modelos de conversão do Tipo I**

As tabelas abaixo reúnem os valores dos erros médios, desvio padrão e valor RMS calculados para os dois períodos de tempo. Como os erros são relativamente baixos, no máximo 7.8%, verifica-se que a conversão do Tipo I pode ser validada.

	Erro médio	Desvio padrão	Valor RMS
53-90 graus	0.042	0.048	0.063
90-53 graus	-0.078	0.057	0.096

Tabela 6 – Erro médio, desvio padrão e valor RMS para o período 1

	Erro médio	Desvio padrão	Valor RMS
53-90 graus	0.022	0.058	0.061
90-53 graus	-0.022	0.058	0.062

Tabela 7 - Erro médio, desvio padrão e valor RMS para o período 2

3.4.

Validação das fórmulas de conversão – Tipo II

3.4.1.

Aplicação da conversão na série temporal de atenuação

As conversões realizadas no item anterior foram feitas já sobre a estatística obtida através da medida. A nova abordagem é a de aplicar-se a conversão diretamente nos dados medidos de atenuação. Desta forma é possível fazer uma simulação da medida no ângulo θ_2 , para depois calcular a estatística da atenuação convertida. Neste caso são utilizadas as séries temporais de atenuação em períodos diários, e a conversão é aplicada a cada valor da série $A_1(t)$, obtendo-se uma série temporal de atenuação convertida $A_2(t)$. A equação (3.7) é reescrita como sendo em função do tempo t e não mais da percentagem de tempo p :

$$A_2(t) = A_1(t) \frac{L_o(t) \sin \theta_1 + (h_r - h_s) \cos \theta_1}{L_o(t) \sin \theta_2 + (h_r - h_s) \cos \theta_2} \quad [\text{dB}] \quad (3.12)$$

Para a implementação desta conversão em todos os valores de atenuação da série temporal diária foi necessário criar uma rotina de cálculo que manipulasse as séries originais $A_1(t)$ e a série temporal de chuva $R(t)$. A limitação nos valores da taxa de precipitação R conforme discutido na Seção 3.2.1 é considerada na rotina.

Os registros das medidas foram feitos com amostras de 2 em 2 segundos pela UAD, comum aos dois tipos de experimento. A série temporal diária possui 86400 / 2 ou 43200 valores em $A_1(t)$ e $R(t)$.

3.4.2. Elaboração do programa de cálculo

Foi desenvolvido um programa no *software Matlab* [24] para cálculo da conversão das séries $A_1(t)$ e cálculo da distribuição cumulativa da atenuação medida, da atenuação convertida $A_2(t)$ e da chuva $R(t)$ em um período desejado. Na primeira etapa é feita a conversão da série temporal $A_1(t)$ para cada dia, e todos os valores são acumulados, para no fim do período obter-se um histograma dos valores e fazer-se o cálculo da distribuição cumulativa de $A_2(t)$.

A implementação da equação de conversão (3.12) é diferenciada pelo tipo de medida realizado. Para as medidas realizadas com radiômetros o cálculo é feito sobre a série temporal de temperatura de ruído do céu (T_a), que depois é convertida para atenuação pela seguinte equação

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{T_m - T_c}{T_m - T_a} \quad [\text{dB}] \quad (3.13)$$

onde

T_m é a temperatura do meio, usualmente 285 K

T_c é a temperatura de céu claro, 30 K

T_a é a temperatura de ruído do céu medida na antena

Deseja-se obter a série temporal de temperatura convertida T_2 a partir da série temporal da temperatura medida T_1 . Invertendo-se a equação (3.13), tem-se

$$T_2 = 285 - 255 \cdot 10^{(-A_2/10)} \quad [\text{K}] \quad (3.14)$$

De (3.12) tem-se uma forma geral para $A_2(t)$,

$$A_2(t) = A_1(t) \frac{L_o(t) \sin \theta_1 + (h_r(t) - hs) \cos \theta_1}{L_o(t) \sin \theta_2 + (h_r(t) - hs) \cos \theta_2} \quad (3.15)$$

$$A_2(t) = 10 \log \left(\frac{T_m - T_c}{T_m - T_1(t)} \right) \cdot \left(\frac{L_o(t) \sin \theta_1 + (h_r(t) - hs) \cos \theta_1}{L_o(t) \sin \theta_2 + (h_r(t) - hs) \cos \theta_2} \right) \quad (3.16)$$

