

8

Resultados e investigações

8.1.

Perda de propagação ao Longo da distância

A obtenção dos dados medidos relativos a perda de propagação ao longo da distância foi feita no domínio da frequência através da equação dada por [12]:

$$Pl(d) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [T(f_i, t; d)]^2 \quad (8.1)$$

onde $T(f_i, t; d)$ é a função de transferência variante no tempo do canal para uma banda de 850 MHz e N representa o número de frequências discretas observadas, igual a 1601.

A análise da perda de propagação foi feita nos corredores A e B (ver Figura 16 e 17). Em ambos os corredores os resultados são mostrados quanto a sua situação de LOS nas Figuras 23 e 24(a). As situações em NLOS são analisadas no Corredor A nas Figuras 24(b) e 24(c).

Na situação LOS, constatou-se uma característica interessante de aumento do nível de potência do sinal recebido quando existe uma maior distância entre transmissor e receptor, a partir de 20m e 25m para os corredores A₁ e B respectivamente (ver Figura 24(a) e 23), o que é provavelmente atribuída pela soma construtiva do sinal direto com o sinal refletido seja pela parede (ambiente A₁) ou armário de metal (ambiente B) no final dos corredores (ver Figuras 16 e 17).

Nos dados medidos foi aplicado o modelo de propagação banda larga, dado pela equação (8.1) [23] e utilizado em UWB [10], [12].

$$PL(d) = \left[PL_0 + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \right], \quad d \geq d_0, \quad (8.2)$$

onde PL_0 representa a queda no nível de potência em $d_0 = 1\text{ m}$ no espaço livre, $10\gamma \log_{10}(d/d_0)$ a perda de potência média em relação a distância referencia d_0 ; γ é o expoente de perda de propagação que depende da estrutura do ambiente.

O valor de PL_0 foi obtido no estacionamento da PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) que representa uma grande área com poucos refletores. Desta forma o valor de PL_0 podia ser considerado uma aproximação de uma medida feita em espaço livre.

Em relação aos valores de γ do modelo dado pela equação (8.2):

- Situação de LOS: obtiveram-se valores de $\gamma = -1.92$ e $\gamma = -1.69$ para os Corredores A_1 e B, respectivamente. O maior valor de γ encontrado no corredor B é explicado pelas características construtivas das paredes de seu corredor, mais espessas que as paredes do corredor A_1 .

Em situações de LOS, os valores de γ observados são similares aos encontrados na literatura sobre UWB realizados em ambientes confinados, como em [14] medida feita no domínio da frequência em uma banda de 10GHz, encontrou valor de $\gamma = -1,58$. Em [22] medida feita no domínio do tempo com um pulso com espectro centrado numa frequência de 5Ghz, também realizados em ambientes confinados LOS (como corredor) encontrou valor de $\gamma = -1,27$.

- Nas situações de NLOS: os valores de γ aumentaram em relação a situação de LOS, sendo $\gamma = -5,46$ e $\gamma = -6,58$ para os corredores A_2 e A_3 , respectivamente. O maior valor de γ encontrado no corredor A_2 é explicado pelo menor número de paredes sucessivas entre o transmissor e o receptor quando o transmissor está localizado neste corredor (ver Figura16).

Na literatura, os trabalhos sobre UWB referentes a perda de propagação na situação de NLOS em ambientes confinados, não se tem um padrão sobre

que tipo de obstáculo ou quantos obstáculos existem entre o transmissor e o receptor o que proporcionou a obtenção dos mais variados valores de γ , como em [14] onde obteve-se um valor de $\gamma = -1,96$ medido na situação de NLOS em uma sala adjacente ao corredor medido.

Em [23] medida feita para sistemas banda estreita foram encontrados valores de γ que variavam na situação de LOS de -1,6 a -1,8 e em NLOS de -4 a -6. Estes valores aliados aos encontrados em UWB [14] e [22] anteriormente citados, são similares aos encontrados nesta dissertação, fato que reforça a idéia de que cálculos sobre perda de propagação não possuem dependência com a frequência [39-40].

Na tabela 3 são apresentados os valores dos parâmetros da equação (8.2) para os Corredores A e B.

	Parâmetros do Modelo de Perda de Propagação	
	PL_0	γ
Corredor A1 (LOS)	-37,77	-1,92
Corredor A2 (NLOS)	-37,77	-5,46
Corredor A3 (NLOS)	-37,77	-6,58
Corredor B (LOS)	37,77	-1,69

Tabela 3- Parâmetros do modelo de perda de propagação para os corredores A e B.

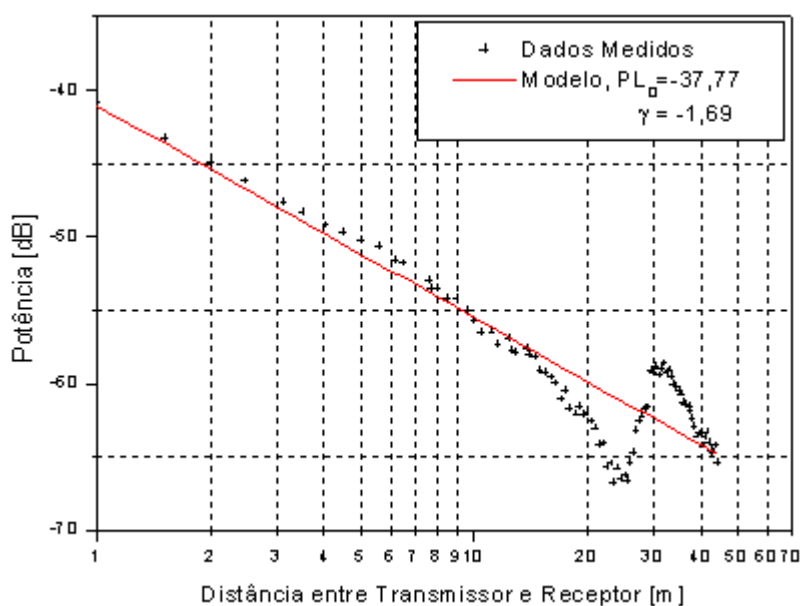
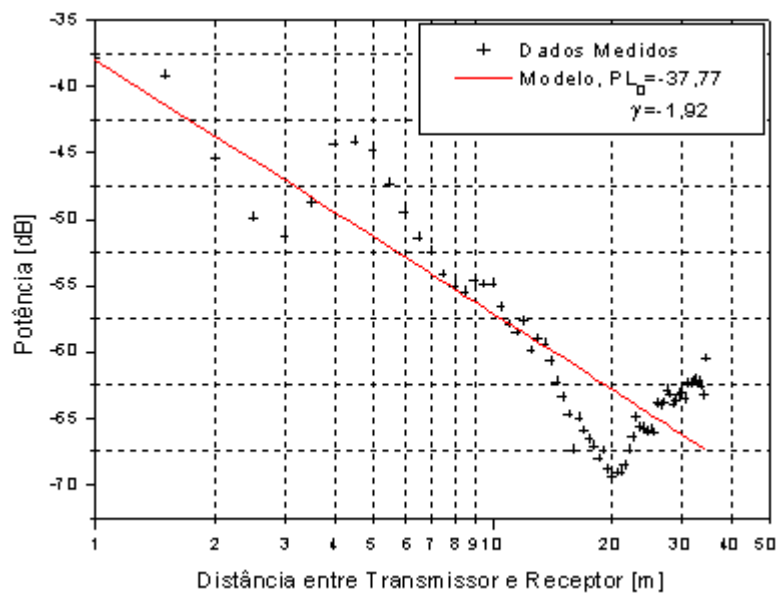
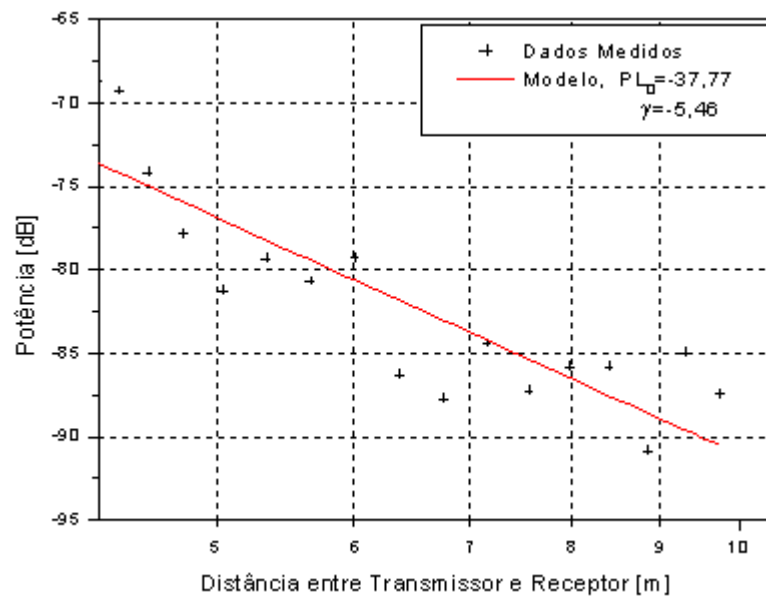


Figura 23 -Perda de propagação ao longo da distância para o Corredor B.

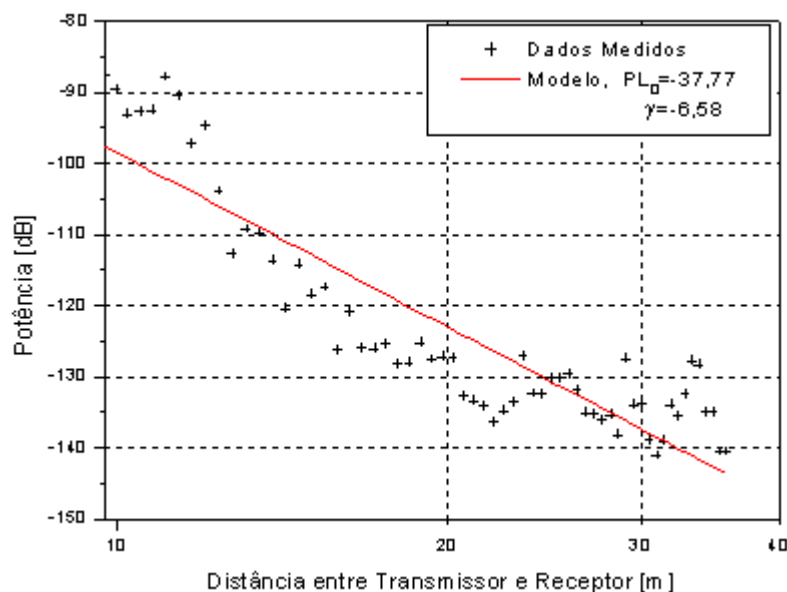


(a)



(b)

Figura 24-Perda de propagação ao longo da distancia para o Corredor A. (a) Corredor A₁. (b) Corredor A₂. (c) Corredor A₃.



(c)

Figura 24-Perda de propagação ao longo da distancia para o Corredor A. (a) Corredor A₁. (b) Corredor A₂. (c) Corredor A₃.

8.2. Características do Canal em Pequena escala

Nesta seção, será realizada a análise das características em pequena escala do canal nos ambientes *indoor*: Corredor A, Corredor B, Sala de aula, Escritório/laboratório, Escritório, Biblioteca e Indústria.

A análise em pequena escala do canal, reporta-se a medidas feitas sobre pequenas distâncias, onde as características do canal são bastante similares. Em geral, medidas em pequena escala são realizadas sobre uma pequena área em uma determinada posição do espaço, denominada de ponto local.

Nos Corredores A e B, o ponto local era definido como cada ponto espaçado de 0,5 m em uma linha imaginaria onde o receptor deslocava-se.

Nos ambientes Escritório/Laboratório, Biblioteca e Indústria o ponto local era definido como um grid de 6x6 com espaçamento de 15cm onde o receptor se deslocava.

8.2.1.

Robustez do Sinal de Banda Ultra Larga a Desvanecimento devido ao multipercurso

A margem de desvanecimento do canal descreve a queda de energia do sinal, devido à interferência destrutiva das componentes de multipercurso no receptor quando o mesmo muda de posição sobre pequenas distâncias [23]. Desta maneira, quando pequenas variações dos valores de energia recebida sobre uma pequena área (grid) ocorrem, temos menor interferência das componentes de multipercurso no receptor, ou seja, uma maior robustez do sinal UWB ao desvanecimento devido ao multipercurso e uma menor margem de desvanecimento.

A energia recebida na posição i, j em um grid é expressa através do ganho médio de potência do canal, definido como [14]:

$$G_{i,j}(B) = \frac{1}{B} \int_{f_{in}}^{f_{in}+B} |T_{i,j}(f, t)|^2 df, \quad (8.3)$$

onde $T_{i,j}(f, t)$ representa a função de transferência variante no tempo do canal na posição (i, j) , f_{in} a frequência inicial e B a largura de banda do sinal.

Nesta dissertação, o ganho médio de potência do canal para diferentes larguras de banda (15MHz, 50MHz, 100MHz, 200MHz, 350MHz e 650MHz) foi obtido para se constatar a robustez do sinal UWB ao desvanecimento devido ao multipercurso.

