

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1. BASE DE DADOS DE ITU-R

Medidas de atenuação por chuvas, em enlaces terrestres, têm sido realizadas em muitos lugares do mundo, em diferentes frequências e em enlaces de diversos comprimentos. Porém, considera-se oficial a base de dados do ITU-R, denominada DB-SG5 [37] na qual, para que os resultados de um experimento sejam incluídos, existem requisitos mínimos de consistência, tempo de medida e qualidade dos dados.

A base de dados DB-SG5 é formada, atualmente, por medidas concorrentes de taxa de precipitação e atenuação por chuvas realizadas em diversos países, num total de 62 enlaces, operando numa ampla faixa de frequências variando desde 7,0 GHz até 137 GHz, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 Frequências de operação dos enlaces da base de dados DB-SG5.

Frequência (GHz)	Número de enlaces
7,0	1
10,8 a 19,4	32
21,2 a 29,3	8
34,5 a 39,0	11
57,0	4
81,8	1
97,0	4
137,0	1

Os comprimentos desses 62 enlaces variam desde 0,5 Km até 58 Km, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 Comprimentos dos enlaces da base de dados DB-SG5.

Comprimento (km)	Número de enlaces
0,5 – 5	21
5 – 10	11
10 – 20	18
20 - 30	5
30 – 40	4
40 - 50	1
50 - 58	2

Todos os enlaces, com as latitudes dos sítios de medida, as frequências de operação dos enlaces e suas polarizações, são mostradas na Tabela 43 (Apêndice A).

3.2. EXPERIMENTOS REALIZADOS NO BRASIL

No Brasil também têm sido realizadas importantes campanha de medidas da atenuação por chuvas em enlaces terrestres [38-42]. Parte dos resultados já se encontra no DB-SG5 e parte deles, mais recentes, ainda estão por ser incorporados. Essas medidas são de especial interesse, dado que o clima tropical e equatorial do país é bastante particular, caracterizado por um forte regime de chuvas. Para este tipo de clima, conforme foi discutido no capítulo 2, o modelo de previsão da atenuação por chuvas de ITU-R não apresenta bons resultados.

As medidas que envolvem atenuação diferencial, além da atenuação individual por enlace, são apresentadas nesta seção. As medidas mais completas foram realizadas num conjunto de 7 enlaces convergentes [39-42], entre 1994 e 1996, na Rua dos Ingleses, São Paulo (SP). Dos 7 enlaces, 5 enlaces operam em 15 GHz e os outros 2 em 18 GHz. Os comprimentos dos enlaces varia entre 7,5 e 43 Km. O receptor (ponto de convergência) dos 7 enlaces está localizado nas coordenadas $23^{\circ} 33' 46''$ de latitude Sul, e $46^{\circ} 38' 47,4''$ de longitude Oeste.

Os parâmetros dos 7 enlaces de São Paulo, incluindo a duração do experimento, aparecem na Tabela 6. Na Fig. 10, observa-se a distribuição geográfica esquemática dos 7 enlaces convergentes da Rua dos Ingleses.

Tabela 6 Dados dos enlaces terrestres convergentes de São Paulo.

Enlace	Comprimento (km)	Frequência (GHz)	Polarização	Duração
Bradesco2-RIS	12,79	15,0	V	2 anos
CENESP15-RIS	12,78	15,0	H	2 anos
CENESP18-RIS	12,78	18,0	V	1 anos
Scania-RIS	18,38	15,0	V	2 anos
Barueri-RIS	21,69	15,0	V	1 ano
Shell-RIS	7,48	18,0	V	1 ano
Paranapiacaba-RIS	42,99	15,0	H	2 anos

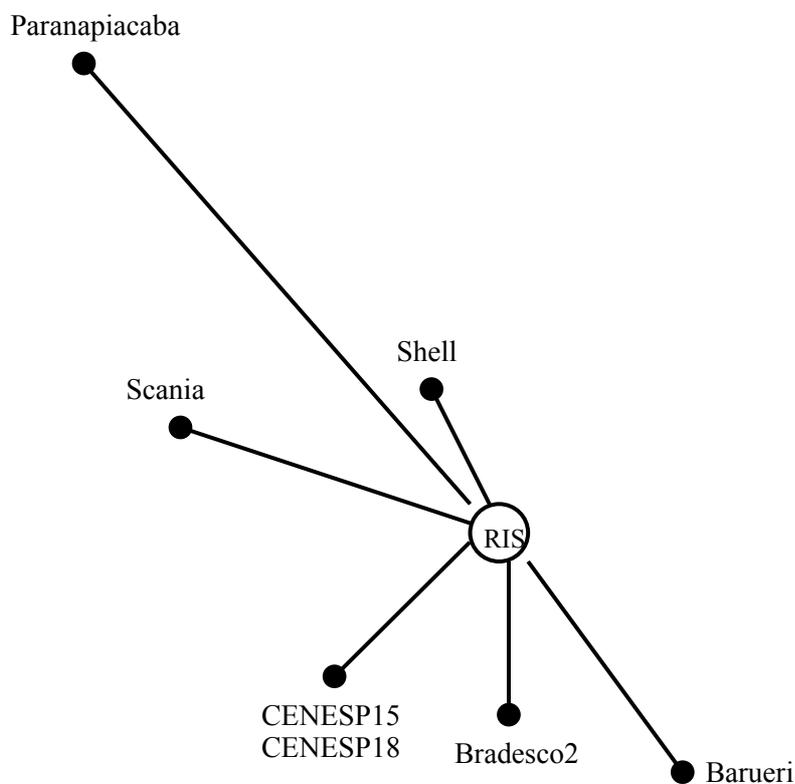


Figura 10 . Distribuição geográfica dos 7 enlaces convergentes de São Paulo.

Adicionalmente, também são consideradas neste trabalho medidas da atenuação por chuvas realizadas em Brasília, desde o mês de dezembro de 2001. Trata-se de um grupo de 6 enlaces convergentes, com o receptor comum localizado a $15^{\circ} 47' 46,2''$ de latitude Sul e $47^{\circ} 53' 20,2''$ de longitude Oeste. Quatro desses enlaces operam a 23 GHz e os outros dois a 38 GHz. Seus comprimentos variam entre 0,41 e 3,37 km. Os parâmetros dos 6 enlaces de

Brasília, são resumidos na Tabela 7. A distribuição geográfica esquemática dos 6 enlaces é mostrada na Fig. 11.

Tabela 7 Dados dos enlaces terrestres convergentes de Brasília.