Então, a fórmula de conversão para os dados de radiômetro será

$$T_2(t) = 285 - 255 \cdot 10^{\left[-\log\left(\frac{T_m - T_c}{T_m - T_1(t)}\right) \cdot \left(\frac{L_o(t) \sin \theta_1 + (h_r(t) - h_s) \cos \theta_1}{L_o(t) \sin \theta_2 + (h_r(t) - h_s) \cos \theta_2}\right) \right]} \quad [\text{K}] \quad (3.17)$$

Aplicando-se novamente a equação (3.13) obtém-se $A_2(t)$:

$$A_2(t) = 10 \log \frac{255}{285 - T_2(t)}$$

Os valores de L_o e h_r são obtidos a partir do modelo GEO escolhido para a conversão.

A conversão das medidas obtidas com o receptor de *beacons* é feita sobre a série temporal da atenuação, obtida da equação (3.2). A implementação deste tipo de conversão será discutida mais adiante, no Capítulo 5, devido à característica da medida do sinal recebido do *beacon* do satélite ser diferente da medida de temperatura de ruído do céu feita pelo radiômetro.

3.4.3.

Descrição do Programa#1 - cálculo de distribuições cumulativas

O Programa #1 lê os dados do período e local desejado e armazena os valores de atenuação medida e chuva. A seguir efetua a conversão para um valor θ_2 conforme o modelo GEO escolhido e calcula as distribuições cumulativas da atenuação medida, convertida (DC) e da chuva. A estrutura geral do Programa #1 está apresentada na Figura 27.

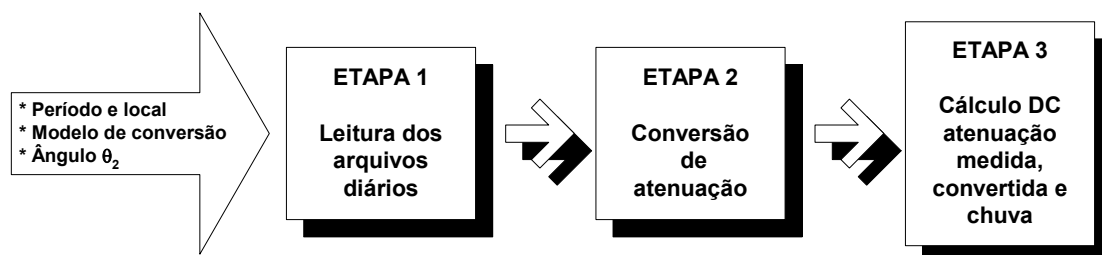


Figura 27 – Estrutura geral do Programa #1

O programa oferece a opção da plotagem da série temporal original, convertida e da chuva. A Figura 28 apresenta um dia de medida do Radiômetro A e a conversão pelo modelo CETUC para 90° .