O valor de $G_{i,j}(B)$ foi medido numa sala de aula típica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), que possui paredes de alvenaria. Foi analisada uma situação de LOS entre transmissor e receptor. O transmissor foi deslocado num Grid de 5x10, com espaçamento de 15 cm.

A distribuição cumulativa de $G_{i,j}(B)$ para cada uma das bandas utilizadas é observada na Figura 25, que demonstra uma menor variabilidade de $G_{i,j}(B)$ para a banda de 650MHz. Esta menor variabilidade é observada pela maior robustez do sinal quando da transmissão de um sinal UWB.

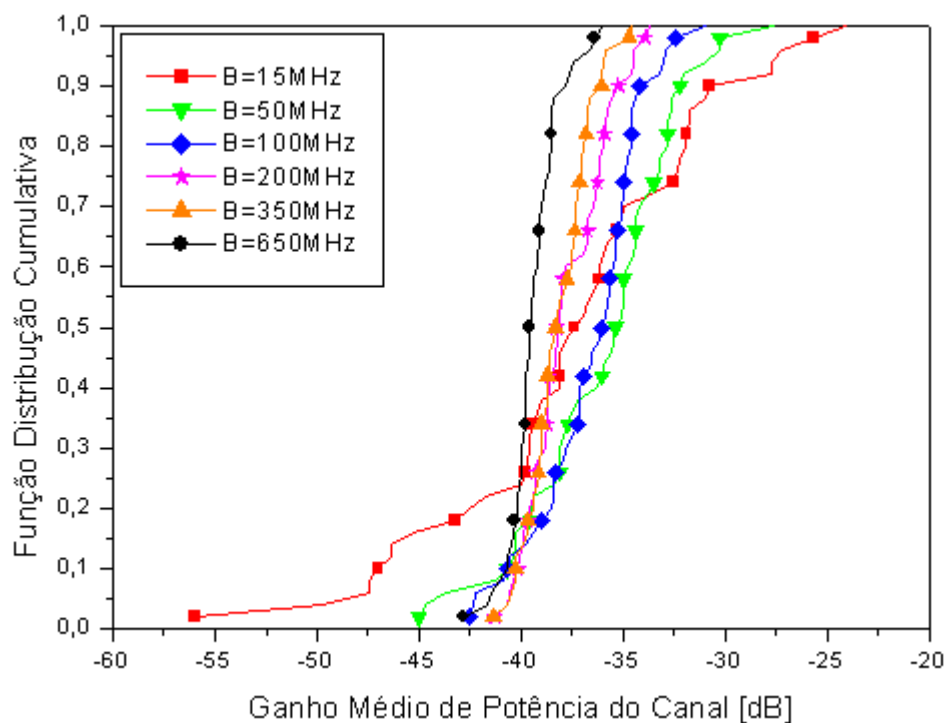
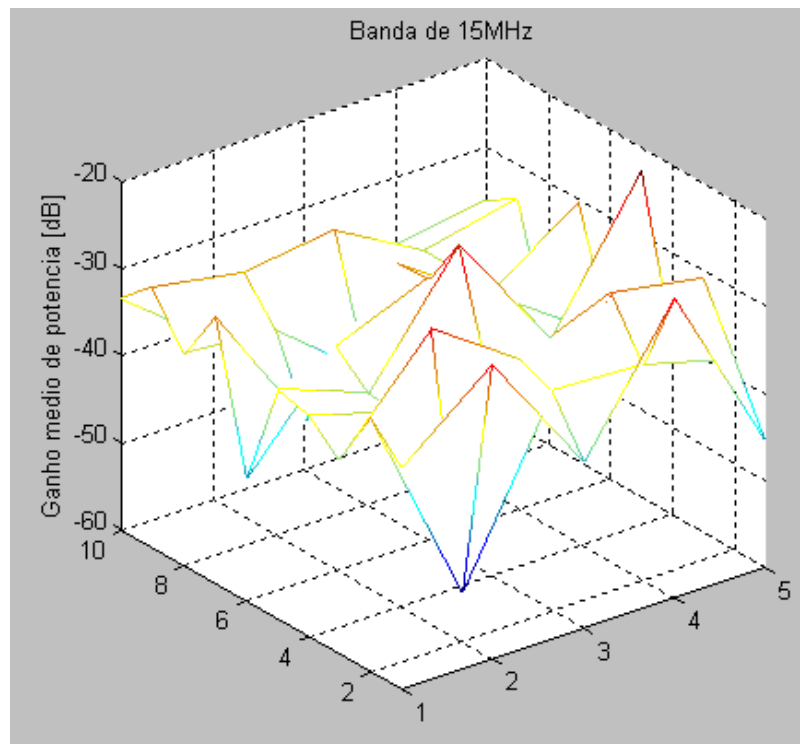


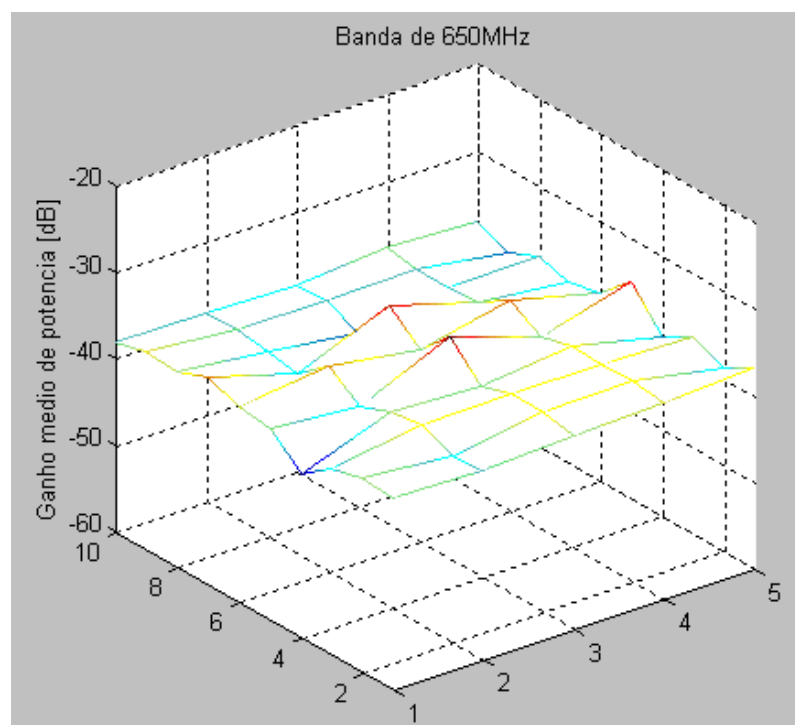
Figura 25 - A distribuição cumulativa de $G_{i,j}(B)$ para cada uma das bandas utilizadas

Os valores de $G_{i,j}(B)$ para as bandas de 15MHz e 650MHz para o deslocamento do transmissor no Grid de 5×10 são mostrados na Figura 26 (a) e (b).

Os resultados apresentados nas Figuras 25 e 26 mostram que sinais UWB (a partir de 500MHz) transmitidos pelo canal não sofrem considerável desvanecimento devido ao multipercurso em comparação a transmissão de sinais em banda larga e estreita. Fato que possibilita a utilização de sinais UWB a baixos níveis de potência para a transmissão de dados [1].



(a)



(b)

Figura 26 - Ganho médio de potência em cada posição do Grid para sinais com largura de banda diferentes. (a) Banda de 15MHz. (b) Banda de 650Mhz

8.2.2.

Parâmetros de Dispersão do Canal em pequena escala

A análise dos parâmetros de dispersão em pequena escala do canal foram feitas nos ambientes: Corredor A, Corredor B, Escritório/Laboratório, Escritório, Biblioteca e Indústria.

8.2.2.1. Análise dos Corredores A e B.

Nestes ambientes, foram feitas medidas ao longo de uma distância de até 43 m, sendo o transmissor deslocado para posições fixas a cada 0.5 m. Os resultados para as situações de LOS são mostrados nas Figuras 27 e 28 para os corredores A_1 e B respectivamente, os resultados para as situações de NLOS (Corredores A_2 e A_3) são mostradas nas Figuras 34 e 35 do Apêndice A (seção A.1).

Nas situações de LOS, medidas nos Corredores B (ver figuras 28 (a) e 28 (b)) e A_1 (ver Figuras 27 (a) e 27 (b)), constatou-se uma tendência de aumento nos valores de retardo médio e retardo RMS na primeira metade da distância entre o transmissor e o receptor. Porém, na segunda metade da distância (mais afastado do receptor) a partir de 25m e 17m do receptor nos Corredores B e A_1 respectivamente, nota-se uma tendência de estabilização do retardo médio e um decaimento no retardo RMS.

No ambiente A_1 , este fenômeno de estabilização dos parâmetros de dispersão do canal, é explicado pelo fato da aproximação do transmissor a parede no final do corredor, que gera um sinal refletido que se sobrepõe ao sinal direto, diminuindo assim a contribuição das amplitudes dos sinais refletidos das paredes laterais do corredor (ver Figura 16). No corredor B, a mesma característica de sobreposição de sinal direto e refletido, é notada devido à presença de inúmeros espalhadores significativos, como os armários presentes no final do corredor (ver Figura 17).

Apesar da equivalência aparente entre os Corredores A_1 e B os valores de retardo médio e retardo RMS apresentaram valores diferentes. No Corredor A_1 , a

média dos valores de retardo médio e retardo RMS medidos ao longo do corredor foram de 93,51ns e 47,38ns respectivamente. Enquanto no Corredor B, a média dos valores de retardo médio e retardo RMS medidos ao longo do Corredor foram de 118,75ns e 66,21ns respectivamente. Estes maiores valores encontrados no corredor B são explicados pela característica de construção das paredes do ambiente que são mais espessas, o que proporciona um maior grau de confinamento do sinal (mais reflexões do sinal transmitido) ao longo do corredor com menor vazamento de potência para as salas adjacentes ao mesmo.

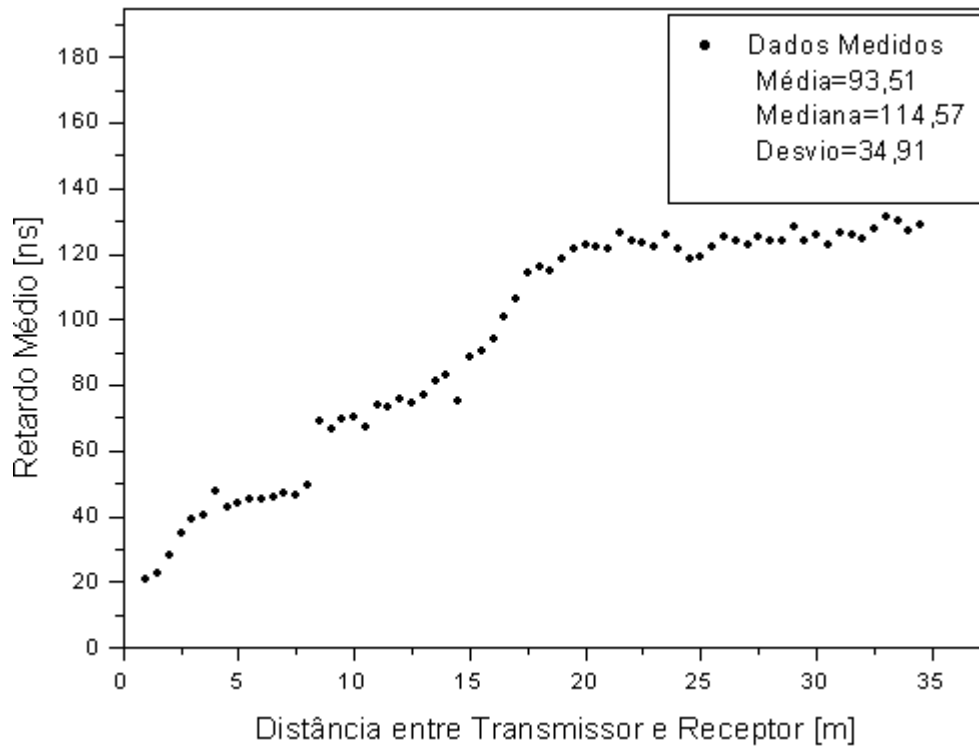
No corredor A₃, sem visada direta, comportamento similar aos parâmetros de retardo do Corredor A₁ e B foram encontrados. No ambiente A₂, os valores medidos não revelam uma tendência de crescimento esperado, sendo quase constantes devido ao pequeno deslocamento do transmissor em relação ao receptor. Os parâmetros de dispersão temporal para os corredores A₂ e A₃ são mostrados nas Figuras 34 e 35 do apêndice A (seção A.1).

Em relação a banda de coerência, os valores encontrados para as situações de LOS e NLOS reforçam a premissa de que retardo RMS e banda de coerência são inversamente proporcionais [23], o que pode ser notado no Corredor A1 na comparação entre as Figuras 27 (b) e 27 (c) e (d).