Enlace	Latitude	Comprimento (km)	Frequência (GHz)	Polarização
AUTORAC-BSA	15° 47' 46,2"	3,37	23,0	V
MF38-BSA	15° 47' 46,2"	1,01	38,0	H
PGR-BSA	15° 47' 46,2"	1,90	23,0	V
INCRA-BSA	15° 47' 46,2"	1,21	23,0	H
SARAH-BSA	15° 47' 46,2"	0,41	38,0	H
BNDES-BSA	15° 47' 46,2"	0,95	23,0	V

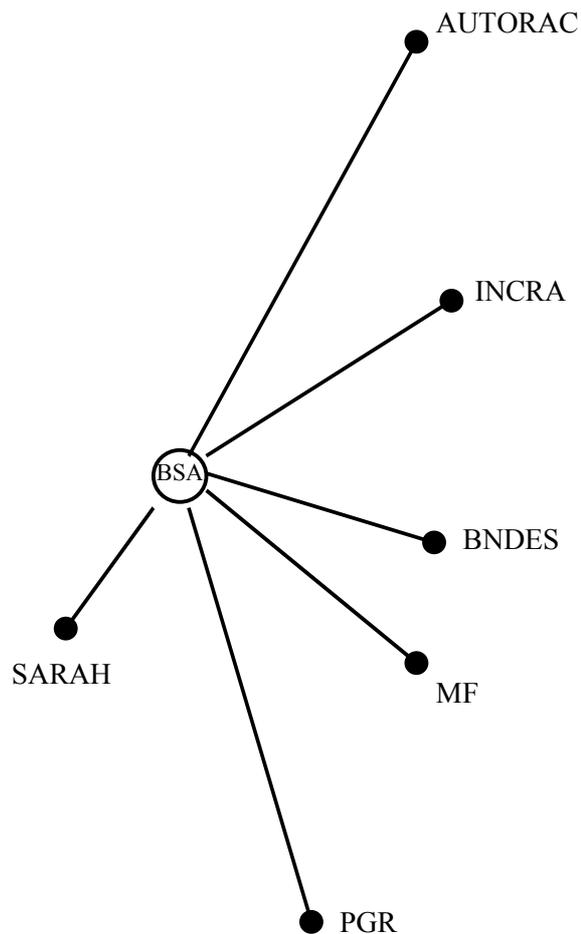


Figura 11 Distribuição geográfica dos 6 enlaces convergentes de Brasília.

É necessário destacar que as medidas da atenuação por chuvas em Brasília serão utilizadas no presente trabalho apenas para a modelagem da atenuação diferencial por chuvas pois que até o fechamento deste trabalho, não foi possível obter um ano de medidas contínuas, condição necessária para a modelagem da atenuação total por chuvas (referida a um enlace), assim como da duração e número de eventos de chuva. Não obstante, os dados que puderam ser processados correspondem aos meses mais significativos do ano em relação à ocorrência de chuvas na cidade de Brasília, como indicado pelo IBGE [43]. Desta forma, as estatísticas de atenuação diferencial obtidas são representativas do efeito e puderam ser usadas em seu modelamento.

3.2.1. Descrição do Experimento

O *set-up* experimental, utilizado para os sítios de medida de São Paulo e Brasília, consiste de um pluviômetro de caçamba basculante e uma unidade de aquisição de dados (UAD). A Figura 12 ilustra a configuração das medidas.

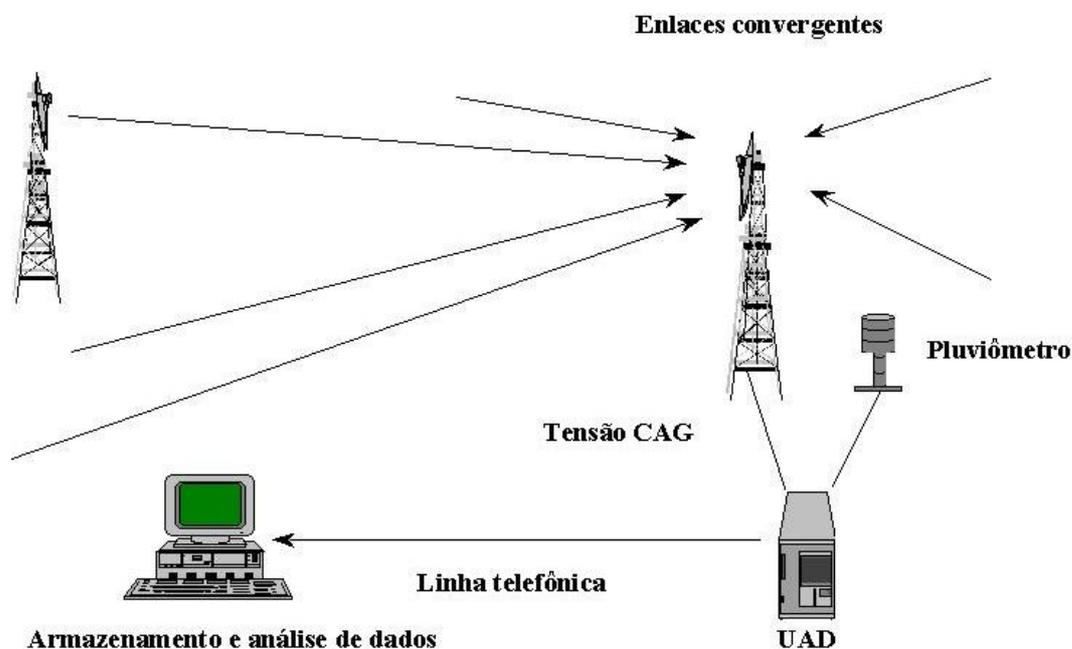


Figura 12 *Set-up* experimental das medidas da atenuação por chuvas nos enlaces convergentes de São Paulo e Brasília.

O pluviômetro de caçamba basculante tem uma área de coleta de 800 cm^2 e um volume da caçamba de 8 ml, que corresponde a uma altura de chuva de 0,1 mm. Cada vez que se coleta um volume de chuva de 800 cm^3 , a caçamba muda de posição, o que aciona um relé, gerando um pulso de tensão. A taxa de precipitação média durante cada intervalo entre pulsos é obtida dividindo-se 0,1 mm pela duração do intervalo.