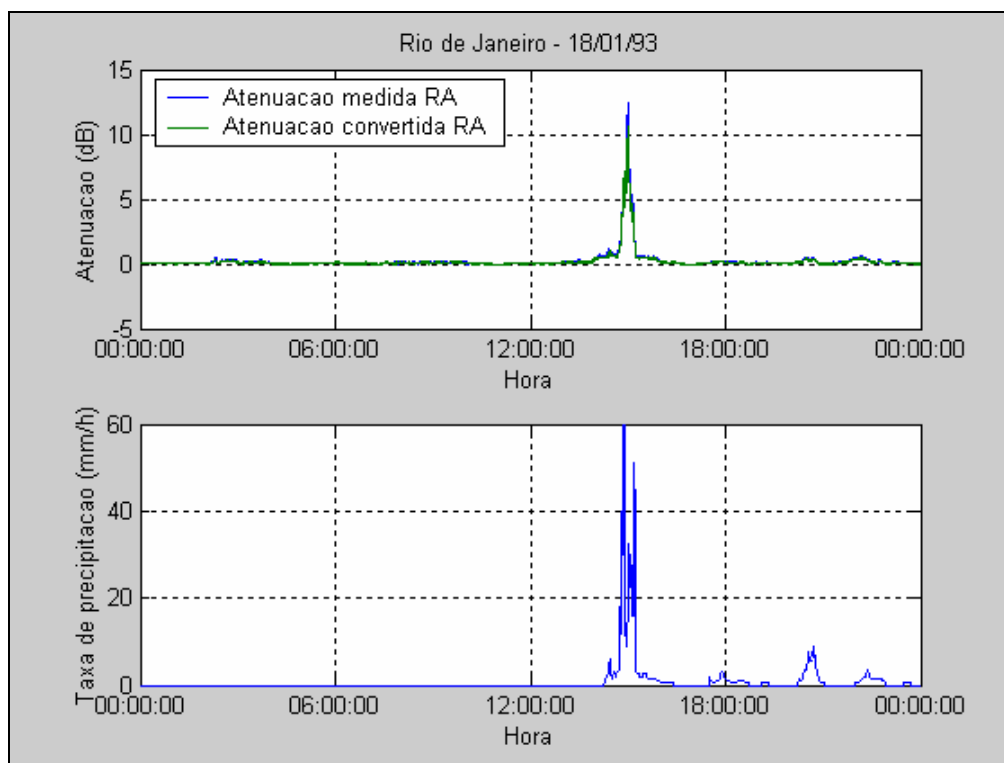


Figura 28 - Gráfico das séries de atenuação RA medida, convertida para 90° e chuva

3.4.4.

Resultados da validação com conversão direta na série temporal de atenuação

Seguindo o raciocínio do item 3.3.1 a conversão foi testada para os mesmos períodos anuais citados anteriormente (Fevereiro 91 a Janeiro 92, Fevereiro 92 a Janeiro 93), onde $\theta_1 = 53^\circ$ e $\theta_2 = 90^\circ$. Foi calculada a distribuição cumulativa das atenuações convertidas de 53° para 90° e vice versa, e estas foram comparadas com as distribuições medidas. As Figuras 29 a 32 a seguir ilustram os resultados do segundo período de medidas e a Tabela 8 apresenta os valores de erro médio, desvio padrão e valor RMS. São apresentados apenas os resultados para o segundo período de medidas, porque no primeiro período também observa-se o

deslocamento da curva da distribuição cumulativa em direção à distribuição do ângulo fixo para o qual se deseja fazer a conversão.

O padrão das curvas das distribuições cumulativas de atenuação convertidas (curva verde) das Figuras 29 a 32 está semelhante às curvas de distribuições medidas (curvas azul e rosa), sem a junção observada na conversão Tipo I, mencionada na Seção 3.3.1. Este fato deve-se à conversão ser realizada em valores medidos, gerando nova série temporal de atenuação, sobre a qual é feita a estatística. Como a conversão é feita ponto a ponto da série de atenuação com o valor correspondente da série da taxa de precipitação R simulando nova medida, caracteriza-se deste forma um procedimento de conversão com mais significado físico que a conversão Tipo I.