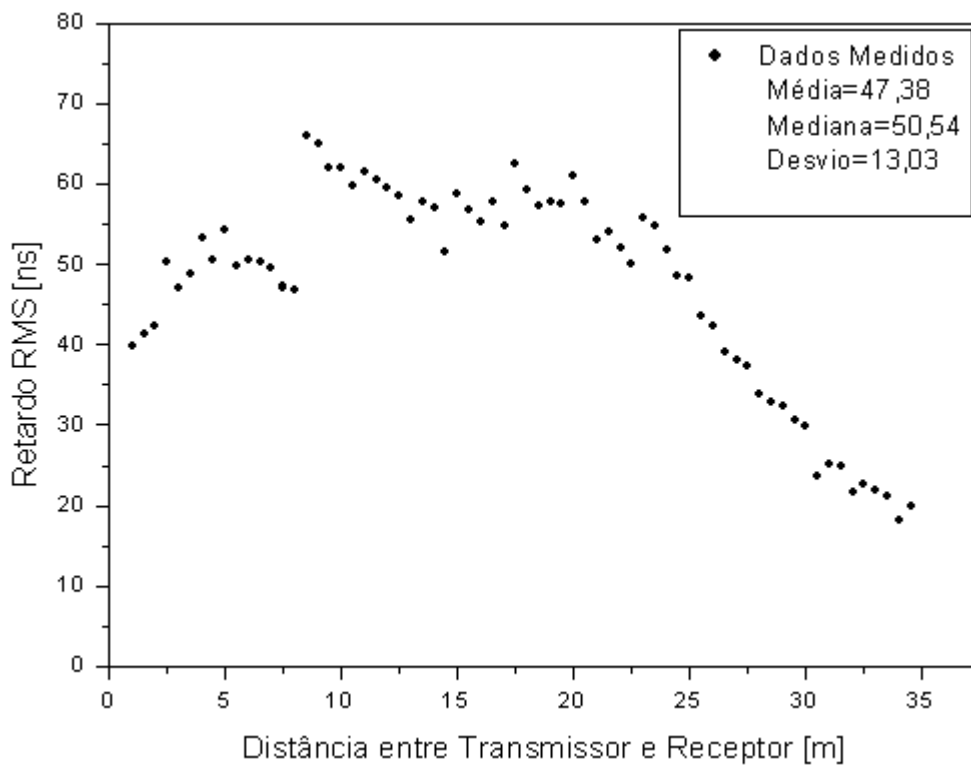
Na Tabela 4, encontram-se os valores dos parâmetros de dispersão e a banda de coerência para os ambientes analisados.

	Retardo Médio [ns]			Retardo RMS [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
Corredor A1 (LOS)	93,51	114,57	34,91	47,38	50,54	13,03
Corredor A2(NLOS)	50,99	51,59	6,70	24,29	23,04	4,09
Corredor A3(NLOS)	125,68	139,57	43,43	35,43	36,40	11,87
Corredor B (LOS)	118,75	139,02	46,26	66,21	67,84	22,44
	Banda de Coerência 0.9 [ns]			Banda de Coerência 0.7 [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
Corredor A1 (LOS)	3,25	2,12	2,05	12,89	7,43	18,23
Corredor A2(NLOS)	3,77	3,71	0,59	7,74	7,43	1,45
Corredor A3(NLOS)	2,62	2,65	0,92	5,56	5,30	1,95
Corredor B (LOS)	2,30	2,12	1,76	25,54	14,33	29,57

Tabela 4- Estatística de pequena escala para os Corredores A e B.

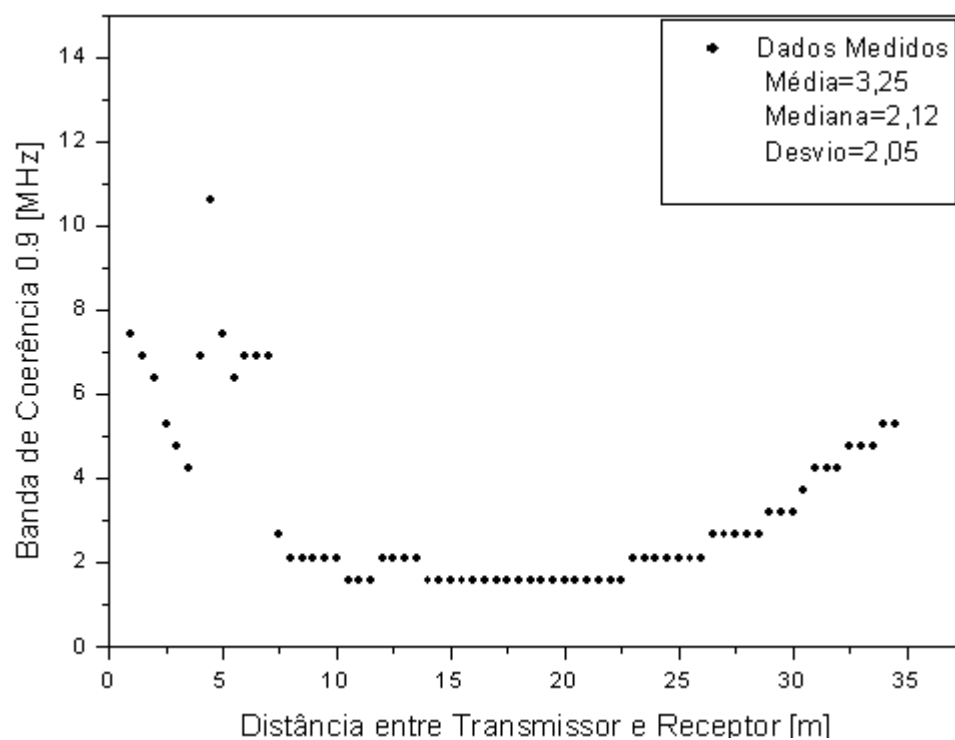


(a)

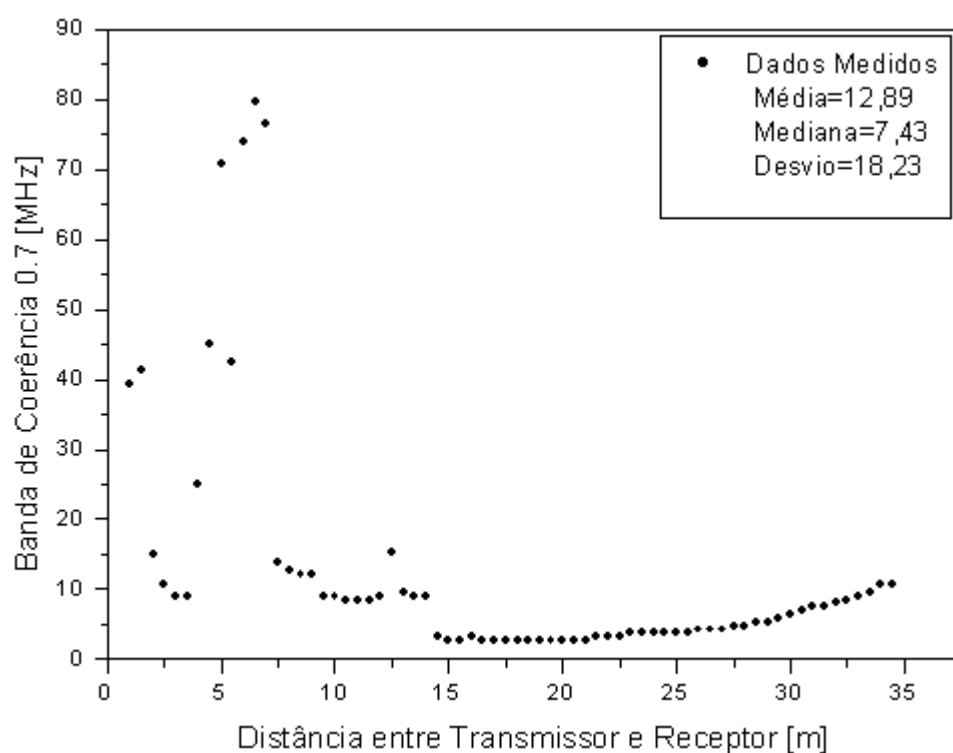


(b)

Figura 27- Parâmetros de dispersão do canal para o corredor A_1 .(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

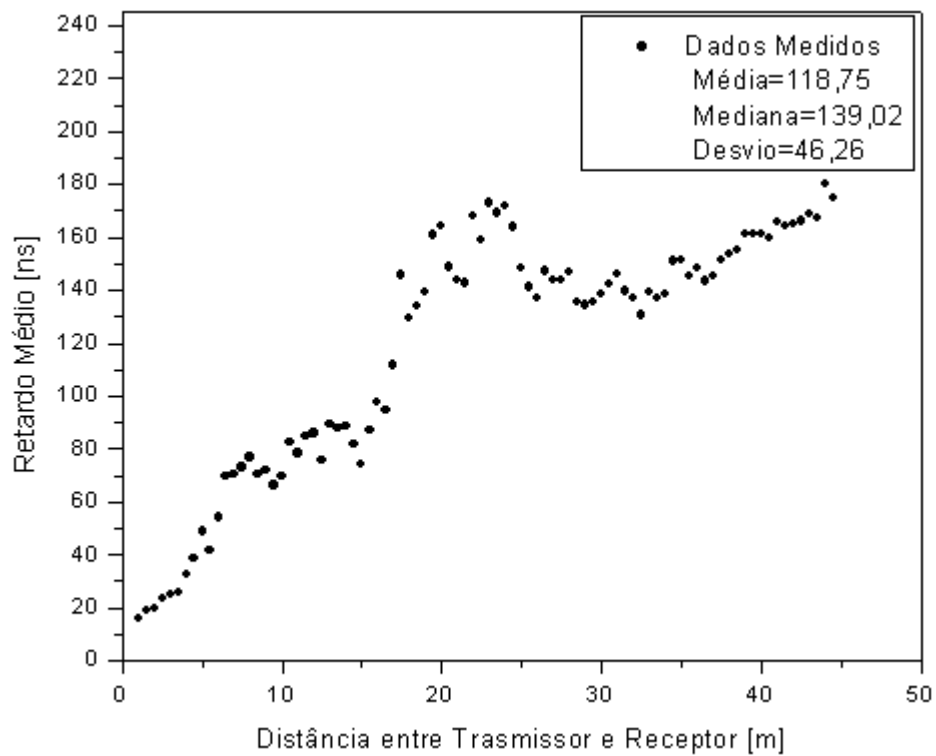


(c)

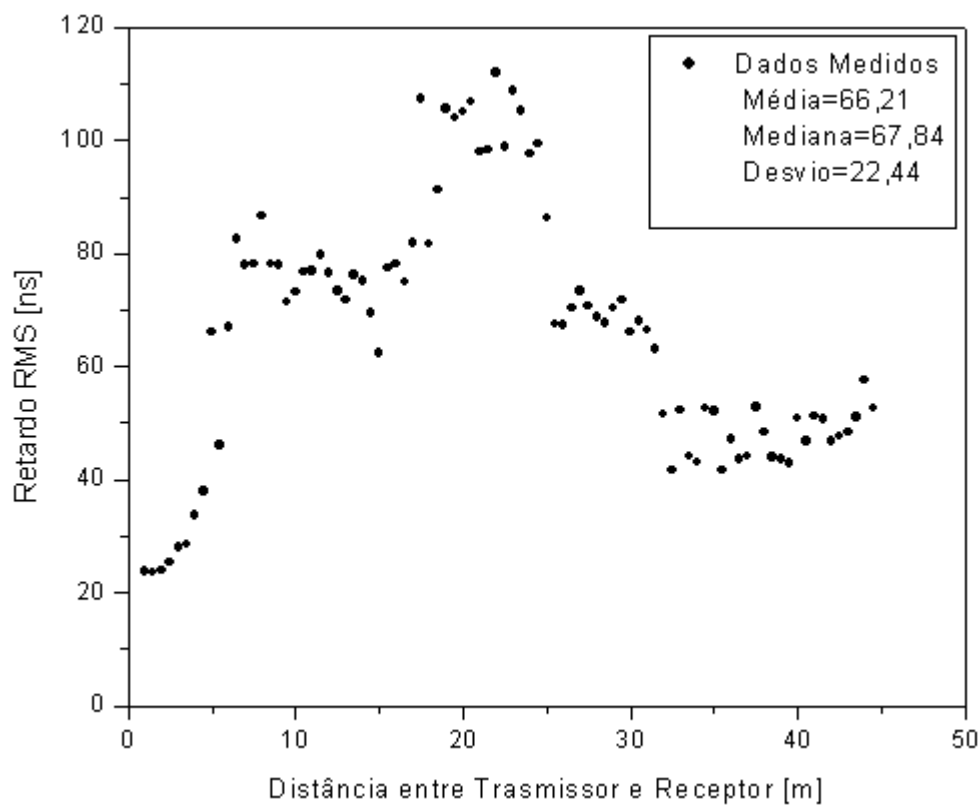


(d)

Figura 27- Parâmetros de dispersão do canal para o corredor A₁.(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