A UAD [44] é um microcomputador dedicado, que permite o registro de tensões analógicas, como as de controle automático de ganho de receptores (tensão de CAG), e de sinais pulsados, como os de pluviômetros. Como ilustrado na Fig. 13, a UAD é dividida em dois sub-sistemas. Um primeiro (dentro da área limitada pela linha tracejada) faz a seleção sequencial do canal, a adequação do nível de tensão de cada canal à faixa de níveis de entrada do microcontrolador e a conformação da informação paralela para uma forma serial, mais interessante do ponto de vista de comunicação com um computador. O segundo sub-sistema é o responsável pelo registro de dados provenientes dos canais aquisitados em mídia. A tarefa de gerenciamento dos dados é feita por “software”. De uma forma geral pode-se dizer que há dois “softwares” envolvidos, um em cada sub-sistema. O “software” do primeiro subsistema é responsável pela seleção síncrona dos canais a serem aquisitados, controle do nível de atenuação imposto à fase de equalização e o envio dos dados na forma serial. O segundo “software”, que é implementado em um computador, é responsável pela adequação dos dados seriais provenientes do microcontrolador de aquisição e gravação em mídia.

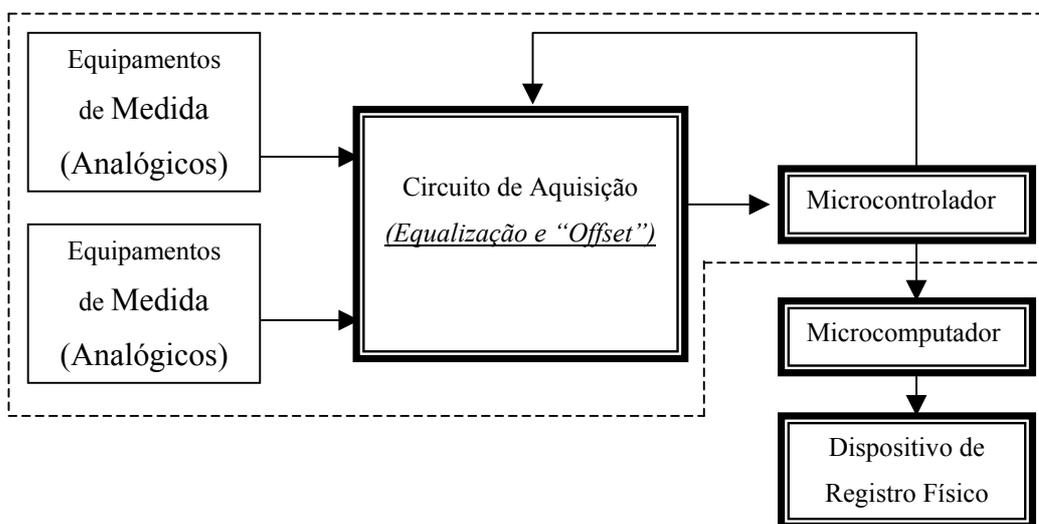


Figura 13 Esquema básico da UAD.

No caso deste experimento os dados analógicos (tensões de CAG) foram amostrados a uma taxa de 1 Hz. Os dados amostrados são armazenados em forma digital. Os dados digitais aquisitados são provenientes de pluviômetros e são constituídos por sequências de pulsos gerados de acordo com a velocidade com que há o esvaziamento do recipiente interno responsável pela detecção da vazão de água (volume por unidade de tempo). Taxas máximas de geração de “transição” pelo dispositivo são da ordem de 2 Hz. Os dados armazenados são a data e o tempo (hora, minuto e segundo) de ocorrência de cada pulso de tensão gerado pelo pluviômetro.

Na fase de pré-processamento os dados armazenados (tensões CAG) são convertidos em potência recebida através das curvas de calibração obtidas durante a instalação do equipamento. Essas curvas têm a forma geral de um polinômio de quinto grau, cujos coeficientes variam para cada enlace.

3.2.2. Pré-processamento de Séries Temporais

Os registros da potência recebida e da taxa de precipitação para cada dia de medida são representados em forma de série temporal, como a mostrada na Fig. 14. Estas séries são pré-processadas utilizando o programa TSEDIT (*Time Series Editor*).

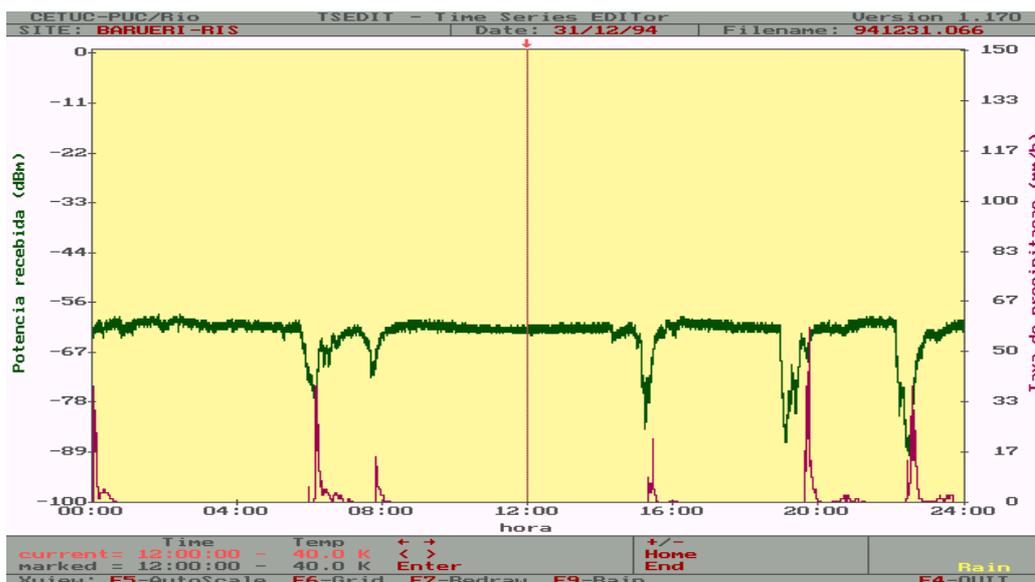


Figura 14 Série temporal da potência recebida e da taxa de precipitação, gerada pelo programa TSEDIT.

O TSEDIT é um programa de pré-processamento que permite a visualização e eventual modificação (edição) de séries temporais armazenadas em arquivos de dados compatíveis com o formato utilizado pelas unidades de aquisição de dados (UADs) produzidas pelo CETUC. A edição de dados é necessária para eliminar períodos de interrupção devidos a manutenções rotineiras ou corretivas dos sistemas rádio. No TSEDIT as séries temporais sempre são manipuladas em dias, ou seja, períodos de tempo iniciados a 0 horas e com duração de 24 horas. Assim, qualquer modificação e visualização de amostras deve ser realizada em um dia de cada vez.