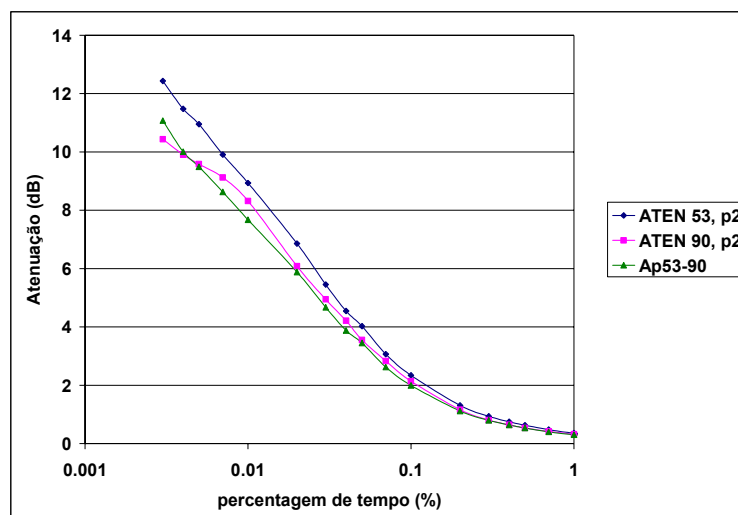


Figura 29 – Distribuições cumulativas medidas e convertidas 53°-90°, período 2

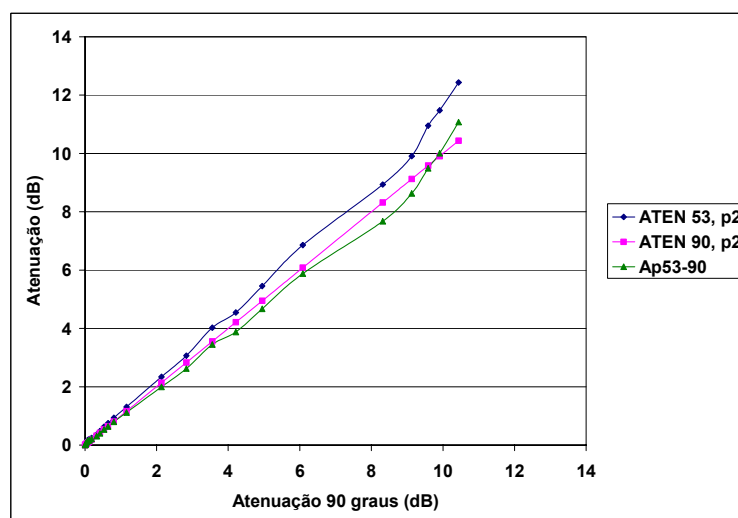


Figura 30 - Conversão 53°-90°, período 2

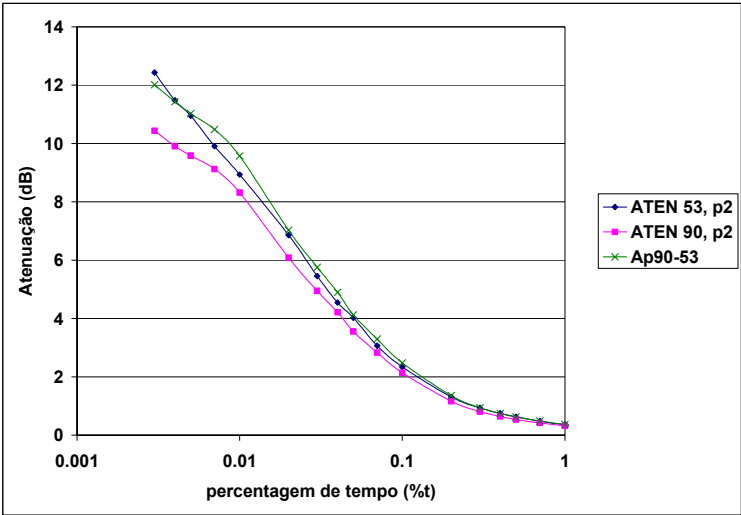


Figura 31 - Distribuições cumulativas medidas e convertidas 90°-53°, período 2

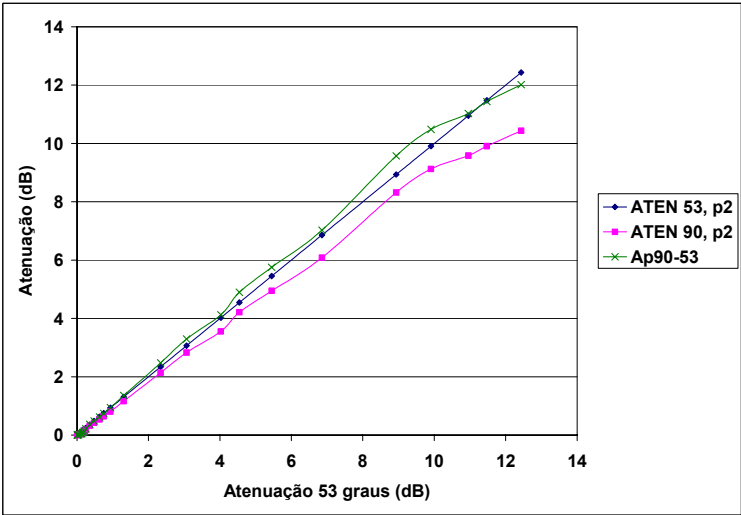


Figura 32 - Conversão 90°-53°, período 2

%tempo	A _m 90gr	A _p 53-90	Vi	A _m 53gr	A _p 90-53	Vi
50.000	0.002	0.003	0.065	0.006	0.00	-0.249
40.000	0.006	0.007	0.040	0.014	0.01	-0.228
30.000	0.011	0.016	0.104	0.025	0.01	-0.248
20.000	0.017	0.038	0.223	0.047	0.02	-0.348
10.000	0.034	0.085	0.295	0.102	0.03	-0.439
7.000	0.050	0.109	0.272	0.132	0.05	-0.409
5.000	0.072	0.135	0.236	0.162	0.08	-0.309
4.000	0.092	0.155	0.203	0.181	0.10	-0.262
3.000	0.127	0.171	0.125	0.207	0.14	-0.167
2.000	0.186	0.210	0.055	0.247	0.21	-0.071
1.000	0.323	0.304	-0.031	0.359	0.37	0.016
0.700	0.418	0.403	-0.019	0.478	0.48	0.007
0.500	0.534	0.533	-0.001	0.631	0.62	-0.009
0.400	0.644	0.638	-0.006	0.748	0.74	-0.004

0.300	0.806	0.797	-0.007	0.937	0.94	0.002
0.200	1.162	1.117	-0.026	1.308	1.35	0.023
0.100	2.138	1.995	-0.051	2.342	2.48	0.042
0.070	2.830	2.623	-0.059	3.067	3.30	0.057
0.050	3.555	3.451	-0.024	4.027	4.13	0.020
0.040	4.214	3.880	-0.069	4.544	4.90	0.064
0.030	4.949	4.672	-0.050	5.451	5.76	0.048
0.020	6.084	5.882	-0.031	6.859	7.03	0.023
0.010	8.318	7.676	-0.077	8.936	9.58	0.068
0.007	9.128	8.627	-0.055	9.909	10.48	0.056
0.005	9.584	9.491	-0.010	10.953	11.03	0.007
0.004	9.908	10.005	0.010	11.475	11.44	-0.003
0.003	10.435	11.076	0.060	12.433	12.02	-0.034
0.002	11.109	12.490	0.117			
		Vi média	-0.018		Vi média	0.022