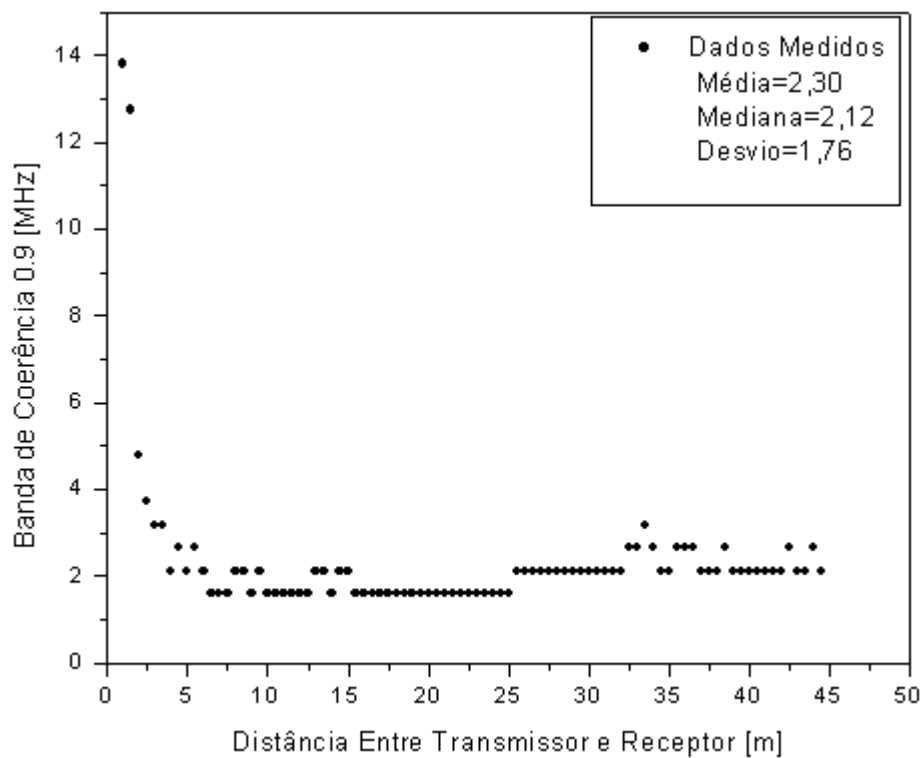


(a)

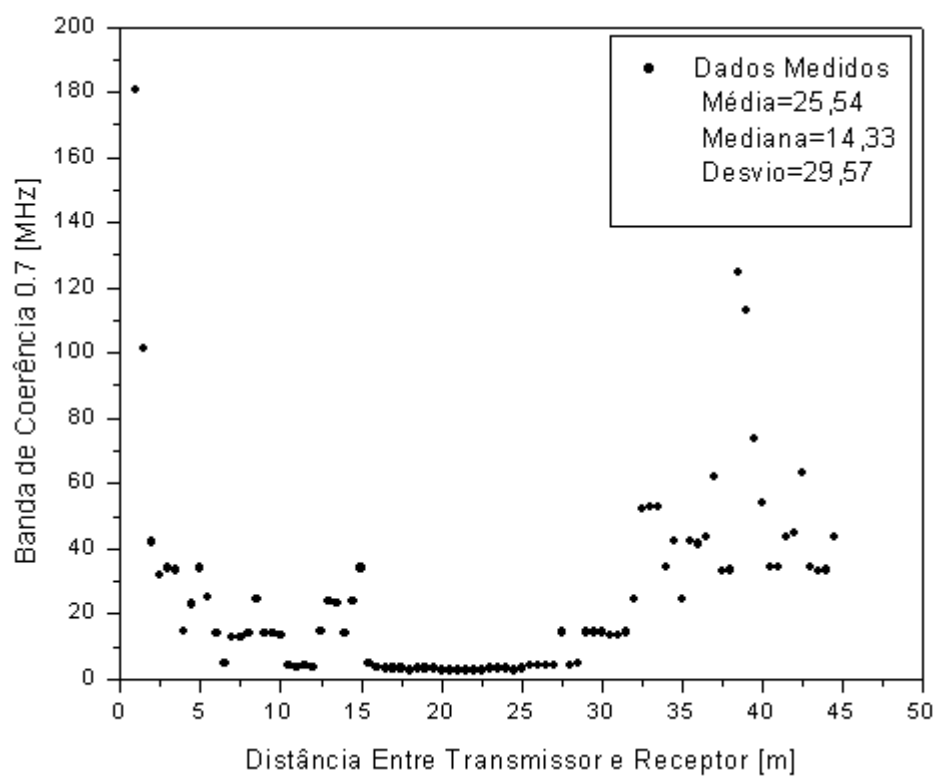


(b)

Figura 28- Parâmetros de dispersão do canal para o corredor B.(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.



(c)



(d)

Figura 28- Parâmetros de dispersão do canal para o corredor B.(a) Retardo médio.(b) Retardo RMS.(c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

8.2.2.2.

Análise do Ambiente Escritório/Laboratório

A análise dos parâmetros de dispersão em pequena escala para o ambiente escritório/laboratório foi feita para a situação de LOS no ponto local Tx_1 e para situações de NLOS nos pontos locais Tx_2 e Tx_3 (ver Figura 18). Neste ambientes, foram feitas medidas ao longo de uma distância de até 7,03 m.

Em relação ao retardo RMS, foram encontrados diferentes valores dependendo se havia ou não objetos entre o transmissor e o receptor:

- Situação de LOS: foram encontrados valores variando de 6,91ns a 15,31ns (média=10,45) dependendo do ponto espacial no grid.
- Situação de NLOS: no ponto local Tx_2 foram encontrados valores variando de 12,08ns a 25,83ns (média=18,89ns). No ponto local Tx_3 foram encontrados valores variando de 13ns a 22,84ns (média=19,02).

Na literatura, estes valores de retardo RMS estão de acordo com os encontrados em [15] para um ambiente do tipo Escritório/Laboratório, que apresenta os valores como uma média dos pontos espaciais. Esta média variou de 8ns a 12ns para as situações LOS e de 14ns a 19ns para as situações de NLOS.

Em relação aos valores de retardo médio e banda de coerência, a mesma análise feita para os valores de retardo RMS considerando as situações de LOS e NLOS pode ser feita através da observação da Figura 29, que mostra a função Distribuição cumulativa para o retardo médio, retardo RMS, banda de coerência 0.9 e 0.7.

Em situações de LOS, os valores de retardo médio e retardo RMS foram os menores em relação aos seus valores em situações de NLOS (ver figura 29 (a) e (b)) e os valores de banda de coerência maiores em relação aos seus valores em situações de NLOS (ver figura 29(c) e (d)).

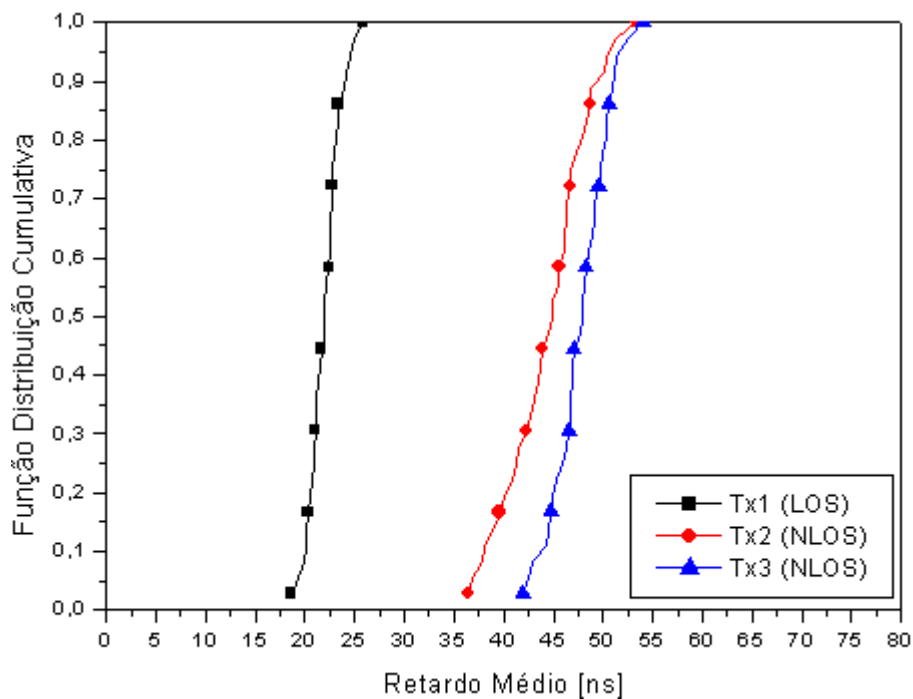
De um modo geral, uma análise sobre os dados ilustrados na Figura 28, nos remete a direta proporcionalidade entre os valores de retardo médio e retardo RMS, assim como uma relação de inversa proporcionalidade entre banda de coerência e retardo RMS. Isto pode ser constatado, por exemplo, através da

observação dos dados medidos no ponto local Tx_1 nos gráficos 29 (a), (b), (c) e (d).

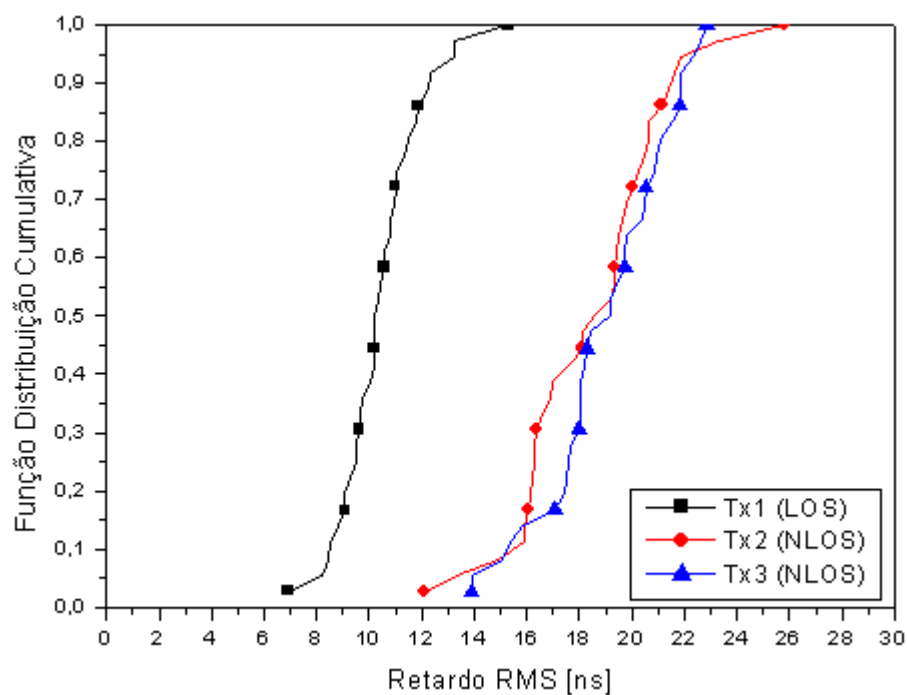
Além da figura 29, a Tabela 5 apresenta as estatísticas de pequena escala como média, mediana e desvio padrão para os parâmetros de dispersão de cada ponto local (Tx_1 , Tx_2 e Tx_3).

	Retardo Médio [ns]			Retardo RMS [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	21,99	21,94	1,60	10,45	10,29	1,60
TX2(NLOS)	44,46	44,94	4,18	18,49	18,89	2,79
TX3(NLOS)	47,78	47,95	2,82	19,02	19,20	2,37
	Banda de Coerência 0.9 [ns]			Banda de Coerência 0.7 [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	6,59	6,37	1,04	17,99	17,52	3,38
TX2(NLOS)	4,58	4,25	0,56	10,45	9,82	2,46
TX3(NLOS)	4,17	4,24	0,66	8,87	8,49	2,20

Tabela 5- Estatística de pequena escala para o ambiente do tipo Escritório/Laboratório

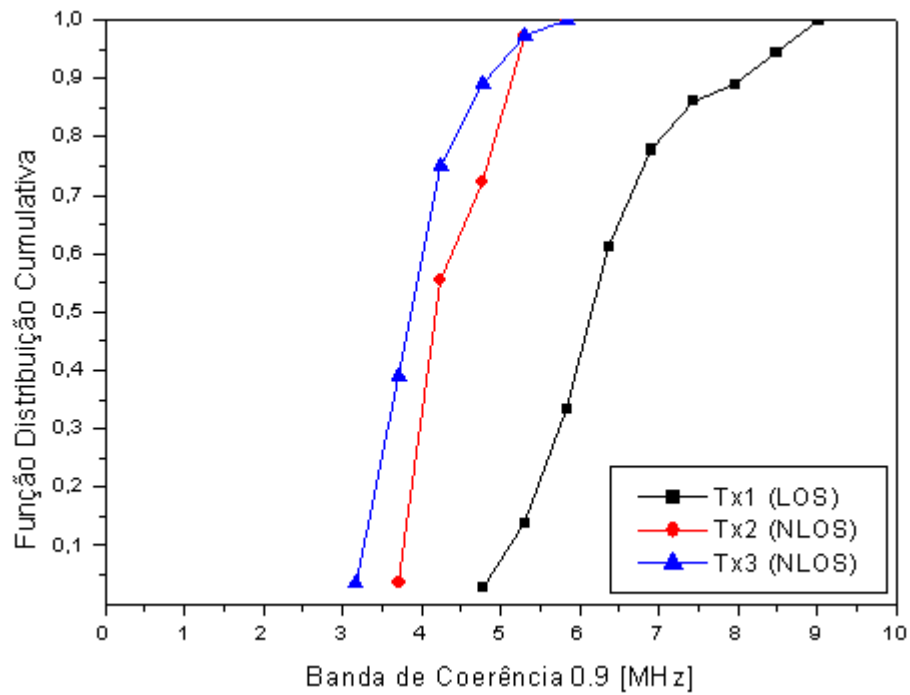


(a)