É importante ressaltar que alguns enlaces apresentaram, em raras ocasiões, problemas de saturação em instantes ou períodos de tempo nos quais ocorreram variações muito rápidas do nível do sinal. A UAD registra, de fato, as variações do nível de tensão e não seu valor absoluto, de modo a reduzir o tamanho dos arquivos gerados. O número de níveis discretização destas variações é limitado, podendo ocorrer saturação quando ocorrem variações muito bruscas. Entretanto, observou-se que esses problemas não ocorreram durante eventos de desvanecimento devido à chuva, sendo devidos apenas às atividades de manutenção já mencionadas e puderam ser editados sem comprometer a qualidade dos dados. Os *up-times* dos dados utilizados no presente trabalho são muito próximos ou superiores a 90%. Em geral, pode-se dizer que, observando as séries temporais correspondentes ao período total da medida, os dados obtidos são de alta qualidade, prescindindo de qualquer técnica de pré-processamento adicional, como por exemplo, a filtragem dos dados.

As séries temporais permitem determinar os níveis nominais de potência de cada enlace, parâmetro de relevante importância para o cálculo das distribuições cumulativas da atenuação por chuvas, como será visto na seguinte seção.

3.3. ANÁLISE DE DADOS

A análise estatística dos dados realizada neste trabalho consiste na determinação das distribuições cumulativas da taxa de precipitação nos locais de medida, da atenuação por chuvas de cada enlace, da atenuação diferencial por

chuvas para cada par de enlaces convergentes e de histogramas da duração e número de eventos para diferentes níveis de atenuação por chuvas em cada enlace.

3.3.1. Distribuição Cumulativa da Taxa de Precipitação

A distribuição cumulativa da taxa de precipitação é dada pela fração do tempo total da medição, no período de tempo considerado, na que cada valor de taxa de precipitação é excedido. Portanto, a distribuição cumulativa da taxa de precipitação, $F_R(R)$, é dada por:

$$F_R(R) = \frac{\text{Tempo total em que a taxa de precipitação excede } R(\text{mm/h})}{\text{Tempo total da medida}} \quad (3.1)$$

Nesta análise, $F_R(R)$ é determinada para valores de R maiores que 1 mm/h, em passos de 1 mm/h, até atingir o valor máximo observado.

A série temporal de R utilizada para o cálculo da distribuição cumulativa é obtida a partir dos dados do pluviômetro. Esses dados consistem na data, hora e segundo de cada ocorrência do esvaziamento da caçamba basculante que coleta a água da chuva. A taxa de precipitação média (R) durante um intervalo de tempo (Δt) entre dois esvaziamentos consecutivos é dada por:

$$R(\text{mm/h}) = 3600 \frac{V/A}{\Delta t(\text{seg})} \quad (3.2)$$

onde:

V = Volume da caçamba, em ml.

A = Área de coleta do pluviômetro, em m^2 .

A medida é realizada, portanto, com tempo de integração variável e inversamente proporcional à taxa de precipitação. Com o objetivo de uniformizar o tempo de integração da série, utilizam-se intervalos consecutivos de 1 minuto para obter o valor médio da taxa neste intervalo.

3.3.2. Distribuição Cumulativa da Atenuação por Chuvas

A distribuição cumulativa da atenuação por chuvas num enlace é dada por:

$$F_A(A) = 1 - F_{P_R}(P_R) \quad (3.3)$$

onde $F_{P_R}(P_R)$ representa a distribuição cumulativa da potência recebida no enlace, determinada de forma similar ao cálculo da distribuição cumulativa da taxa de precipitação:

$$F_{P_R}(P_R) = \frac{\text{Tempo total em que a potência recebida excede } P_R \text{ (mm/h)}}{\text{Tempo total da medida}} \quad (3.4)$$

A relação entre a atenuação (A) e a potência recebida no enlace (P_R) é dada por:

$$P_R(\text{dBm}) = P_{R_{\text{nom}}}(\text{dBm}) - A(\text{dB}) \quad (3.5)$$

A potência recebida nominal ($P_{R_{\text{nom}}}$) é determinada, originalmente, durante a calibração realizada na instalação do equipamento, em condições de céu claro. Entretanto, como ao longo do experimento ocorrem variações deste valor devidas tanto a mudanças nas condições de propagação em céu claro como a alterações realizadas em intervenções de manutenção, o programa calcula a média diária da potência recebida, expurgando eventos de atenuação por chuvas. Esta média é utilizada como potência nominal de referência para cada dia analisado.

De (3.3) e (3.5), obtém-se que a distribuição cumulativa da atenuação por chuvas, $F_A(A)$, é dada por:

$$F_A(A) = 1 - F_{P_R}(P_{R_{\text{nom}}} - A) \quad (3.6)$$

3.3.3. Distribuição Cumulativa da Atenuação Diferencial

A distribuição cumulativa da atenuação diferencial por chuvas num par de enlaces convergentes, designados 1 e 2, é obtida de forma análoga à utilizada para determinar a distribuição cumulativa da atenuação por chuvas de um enlace individual, mas a partir de séries temporais obtidas tomando, para cada amostra, a diferença entre as atenuações instantâneas, A_1 e A_2 , de cada enlace.

Cabe destacar que séries temporais correspondentes à diferença dos valores instantâneos $A_1 - A_2$ são opostas às séries temporais correspondentes à diferença dos valores instantâneos $A_2 - A_1$. Portanto, a distribuição cumulativa correspondente à atenuação diferencial por chuvas de $A_1 - A_2$ (F_{12}) é diferente à distribuição cumulativa correspondente à atenuação diferencial por chuvas de $A_2 - A_1$ (F_{21}) ou seja:

$$F_{12}(A_1 - A_2) \neq F_{21}(A_2 - A_1) \quad (3.7)$$

É necessário, portanto, determinar ambas distribuições a fim de caracterizar completamente a atenuação diferencial por chuva entre os enlaces.

As distribuições cumulativas da atenuação por chuvas para um enlace e da atenuação diferencial por chuvas para um par de enlaces, foram obtidas com uma resolução de 0,5 dB.

3.3.4. Distribuição Cumulativa da Duração e Número de Eventos de Chuva

A distribuição cumulativa da duração de eventos de chuva para um determinado nível de atenuação por chuvas (A), é definida como a fração do tempo total composto pelas durações de eventos maiores que um certo tempo “ T ” em que este nível é excedido. Portanto, a distribuição cumulativa da duração de eventos, $F_T(T)$, é dada por:

$$F_T(T) \Big|_A = \frac{\sum_i t_i > T \Big|_{P_{Rnom} - P_R > A}}{\text{Tempo total em que } P_{Rnom} > P_R} \quad (3.8)$$

A distribuição cumulativa do número de eventos de chuva, $F_N(N)$, para um dado nível de atenuação por chuvas, é definida como a relação entre o número de durações de eventos maiores que um certo tempo “d”, e o total do número de eventos.

$$F_N(N) \Big|_A = \frac{\text{Número de eventos em que } t_i > T}{\text{Número total de eventos}} \quad (3.9)$$

No caso de durações de eventos e de número de eventos o programa de análise de dados fornece histogramas, a partir dos quais são obtidas as densidades e distribuições de probabilidade.