		Desvio padrão	0.047		Desvio padrão	0.028
		Valor RMS	0.050		Valor RMS	0.036

Tabela 8 – Distribuições cumulativas para o período 2, conversão Tipo II

3.4.5.**Comparação dos modelos de conversão do Tipo II**

As tabelas abaixo reúnem os valores dos erros médios, desvio padrão e valor RMS calculados para os dois períodos de tempo quando foi aplicada a conversão diretamente na série temporal. Os erros são relativamente baixos, no máximo 7%, e verifica-se que a conversão do Tipo II pode ser validada.

	Erro médio	Desvio padrão	Valor RMS
53-90 graus	0.031	0.041	0.052
90-53 graus	-0.068	0.050	0.084

Tabela 9 – Erro médio, desvio padrão e valor RMS para o período 1, conversão Tipo II

	Erro médio	Desvio padrão	Valor RMS
53-90 graus	-0.018	0.047	0.050
90-53 graus	0.022	0.028	0.036

Tabela 10 – Erro médio, desvio padrão e valor RMS para o período 2, conversão Tipo II

3.5. Conclusões

Os valores de erro obtidos com as conversões de atenuação medida para atenuação simulada em ângulo de elevação distinto, através das conversões Tipo I e II são relativamente baixos, com o valor máximo de 7.8%. No caso 53°-90° a conversão pelo Tipo II apresentou valor de erro inferior ao calculado para o Tipo I nos dois períodos. Os maiores valores de desvio padrão foram vistos no Tipo I, 5.8%.

O procedimento de conversão Tipo II mostrou maior coerência do ponto de vista físico do que a conversão Tipo I (que manipula distribuições cumulativas) pois calcula a estatística de uma nova série temporal de atenuação. O procedimento Tipo II será usado nos cálculos necessários para o desenvolvimento da simulação das medidas de atenuação em enlaces LEO que será feito no Capítulo 5.