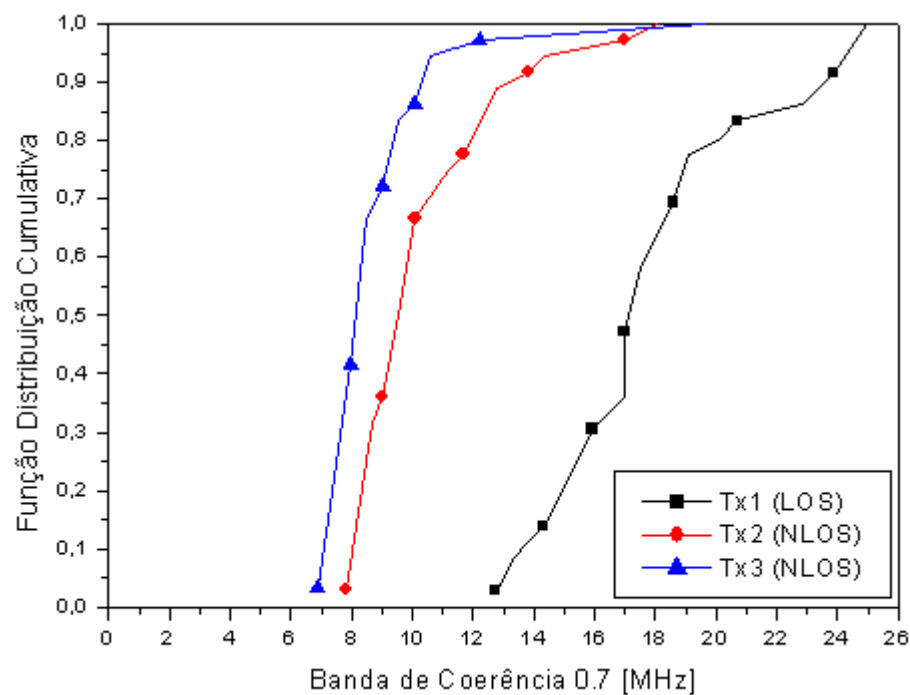


(b)

Figura 29- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente do tipo Escritório/laboratório. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.



(c)



(d)

Figura 29 - Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente do tipo Escritório/Laboratório. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

8.2.2.3. Análise do Ambiente Escritório

A análise dos parâmetros de dispersão em pequena escala para os ambientes do tipo Escritório foi feita para as situações de LOS e NLOS em dois escritórios, denominados de Escritório A (ver Figura 19) e B (ver Figura 20). Neste ambientes, foram feitas medidas ao longo de uma distância de até 5,91 m para o Escritório A e 8,94m para o Escritório B.

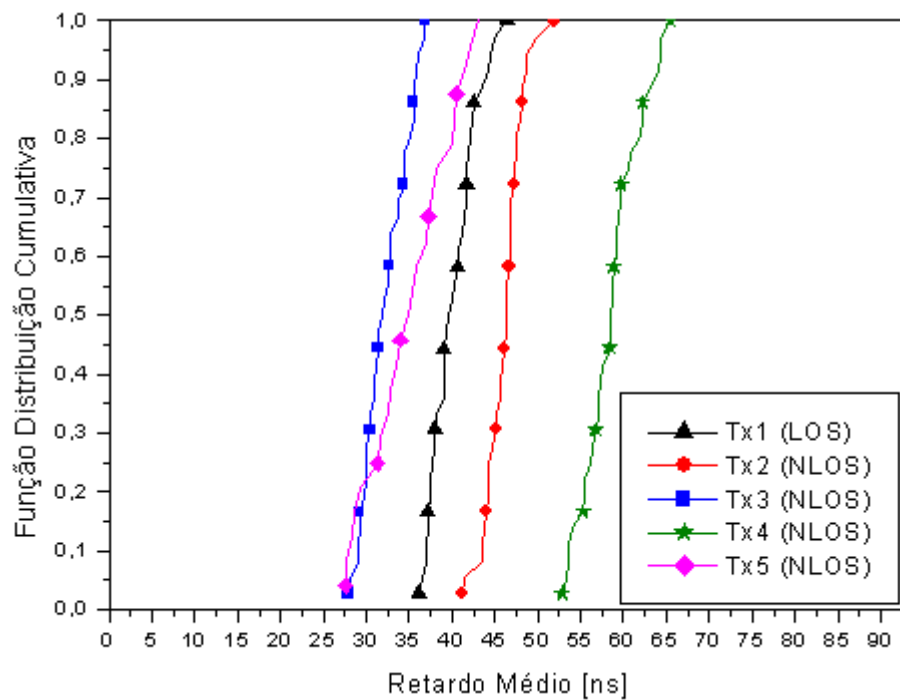
A Figura 30 e Tabela 6 mostram respectivamente a função distribuição cumulativa e estatística de pequena escala do canal para o escritório B. Os dados de dispersão do canal medidos no Escritório A são mostrados na Figura 36 e Tabela 11, localizadas no apêndice A (seção A.1).

Em relação aos ambientes do tipo escritório, os valores dos parâmetros de dispersão do canal medidos possuem características semelhantes as encontradas nos ambientes do tipo Escritório/Laboratório. As mesmas características observadas no ambiente do tipo Escritório/Laboratório como: valores maiores de banda de coerência na situação de LOS e maiores de retardo RMS na situação de NLOS, assim como a direta proporcionalidade entre retardo médio e retardo RMS e a inversa proporcionalidade entre banda de coerência e retardo médio são observadas.

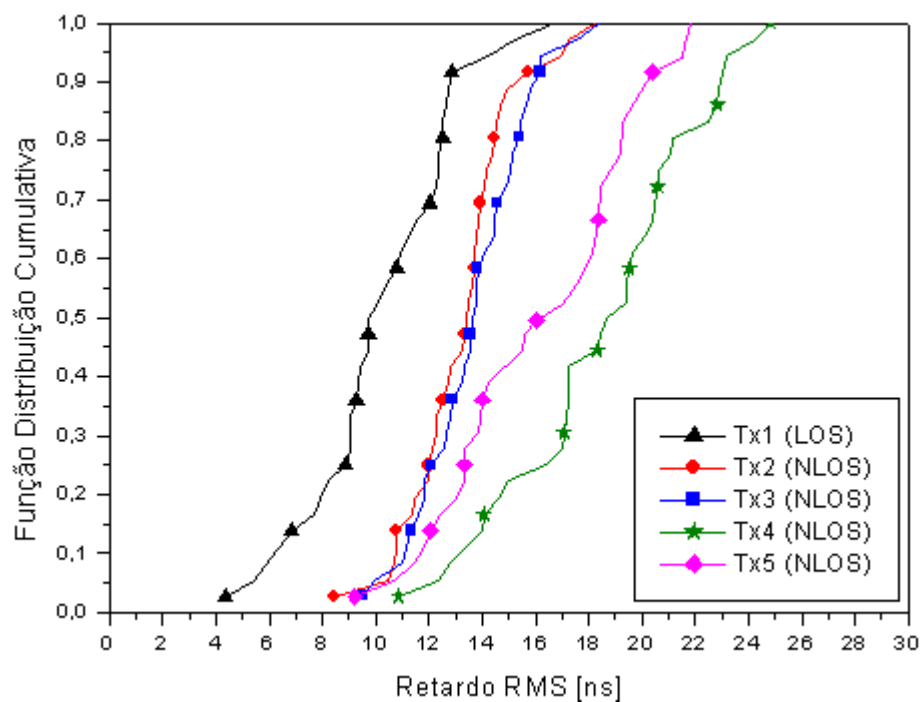
A única diferença notada entre os ambientes do tipo escritório e escritório/laboratório foram os valores menores de retardo RMS e retardo médio e os valores maiores de banda de coerência nas situações em NLOS, o que se explica pela menor presença de espalhadores no ambiente do tipo Escritório. Na situação de LOS os valores dos parâmetros de dispersão permaneceram praticamente os mesmos.

	Retardo Médio [ns]			Retardo RMS [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	40,13	32,91	2,64	10,23	9,93	2,78
TX2(NLOS)	46,13	46,38	2,18	13,27	13,46	1,97
TX3(NLOS)	32,26	31,94	2,60	13,69	13,70	2,00
TX4(NLOS)	58,60	58,58	3,37	18,543	19,05	3,55
TX5(NLOS)	35,01	35,23	4,83	15,03	13,95	3,34
	Banda de Coerência 0.9 [ns]			Banda de Coerência 0.7 [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	7,80	7,16	2,24	39,90	32,91	25,61
TX2(NLOS)	6,22	6,37	1,18	21,28	16,45	13,39
TX3(NLOS)	6,28	6,37	0,87	15,45	13,27	5,99
TX4(NLOS)	5,86	5,84	1,03	14,49	14,06	3,07
TX5(NLOS)	5,61	5,30	1,36	15,04	11,94	6,95

Tabela 6- Estatística de pequena escala para o Escritório B.

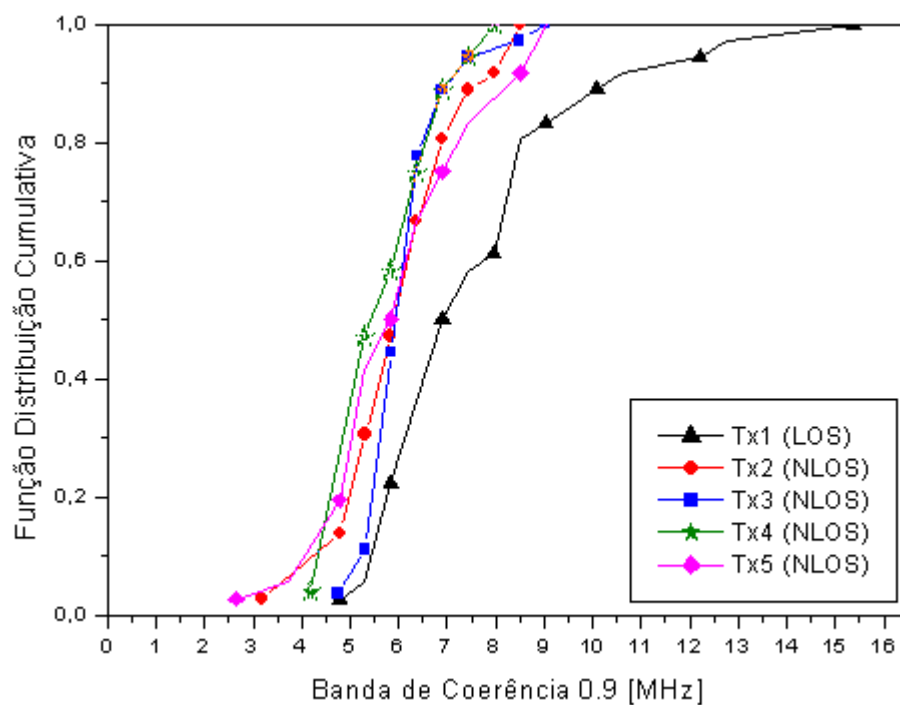


(a)

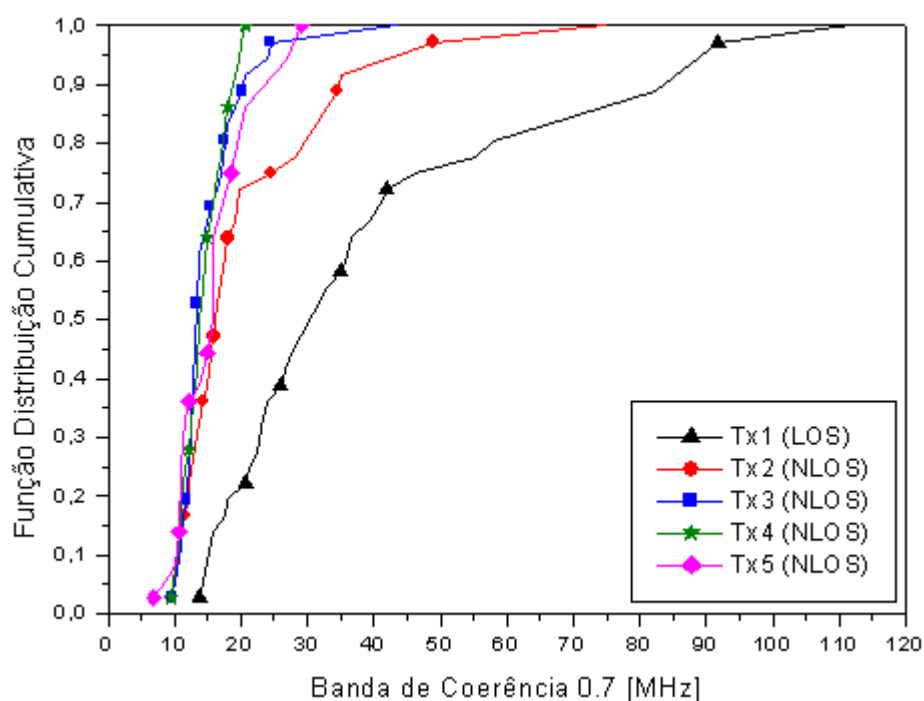


(b)

Figura 30 - Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o escritório B. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.