3.3.5. Resultados

As distribuições cumulativas mencionadas anteriormente são determinadas com o auxílio do programa TEMP, que inclui os algoritmos indicados nas seções 3.3.1 a 3.3.4.

As distribuições cumulativas da taxa de precipitação e da atenuação por chuvas, para as mesmas percentagens de tempo consideradas na base oficial de dados de ITU-R, para os 7 enlaces convergentes da São Paulo, são mostradas nas Tabelas 8 e 9, respectivamente. As distribuições de taxa de precipitação apresentam pequenas diferenças, devido aos diferentes *up-times* dos enlaces.

As distribuições cumulativas da taxa de precipitação, na Rua dos Ingleses, para o máximo *up-time* em cada ano de medida, podem ser observadas na Fig. 15 para percentagens do tempo entre 0,001 e 0,1%. Observa-se que as condições de chuva são bastante similares durante esses 2 anos.

Tabela 8 Distribuições cumulativas da taxa de precipitação para os 7 enlaces convergentes de São Paulo.

Enlace	Taxa de precipitação (mm/h)								
	0,001%	0,002%	0,003%	0,006%	0,01%	0,02%	0,03%	0,06%	0,1%
Bradesco2 (ano 1)	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
Bradesco2 (ano2)	125,7	108,8	103,2	85,4	78,2	63,3	53,5	37,3	26,3
CENESP15 (ano 1)	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
CENESP15 (ano 2)	125,7	108,8	103,2	85,4	78,2	63,3	53,5	37,3	26,3
CENESP18	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
Scania (ano 1)	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
Scania (ano 2)	125,7	108,8	103,2	85,4	78,2	63,3	53,5	37,3	26,3
Barueri	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
Shell	125,7	108,8	103,2	85,4	78,2	63,3	53,5	37,3	26,3
Paranapiacaba (ano 1)	117,4	104,5	97,4	85,0	73,9	60,2	53,3	39,3	28,2
Paranapiacaba (ano 2)	125,7	108,8	103,2	85,4	78,2	63,3	53,5	37,3	26,3

Tabela 9 Distribuição cumulativa da atenuação por chuvas para os 7 enlaces convergentes de São Paulo (entre 0,001 e 0,1%).

Enlace	Atenuação por chuvas (dB)								
	0,001%	0,002%	0,003%	0,006%	0,01%	0,02%	0,03%	0,06%	0,1%
Bradesco2 (ano 1)	41,2	37,6	35,6	29,8	28,4	25,2	22,4	16,5	11,9
Bradesco2 (ano2)			40,3	37,8	34,9	28,5	25,8	10,9	17,3
CENESP15 (ano 1)		38,9	38,1	34,9	33,8	30,4	27,5	22,6	17,2
CENESP15 (ano 2)				38,9	36,7	32,1	29,0	23,6	19,6
CENESP18						40,9	39,5	33,1	25,2
Scania (ano 1)					45,1	42,9	38,2	29,7	25,2
Scania (ano 2)				48,3	47,6	44,6	42,0	34,4	28,3
Barueri				39,8	38,1	36,1	33,0	25,4	20,9
Shell				43,7	43,5	43,0	41,0	35,2	27,8
Paranapiacaba (ano 1)						38,2	37,8	35,7	32,4
Paranapiacaba (ano 2)							40,5	39,8	37,7

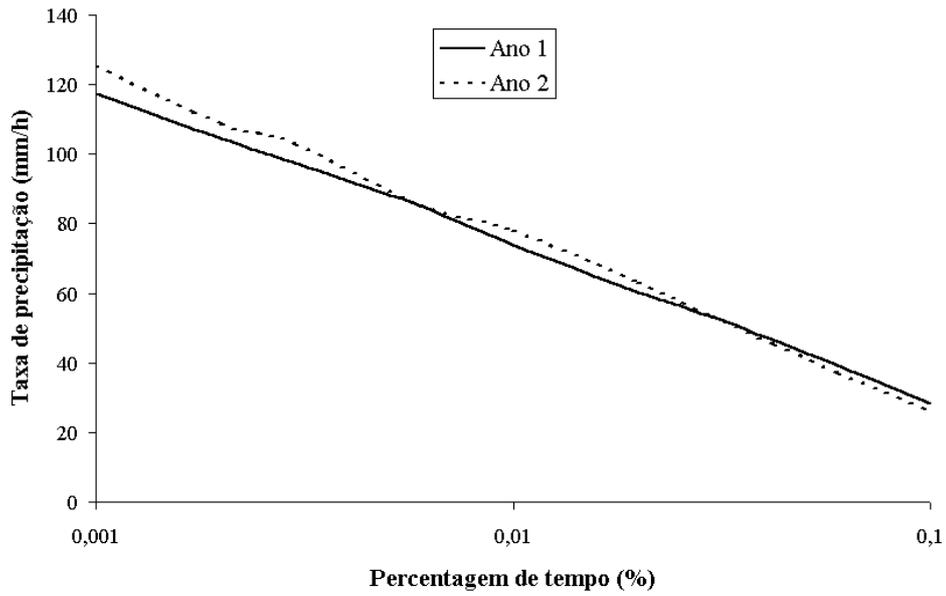


Figura 15 Distribuições da taxa de precipitação nos enlaces convergentes de São Paulo.

A Fig. 16 representa as distribuições cumulativas da atenuação por chuvas, dos 7 enlaces convergentes de São Paulo para o primeiro ano de medidas, para percentagens de tempo entre 0,01 e 1%.

