

## 6

### Obtenção e Análise de Resultados

A propagação de um sinal no canal rádio-móvel ocorre, principalmente, através de multipercursos entre transmissor e receptor. Estes multipercursos causam flutuações aleatórias na amplitude e fase do sinal que chega ao receptor e que, juntamente com os diferentes ângulos de chegada, geram o desvanecimento de multipercurso. Basicamente, o sinal está sujeito a dois tipos de desvanecimento: o de larga escala e o de pequena escala. O primeiro se manifesta através da atenuação da potência média de sinal ou perda média, no percurso, devido ao movimento do receptor sobre grandes áreas, sendo afetado pelos contornos dos terrenos, vegetação, etc... entre o transmissor e o receptor. A estatística de larga escala estima a perda média, no percurso, como função da distância, sendo tal perda descrita por uma lei de  $n$ -ésima potência, onde  $n$  depende do ambiente (tipicamente variando de 2 a 4), e uma variação com distribuição lognormal em torno da média.

O segundo tipo de desvanecimento refere-se às fortes variações na amplitude e fase do sinal, como um resultado de pequenas variações na separação espacial entre o transmissor e o receptor. Estatisticamente, a variação da envoltória recebida é, geralmente, descrita por uma função densidade de probabilidade do tipo Rayleigh, se não há visibilidade entre as antenas transmissora e receptora, ou do tipo Rice se há uma componente de raio direto entre as antenas. Tal desvanecimento se manifesta através da dispersão temporal do sinal, caracterizada pelo espalhamento de retardo e banda de coerência, e do comportamento do canal no tempo, devido ao movimento, que se traduz através da dispersão do sinal na frequência, caracterizada pelo espalhamento Doppler e tempo de coerência.

Em pequena escala, portanto, determina-se para cada resposta no domínio tempo/retardo e tempo/frequência, respectivamente, o retardo (médio e eficaz) e a banda de coerência do canal. No domínio deslocamento Doppler/retardo é possível se observar o espalhamento espectral sofrido pelo sinal devido a todos os multipercursos que chegam na receptora, num mesmo retardo. No domínio

Doppler/freqüência pode-se determinar tanto o deslocamento quanto o espalhamento Doppler. Reportando-se à Figura 5, a mesma é aqui mostrada, na Figura 44, com exemplo das funções nos quatro domínios de forma a tornar mais claras as definições.