(c)



(d)

Figura 30- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o escritório B. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

8.2.2.4. Análise do Ambiente Biblioteca

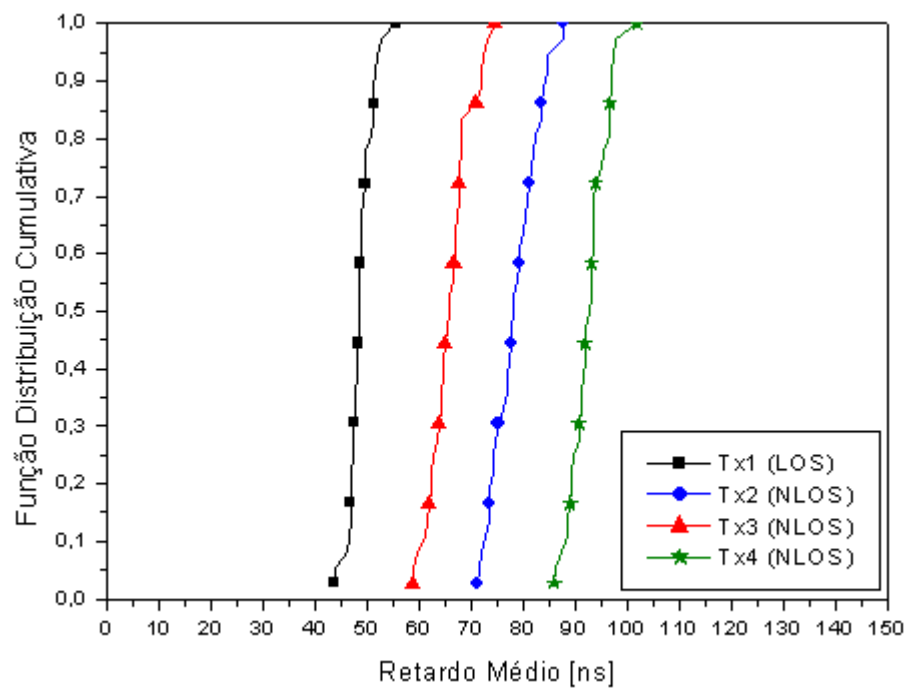
A análise dos parâmetros de dispersão em pequena escala para o ambiente do tipo Biblioteca foi feita para a situação de LOS no ponto local Tx₁ e para as situações de NLOS nos pontos locais Tx₂, Tx₃ e Tx₄ (ver Figura 21). Neste ambientes, foram feitas medidas ao longo de uma distância de até 11,12 m.

A Figura 31 e Tabela 7 mostram respectivamente a função distribuição cumulativa e estatística de pequena escala do canal para o ambiente Biblioteca.

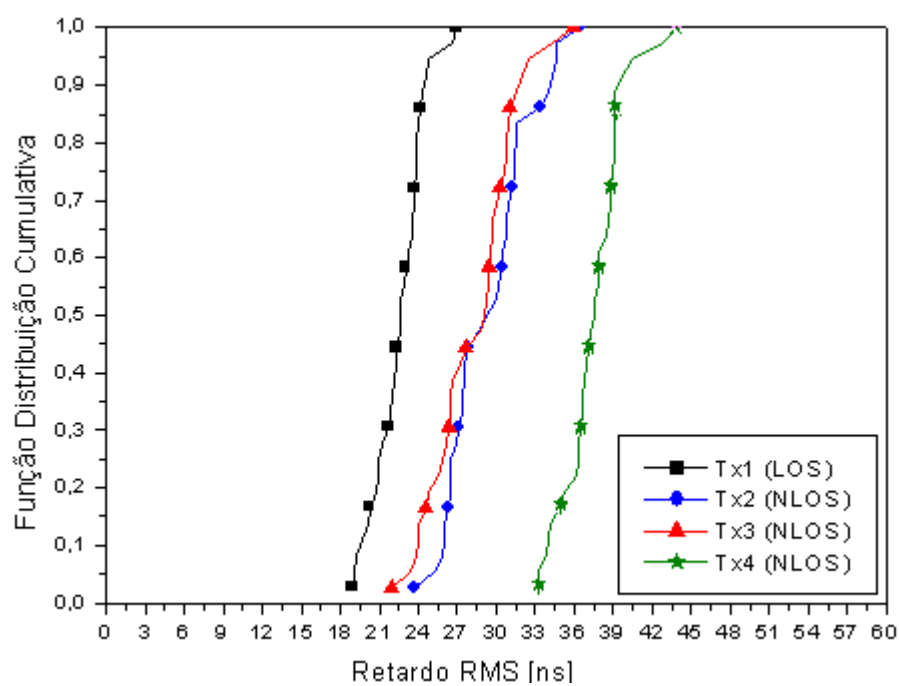
De um modo geral, a única diferença em relação as características de dispersão encontrados nos ambientes citados anteriormente está nos maiores valores de retardo médio e retardo RMS e menores valores de banda de coerência mesmo nas situações de LOS, o que é explicado pela concentração de inúmeras prateleiras metálicas de livro encontradas no ambiente.

	Retardo Médio [ns]			Retardo RMS [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	48,67	48,41	2,32	22,53	22,58	1,91
TX2(NLOS)	78,51	78,04	4,51	29,45	29,64	3,14
TX3(NLOS)	65,88	65,79	3,93	28,35	29,17	3,23
TX4(NLOS)	92,67	92,97	3,56	37,52	37,52	2,33
	Banda de Coerência 0.9 [MHz]			Banda de Coerência 0.7 [MHz]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	3,451	3,71	0,29	6,91	6,90	0,61
TX2(NLOS)	2,94	3,18	0,29	5,79	5,84	0,54
TX3(NLOS)	3,37	3,18	0,49	8,90	8,49	2,56
TX4(NLOS)	2,38	2,38	0,26	4,64	4,77	0,42

Tabela 7- Estatística de pequena escala para o ambiente Biblioteca.

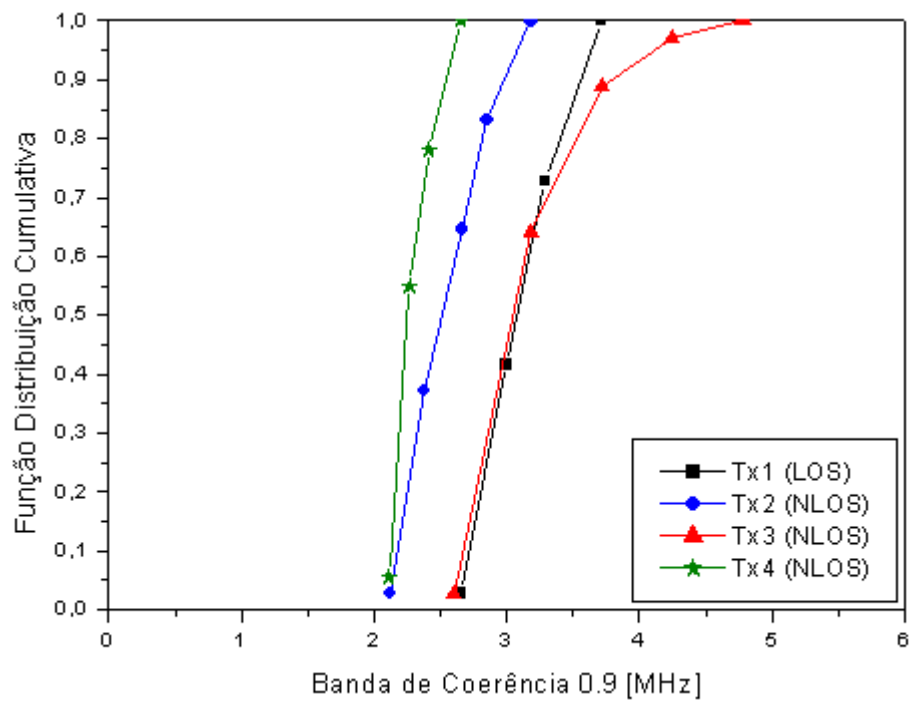


(a)

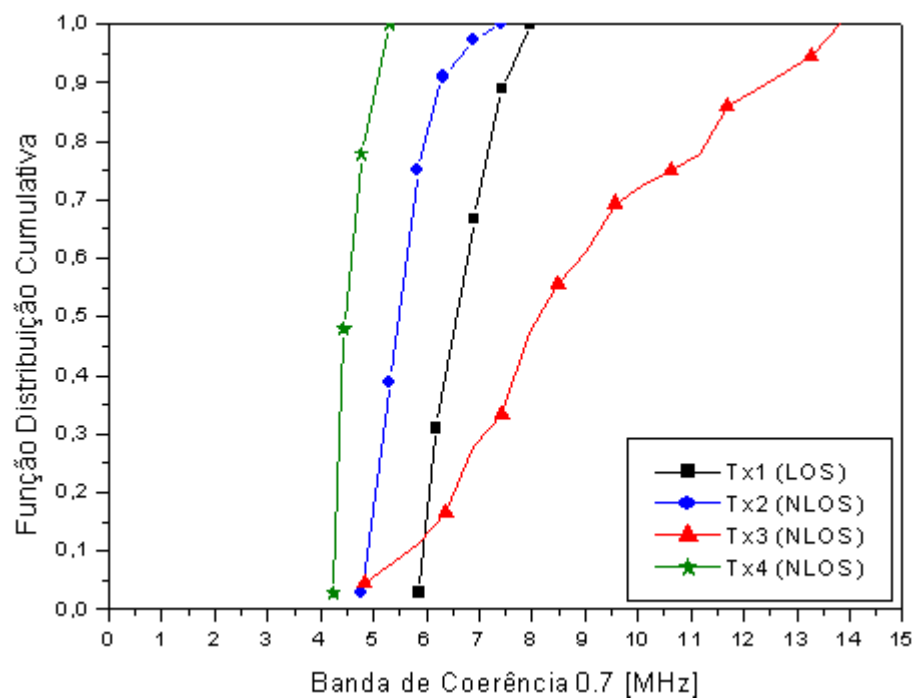


(b)

Figura 31- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.



(c)



(d)

Figura 31- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

8.2.2.5.

Análise do Ambiente Industrial

A análise dos parâmetros de dispersão em pequena escala para o ambiente do tipo industrial foi feita para a situação de LOS no ponto local Tx_1 , Tx_2 e Tx_3 e para as situações de NLOS nos pontos locais Tx_3 , Tx_4 e Tx_5 (ver Figura 22). Neste ambientes, foram feitas medidas ao longo de uma distância de até 9,15 m.

A Figura 32 e Tabela 8 mostram respectivamente a função distribuição cumulativa e estatística de pequena escala do canal para o ambiente industrial.

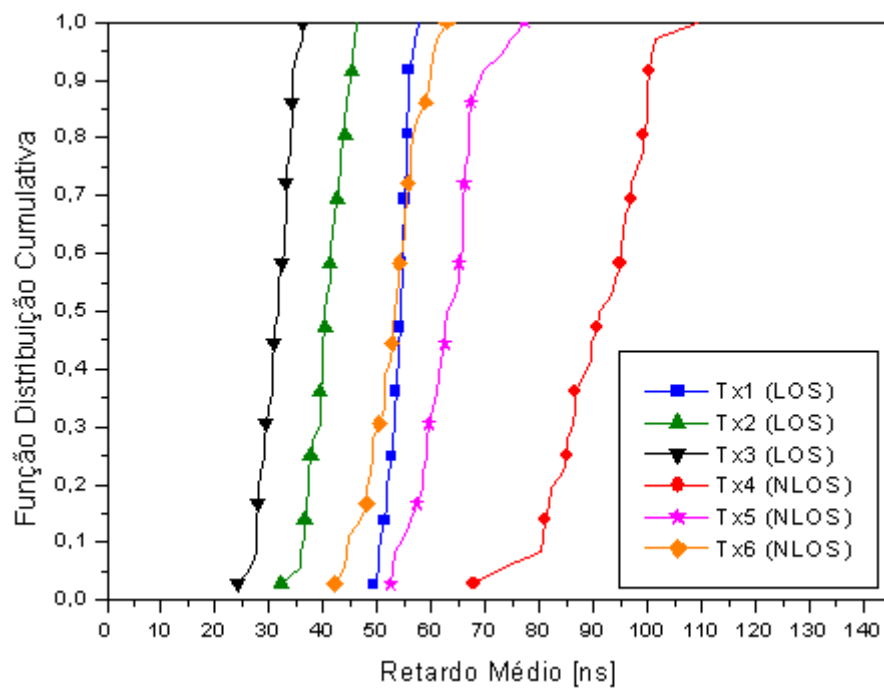
Para o ambiente industrial, os valores dos parâmetros de dispersão na situação em LOS são equivalentes aos encontrados no ambiente Biblioteca. Em relação a situação de NLOS, os valores médios dos parâmetros de dispersão são superiores aos encontrados em todos os ambientes analisados.