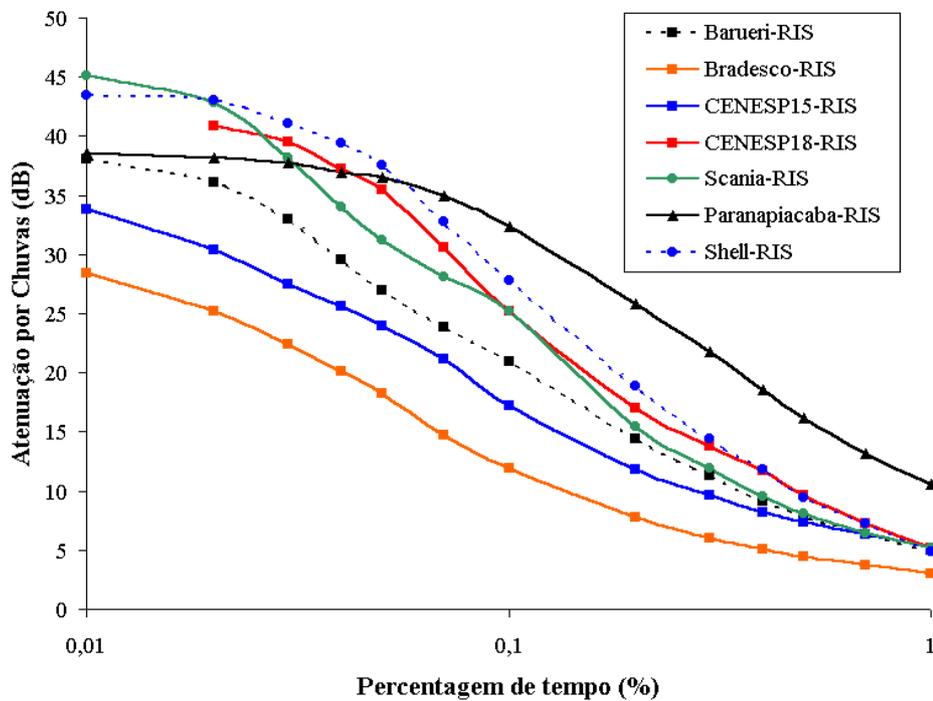


Figura 16 Distribuições cumulativas da atenuação por chuvas dos enlaces de São Paulo, para o primeiro ano de medidas (entre 0,01 e 1%).

Na Fig. 16 também pode se observar que, conforme esperado, a atenuação aumenta fortemente com o comprimento do enlace. Adicionalmente, a significativa diferença existente entre as atenuações por chuvas dos enlaces Bradesco2-RIS e CENESP15-RIS, que têm praticamente o mesmo comprimento, mostra a influência da direção do enlace. Comparando as distribuições da atenuação por chuvas dos enlaces CENESP15 e CENESP18, que possuem as mesmas características a exceção da frequência de operação, nota-se a influência deste parâmetro.

As medidas da atenuação por chuvas dos 7 enlaces de São Paulo foi anexada à base de dados oficial do ITU-R, correspondente a 62 enlaces, com o objetivo de obter um modelo de previsão da atenuação por chuvas de maior validade global, conforme será visto no capítulo 4.

As distribuições cumulativas da atenuação diferencial por chuvas obtidas para os pares de enlaces incluindo o enlace Barueri-RIS e que operam na mesma faixa de frequências, são mostradas, a título de exemplo, na Tabela 10. O comportamento destas distribuições em comparação com a distribuição da atenuação total no enlace Barueri-RIS pode ser observado na Fig. 17.

Tabela 10 Distribuição cumulativa da atenuação diferencial por chuvas para os pares de enlaces convergentes de São Paulo que incluem Barueri-RIS.

Par de Enlaces	Atenuação diferencial por chuvas (dB)												
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
Barueri-Bradesco2	26,95	23,75	21,00	18,45	16,35	13,49	10,69	6,98	5,45	4,54	3,96	3,28	2,71
Barueri-CENESP15	32,71	28,7	25,62	22,84	20,78	17,53	14,28	9,38	7,15	6,00	5,3	4,43	3,62
Barueri-Scania	34,26	31,19	27,54	24,32	22,10	19,00	15,76	10,39	7,62	6,14	5,19	4,08	3,24
Barueri-Paranapiacaba	34,41	31,08	26,78	24,18	22,04	18,77	15,39	10,19	8,41	7,39	6,66	5,74	4,91

Pode-se observar, pela forma das curvas na Fig. 17, uma forte correlação entre a atenuação diferencial e a atenuação individual do enlace em comum. O par Barueri-Bradesco2, que apresenta o menor ângulo entre os enlaces (Tabela 44, do Apêndice B) é o que apresenta menores valores de atenuação diferencial, evidenciando uma dependência com o ângulo entre os enlaces.

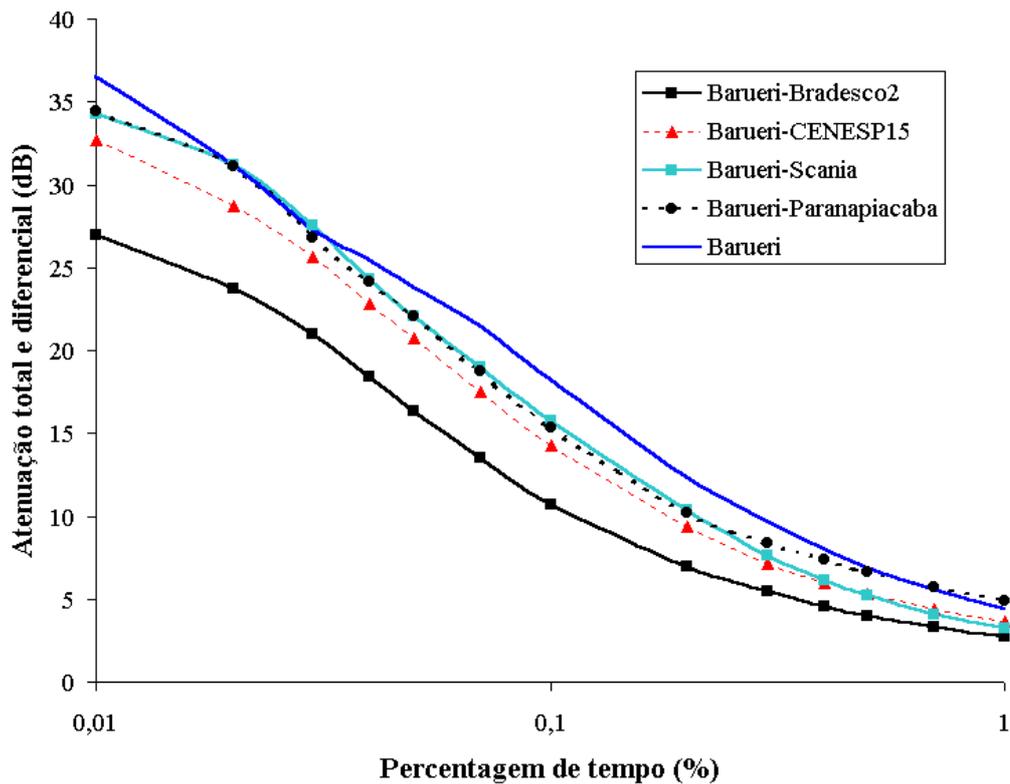


Figura 17 Distribuições cumulativas da atenuação total e diferencial para o enlace Barueri-RIS.

As distribuições cumulativas da duração e número de eventos de chuvas, para o enlace CENESP15, com níveis de atenuação entre 5 e 40 dB, são mostradas a título de exemplo nas Tabelas 11 e 12, respectivamente, e plotadas nas Figs. 18 e 19, respectivamente. A última linha da Tabela 11 contém o número total de segundos contabilizados para cada limiar de atenuação, enquanto que a última linha da Tabela 12 corresponde ao total do número de eventos para cada limiar de atenuação.

Quanto às medidas nos 6 enlaces convergentes de Brasília, as distribuições da taxa de precipitação e da atenuação por chuvas, são resumidas nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

As distribuições cumulativas da atenuação diferencial por chuvas para os pares de enlace envolvendo o enlace INCRA-BSA (todos operando em 23 GHz) aparecem na Tabela 15 e são ilustradas na Figura 20, juntamente com a atenuação individual do mencionado enlace.

Na Fig. 20, novamente pode se observar que a atenuação diferencial é menor para o par de enlaces que apresenta um menor ângulo entre seus percursos, neste caso, o par INCRA-AUTORAC (Tabela 45, do Apêndice B).

Tabela 11 Distribuições cumulativas da duração de eventos de chuvas para o enlace CENESP15-RIS.

Intervalos	Níveis de atenuação por chuvas (dB)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
10	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,96
30	0,93	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,89	0,66
60	0,89	0,92	0,95	0,96	0,94	0,94	0,87	0
120	0,84	0,87	0,91	0,94	0,88	0,86	0,75	0
180	0,80	0,82	0,87	0,91	0,83	0,80	0	0
300	0,75	0,74	0,8	0,83	0,65	0,58	0	0
600	0,65	0,65	0,66	0,62	0,43	0,30	0	0
900	0,58	0,56	0,51	0,38	0,25	0,17	0	0
1200	0,51	0,41	0,31	0,21	0	0	0	0
1500	0,42	0,35	0,28	0,09	0	0	0	0
1800	0,36	0,22	0,19	0	0	0	0	0
2400	0,32	0,17	0,07	0	0	0	0	0
3600	0,17	0	0	0	0	0	0	0
	311228	80686	37112	22540	12768	6090	1562	182

Tabela 12 Distribuições cumulativas do número de eventos de chuvas para o enlace CENESP15-RIS.

Intervalos	Níveis de atenuação por chuvas (dB)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
10	0,54	0,65	0,73	0,76	0,78	0,70	0,54	0,6
30	0,24	0,40	0,48	0,56	0,58	0,55	0,23	0,3
60	0,16	0,27	0,36	0,41	0,46	0,45	0,19	0
120	0,10	0,18	0,26	0,37	0,33	0,32	0,12	0
180	0,08	0,14	0,21	0,32	0,28	0,27	0,04	0
300	0,06	0,10	0,17	0,24	0,16	0,14	0	0
600	0,03	0,06	0,11	0,13	0,07	0,05	0	0
900	0,02	0,05	0,07	0,06	0,04	0,02	0	0
1200	0,018	0,03	0,03	0,03	0	0	0	0
1500	0,013	0,02	0,025	0,009	0	0	0	0
1800	0,009	0,01	0,015	0	0	0	0	0
2400	0,007	0,008	0,005	0	0	0	0	0
3600	0,002	0	0	0	0	0	0	0
	3363	589	198	104	81	44	26	10

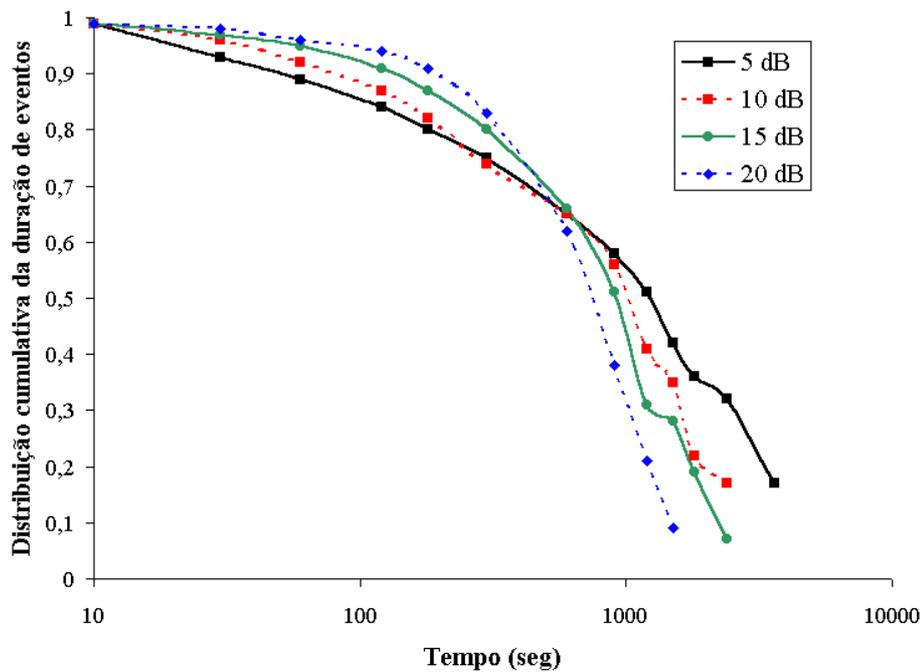


Figura 18 Distribuições cumulativas da duração de eventos de chuvas para os 7 enlaces convergentes de São Paulo.