É interessante observar que, apesar da equivalência dos valores médios na situação de LOS, nota-se sempre uma maior variação dos valores dependendo quando do posicionamento do transmissor nas diferentes posições do grid tanto na situação de LOS ou NLOS. Esta variação pode ser notada através dos valores altos de desvio padrão mostrados na Tabela 8, em relação aos encontrados no ambiente Biblioteca e a todos os outros ambientes analisados, com exceção dos ambientes Corredores A e B (analisados em distâncias maiores que 12m).

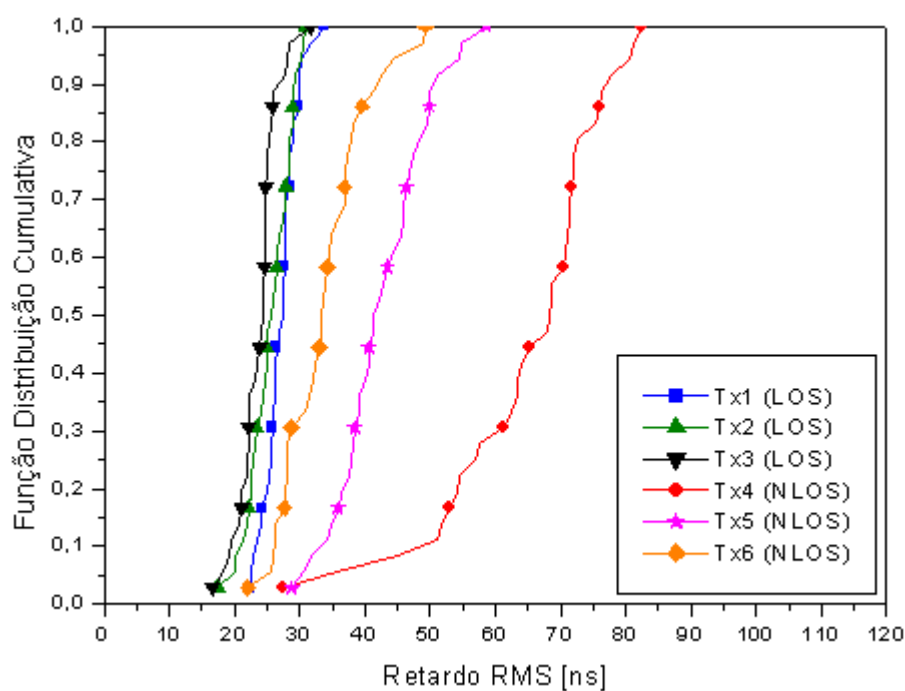
	Retardo Médio [ns]			Retardo RMS [ns]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	53,95	54,39	1,99	27,36	27,36	2,53
TX2(LOS)	40,60	40,42	3,37	25,54	25,77	3,267
TX3(LOS)	31,29	31,65	2,89	23,73	24,36	2,94
TX4(NLOS)	91,10	92,19	8,85	64,77	68,42	12,32
TX5(NLOS)	63,18	63,62	5,81	42,59	41,80	6,94
TX6(NLOS)	52,30	53,30	5,10	33,80	33,53	6,39

	Banda de Coerência 0.9 [MHz]			Banda de Coerência 0.7 [MHz]		
	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio
TX1(LOS)	3,67	3,71	0,26	16,95	14,33	6,96
TX2(LOS)	5,04	5,30	0,74	15,69	13,80	7,48
TX3(LOS)	5,86	5,84	0,77	20,58	18,84	7,39
TX4(NLOS)	1,26	1,06	0,51	4,74	5,84	2,41
TX5(NLOS)	3,61	3,71	0,89	9,64	9,82	1,52
TX6(NLOS)	3,86	3,71	0,89	9,85	10,08	1,74

Tabela 8- Estatística de pequena escala para o ambiente Industrial.

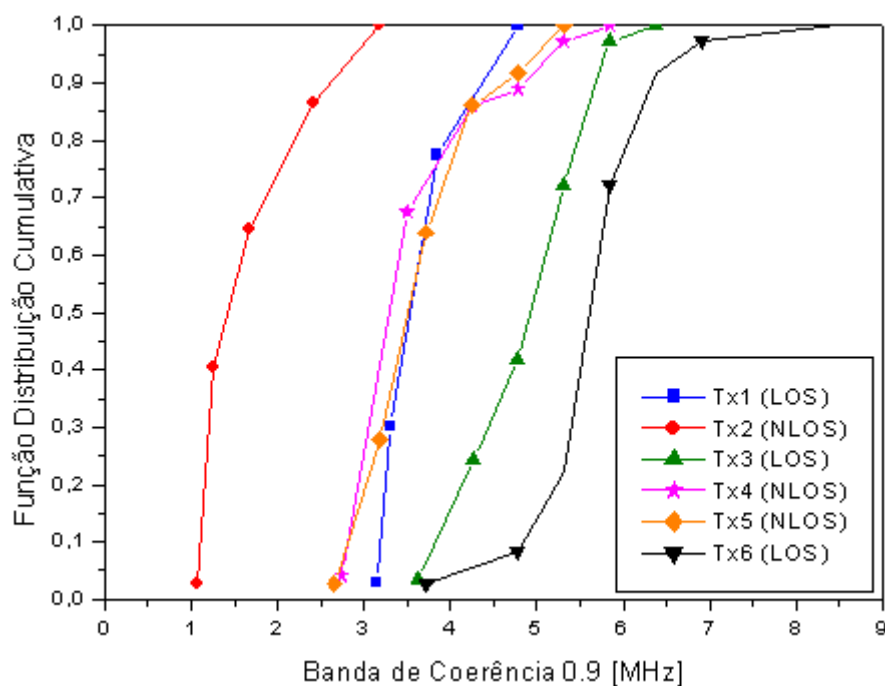


(a)

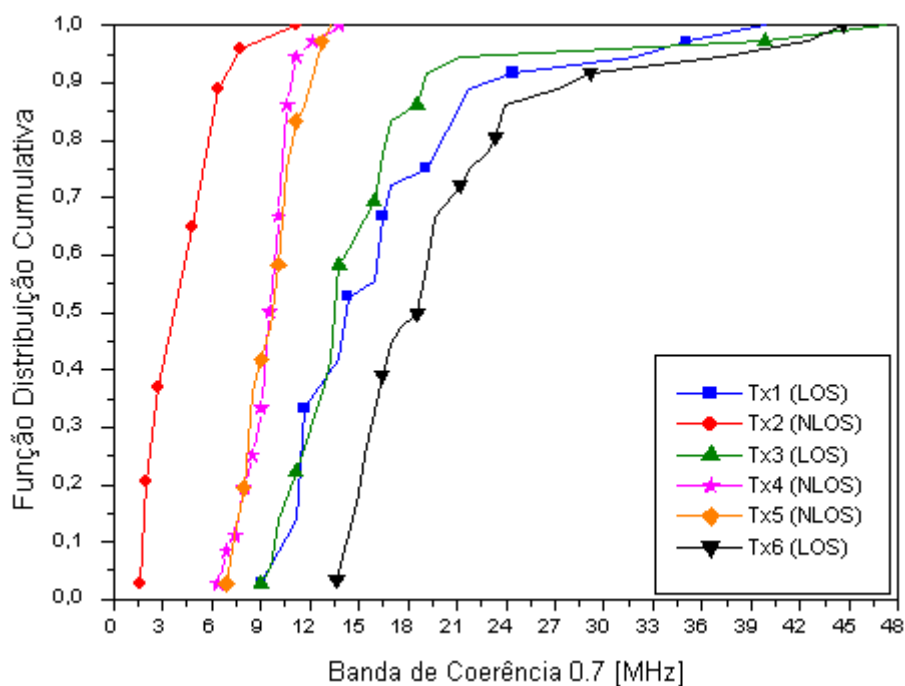


(b)

Figura 32- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.



(c)



(d)

Figura 32- Função Distribuição cumulativa para os parâmetros de dispersão para o ambiente Biblioteca. (a) Retardo médio. (b) Retardo RMS. (c) Banda de coerência 0.9. (d) Banda de coerência 0.7.

8.2.3.

Relação entre Banda de Coerência e Retardo RMS

A tentativa de caracterização da relação entre a banda de coerência e o retardo RMS já foi feita em banda larga. Em [24] e [25] análises feitas para ambiente *indoor*, a relação $B_c = C \tau_{rms}^{-\beta}$ foi usada, onde C é uma constante, β é o expoente de decaimento, B_c é a banda de coerência e τ_{rms} o retardo RMS. Porém o uso desta relação não mostrou valores de C e β com um padrão de comportamento generalizado entre os ambientes analisados, dificultando assim a tentativa de modelar a relação entre banda de coerência e retardo RMS.

Em [26] Gans propôs uma relação da forma:

$$B_c = \frac{1}{\alpha \cdot \tau_{rms}}, \quad (8.4)$$

onde α é uma constante.

Além da aplicação de (8.4) nos dados medidos, um limiar para a relação entre banda de coerência e retardo RMS [28] é também bastante utilizado. Este limiar, conhecido como limiar de Fleury, é demonstrado por:

$$B_c \geq \frac{\arccos(c)}{2\pi \cdot \tau_{rms}}, \quad (8.5)$$

onde C representa o nível da função $R_t(\Omega)$ utilizada para a definição da banda de coerência. .

Na literatura pesquisada sobre banda larga, onde houve aplicação da equação (8.4), constatou-se os mais variados valores de α , o que dificulta o seu valor ideal para a equação (8.4). Em [26] α variou de 6 à 10. Jakes [27] encontrou valores de $\alpha = 2\pi$. Em [29] valores de $\alpha = 1/0,15$ foram encontrados. Em [30] foram encontrados valores de α que variavam de pequenos valores à 10. Um estudo baseado no modelo de dois raios [31] suportou o modelo com valor de $\alpha = 6$.

Em relação a aplicação da equação (8.5) na literatura sobre banda larga, em alguns trabalhos como [25] se constatou uma grande quantidade de dados que desrespeitava o limiar de Fleury .

Estas características notadas na literatura sobre banda larga quando da aplicação das equações (8.4) e (8.5), deve-se a utilização de uma resolução limitada das técnicas de sondagem em banda larga que proporciona uma variação considerável do perfil de potência quando se move o transmissor em posições distintas em relação ao receptor, fato que proporcionou valores imprecisos de banda de coerência e retardo RMS.

Desta forma, em vista da menor resolução obtida com a sondagem em frequência do canal numa banda de 850MHz, este trabalho se propõe a utilizar as equações (8.4) e (8.5) em UWB nos dados de banda de coerência e retardo RMS obtidos nos ambientes: Escritório/Laboratório, Escritório, Biblioteca e Indústria.

Os resultados para cada ponto local do ambiente Escritório/Laboratório ,utilizando as equações (8.4) e (8.5) considerando $C = 0.7$ (banda de coerência 0.7) e $C = 0.9$ (banda de coerência 0.9) são mostradas na Figura 33. Os resultados provenientes de outros ambientes são mostrados no Apêndice A (seção A.2) nas Figuras 37, 38, 39 e 40.

Nos ambientes analisados, um melhor ajuste do limiar proposto dado pela equação (8.5), foi constatado em relação aos obtidos em banda larga [25] nas situações onde a banda de coerência era estabelecida com 70% e 90% de correlação, devido a melhor resolução proporcionada por sinais UWB. Sendo desrespeitado somente em algumas posições no grid de 6x6 analisado nos ambientes: Escritório A, Escritório B e Biblioteca (ver apêndice A, Figuras 37, 38 e 39). Nestes, os pontos que desrespeitam o limiar teoricamente proposto por Fleury [28] estão apenas um pouco abaixo da curva dada pela equação (8.5).

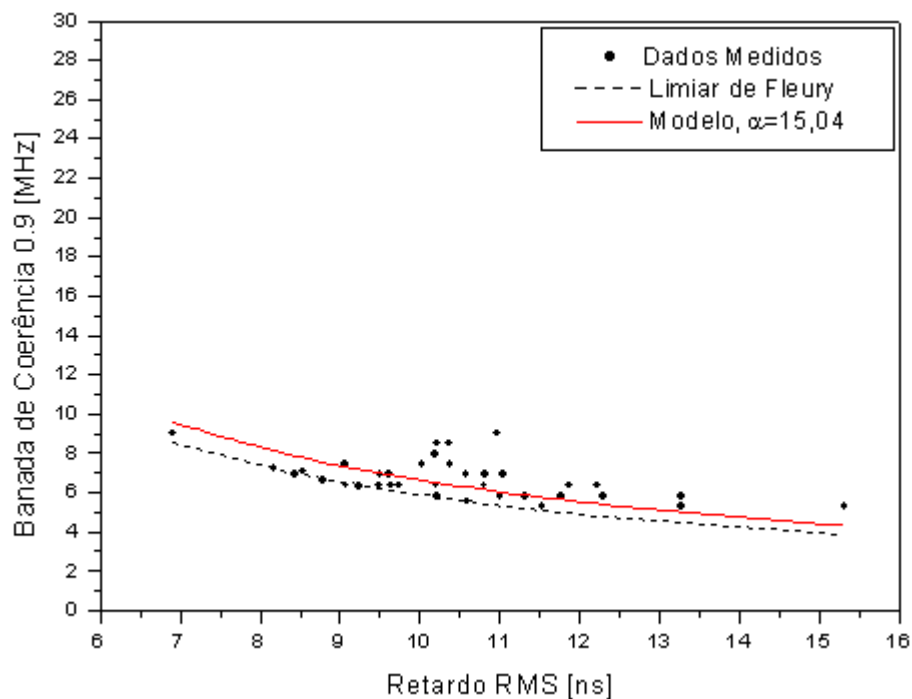
Em relação a aplicação da equação (8.4), constatou-se valores α com pequena e diferente variação nas situações de LOS e NLOS .