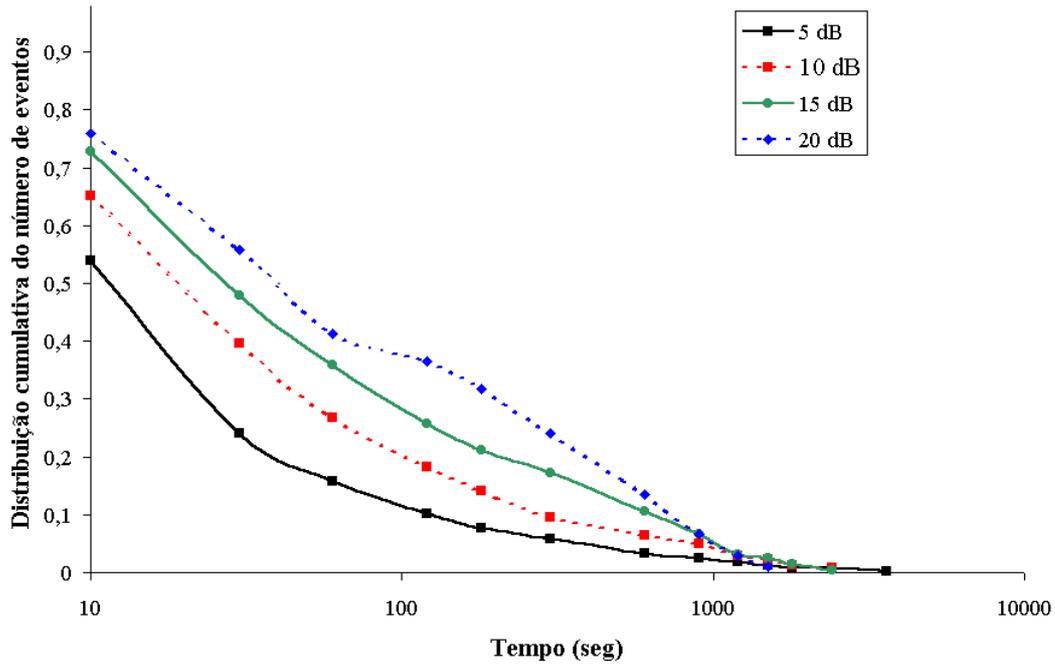


Figura 19 Distribuições cumulativas do número de eventos de chuvas para os 7 enlaces convergentes de São Paulo.

Tabela 13 Distribuição cumulativa da taxa de precipitação para os 6 enlaces convergentes de Brasília.

Enlace	Taxa de precipitação (mm/h)													Dias
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	
AUTORAC-BSA	67,9	58,6	51,2	47,7	44,7	41,5	35,4	23,1	16,4	12,8	9,8	7,1	5,1	84
MF38-BSA	68,1	58,7	51,3	47,8	44,8	41,7	35,6	23,2	16,5	12,9	9,8	7,1	5,0	83
PGR-BSA	68,1	58,7	51,3	47,8	44,8	41,7	35,6	23,2	16,5	12,9	9,8	7,1	5,0	83
INCRA-BSA	69,4	58,7	51,2	47,2	43,1	36,2	30,9	18,2	12,9	9,6	8,0	6,1	4,5	73
SARAH-BSA	68,1	58,7	51,3	47,8	44,8	41,7	35,6	23,2	16,5	12,9	9,8	7,1	5,0	83
BNDES-BSA	68,1	58,7	51,3	47,8	44,8	41,7	35,6	23,2	16,5	12,9	9,8	7,1	5,0	83

Tabela 14 Distribuição cumulativa da atenuação por chuvas para os 6 enlaces convergentes de Brasília.

Enlace	Atenuação por chuvas (dB)												
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
AUTORAC-BSA	31,05	26,56	23,38	21,32	20,17	18,61	16,68	12,67	10,2	8,16	7,15	5,93	5,11
MF38-BSA	43,03	38,1	35,06	32,86	30,85	27,52	24,81	17,51	13,22	10,44	8,74	6,93	5,51
PGR-BSA	24,38	19,78	17,62	15,9	14,84	13,15	11,19	7,59	5,64	4,6	4,07	3,22	2,51
INCRA-BSA	17,64	15,44	14,46	13,63	12,94	12,1	10,91	8,05	6,95	6,09	5,68	5,22	4,77
SARAH-BSA	18,85	17,25	15,87	14,52	13,83	12,84	11,86	8,9	7,16	6,35	5,88	4,9	4,38
BNDES-BSA	14,06	13,08	12,01	11,32	10,65	9,46	8,4	6,4	4,97	4,4	3,95	3,37	2,76

Tabela 15 Distribuição cumulativa da atenuação diferencial por chuvas para os pares de enlaces convergentes de Brasília que o consideram INCRA-BSA.

Par de Enlaces	Atenuação diferencial por chuvas (dB)												
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
INCRA-AUTORAC	4,31	4,04	3,87	3,75	3,65	3,5	3,39	3,18	3,05	2,95	2,86	2,71	2,56
INCRA-PGR	9,25	7,78	7,08	6,66	6,35	5,9	5,48	4,89	4,57	4,3	4,09	3,74	3,33
INCRA-BNDES	7,99	7,21	6,75	6,41	6,15	5,74	5,27	4,36	3,89	3,61	3,41	3,15	2,84

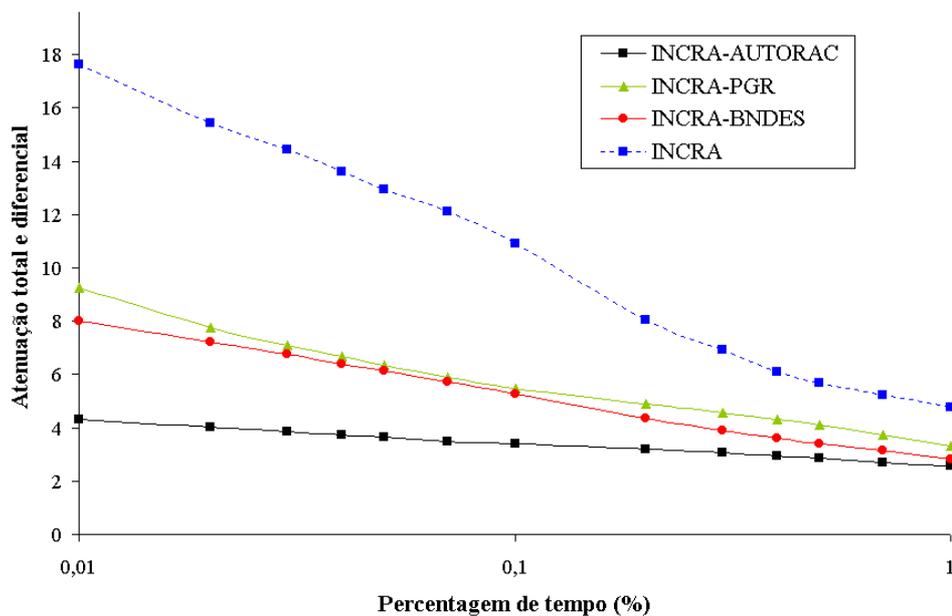


Figura 20 Distribuições cumulativas da atenuação total e diferencial para o enlace INCRA-BSA.