- Para $C = 0.9$ na situação de LOS: o menor e o maior valor de α encontrado levando se em consideração todos os ambientes foi de 12,92 e 15,04, respectivamente. Sendo a média dos valores igual a 14.

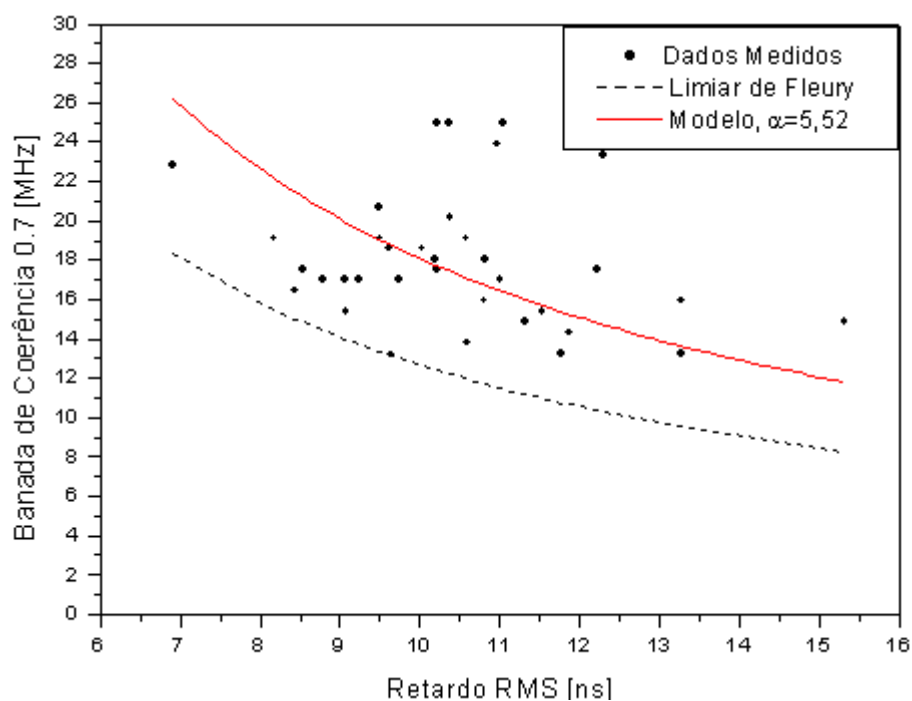
- Para $C = 0.9$ na situação de NLOS: o menor e o maior valor de α encontrado levando se em consideração todos os ambientes foi de 9,87 e 12,89, respectivamente. Sendo a média dos valores igual a 11,66.
- Para $C = 0.7$ na situação de LOS: o menor e o maior valor de α encontrado levando se em consideração todos os ambientes foi de 3,11 e 5,52, respectivamente. Sendo a média dos valores igual a 4,568
- Para $C = 0.7$ na situação de NLOS: o menor e o maior valor de α encontrado levando se em consideração todos os ambientes foi de 2,55 e 6,02 respectivamente. Sendo a média dos valores igual a 4,506.

De um modo geral, considerando a banda de coerência 0.9, constaram-se valores de α distintos nas situações de LOS ($\alpha = 14$) e NLOS ($\alpha = 11,66$). Para a banda de coerência 0.7, constaram-se valores próximos de α nas situações de LOS ($\alpha = 4,56$) e NLOS ($\alpha = 4,50$).

É importante notar que, a exata relação entre banda de coerência e retardo RMS não existe e os valores de α encontrados para a equação (8.4) neste trabalho são apenas uma melhor estimativa em relação aos valores encontrados quando se utiliza uma técnica de sondagem do canal em banda larga, que possui maior resolução em comparação as técnicas de sondagem do canal UWB.

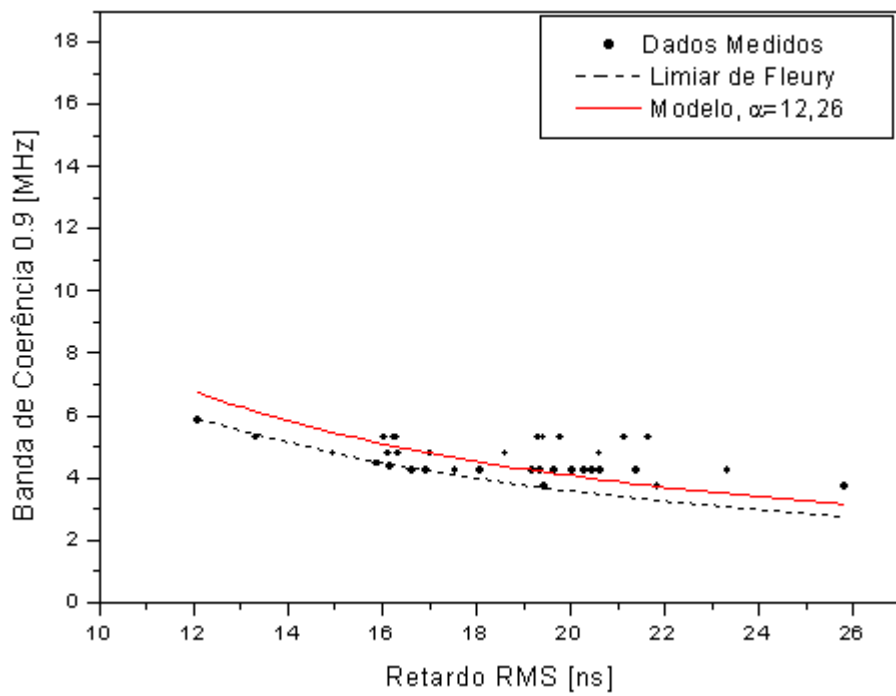


(a)

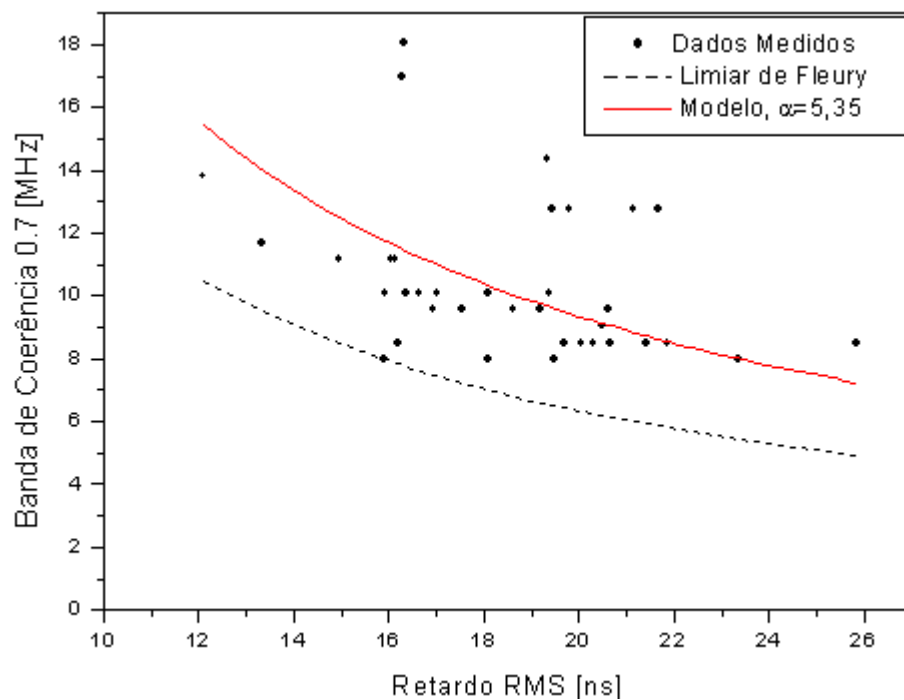


(b)

Figura 33- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório/Laboratório.(a), (b) Ponto local Tx1. (c), (d) Ponto local Tx2. (e),(f) Ponto local Tx3 .

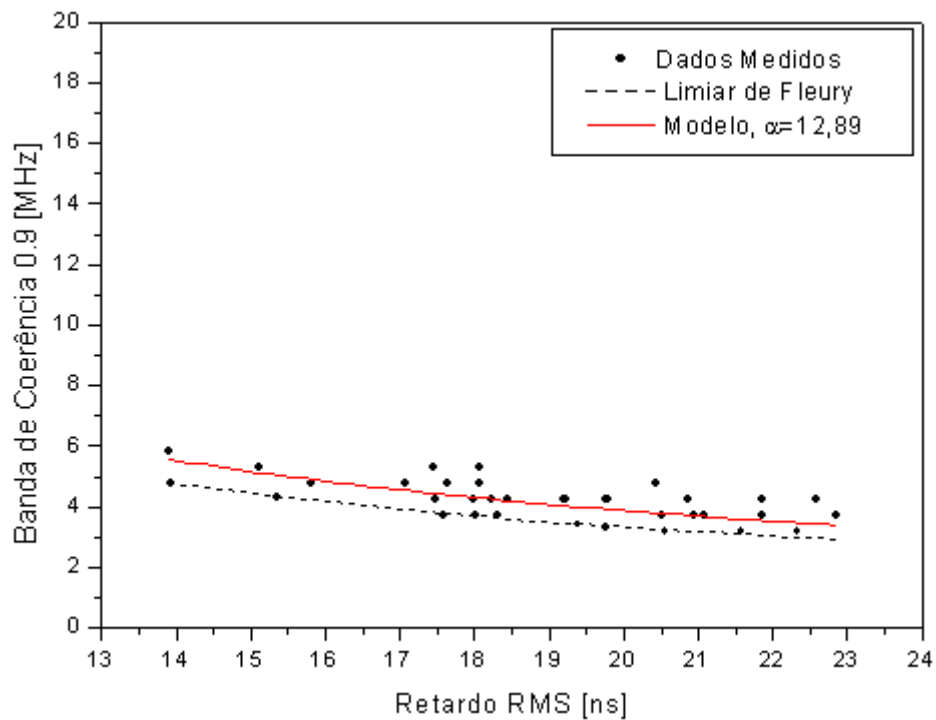


(c)

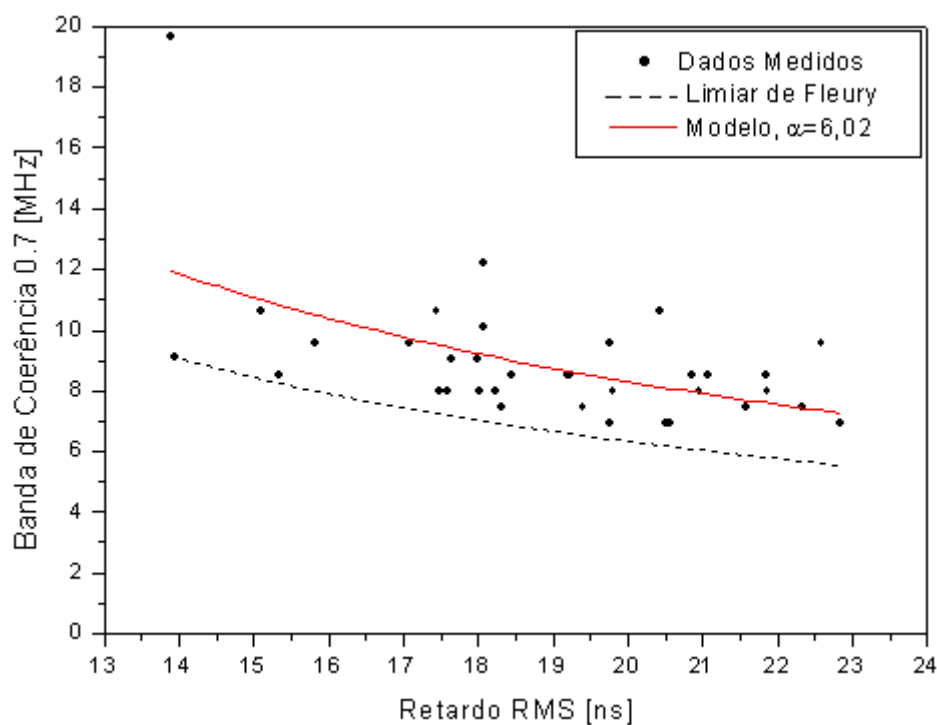


(d)

Figura 33- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório/Laboratório.(a), (b) Ponto local Tx1. (c), (d) Ponto local Tx2.(e),(f) Ponto local Tx3 .



(e)



(f)

Figura 33- Relação entre Banda de coerência e retardo RMS dada pelas equações (8.4) e (8.5) para o ambiente:Escritório/Laboratório.(a), (b) Ponto local Tx1. (c), (d) Ponto local Tx2.(e),(f) Ponto local Tx3 .