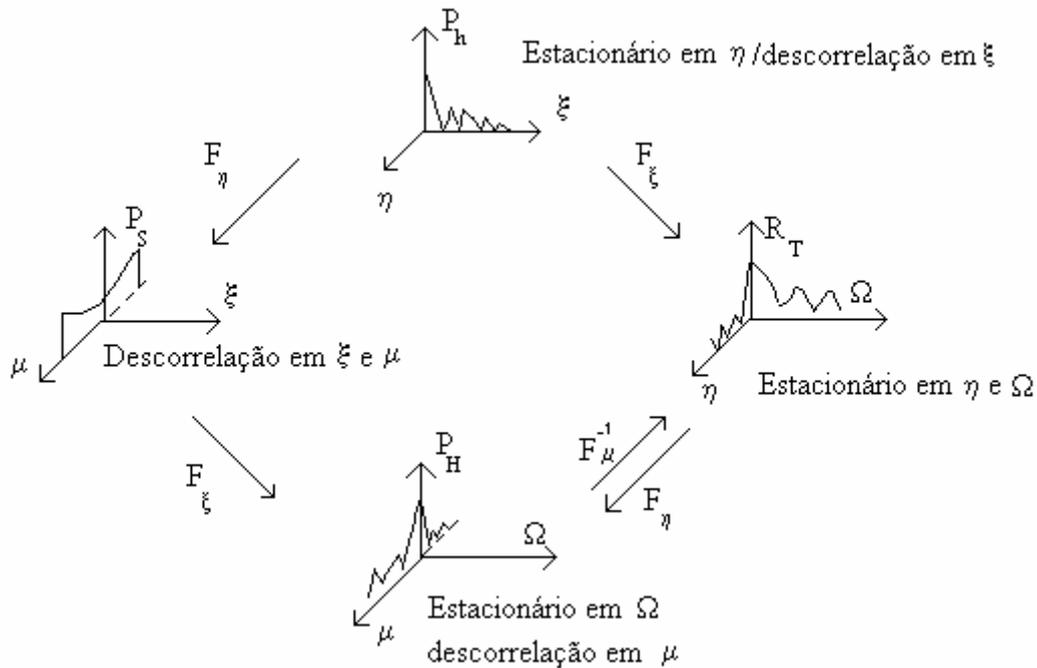


Figura 44 – Características das Funções de Correlação do Canal WSSUS

O procedimento, então empregado, é o seguinte: dos perfis de retardo medidos,  $P_h(\eta, \xi)$ , determina-se o retardo médio ( $d$ ) e o espalhamento de retardo ( $\sigma_T$ ). Filtrando-se tais perfis com uma janela de Kaiser, já citada no Capítulo 4, e calculando-se a transformada nos retardos, obtém-se a autocorrelação na freqüência,  $R_T(\Omega)$ , que permite a determinação direta da banda de coerência do canal ( $B_C$ ). Por outro lado, ao se aplicar a janela e transformar, no tempo, os perfis de retardo complexos, obtém-se os perfis  $P_s(\mu, \xi)$  de deslocamento Doppler x retardos. Novamente empregando-se uma janela nesses perfis obtidos e determinando-se a transformada nos retardos, obtém-se  $P_H(\mu, \Omega)$  no domínio Doppler/ freqüência ou, simplesmente, perfis de Doppler. Destes, determina-se os parâmetros de Doppler de dispersão na freqüência, ou seja, deslocamento Doppler médio ( $f_D$ ) e espalhamento Doppler ( $\sigma_D$ ). Após a filtragem de tais perfis obtidos com a janela citada, calcula-se a transformada inversa de Fourier nos

deslocamentos Doppler, a fim de se obter a função autocorrelação no tempo  $R_T(\eta)$ , que permite a determinação do tempo de coerência ( $T_C$ ) do canal. Ressalta-se que a contaminação dos perfis pelo ruído do sistema associado àquele inerente à autocorrelação, e ainda a realização de três transformações de Fourier, vão acarretar num tempo de coerência não exato, mas possibilitarão o conhecimento da sua ordem de grandeza nos ambientes vegetados.

O objetivo deste capítulo é, de posse dos resultados obtidos com a programação dos dados coletados nas medidas realizadas nos dois ambientes, PUC/RJ e Jardim Botânico do Rio de Janeiro, analisar o comportamento do canal tanto em larga escala quanto em pequena escala e, neste caso, tratar tanto o espalhamento temporal quanto na frequência através dos parâmetros, então determinados. Comparações e conclusões poderão, então, ser delineadas.

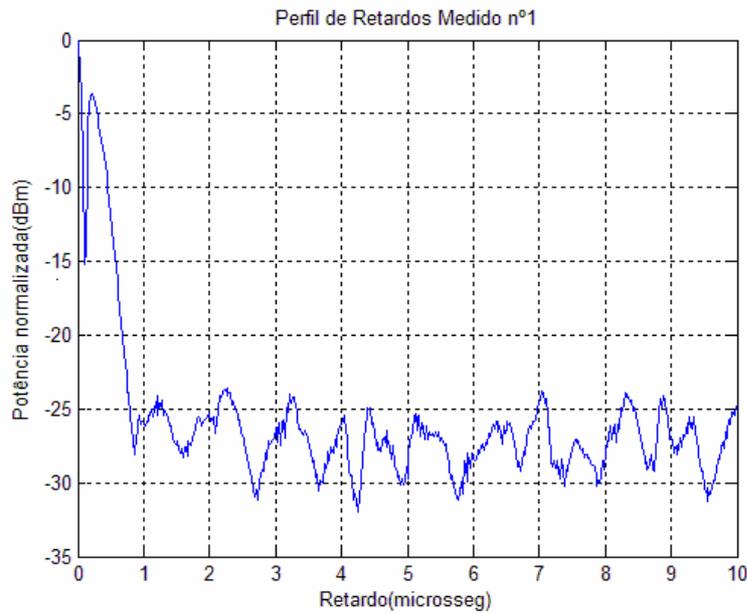
## 6.1

### Análise em Pequena Escala

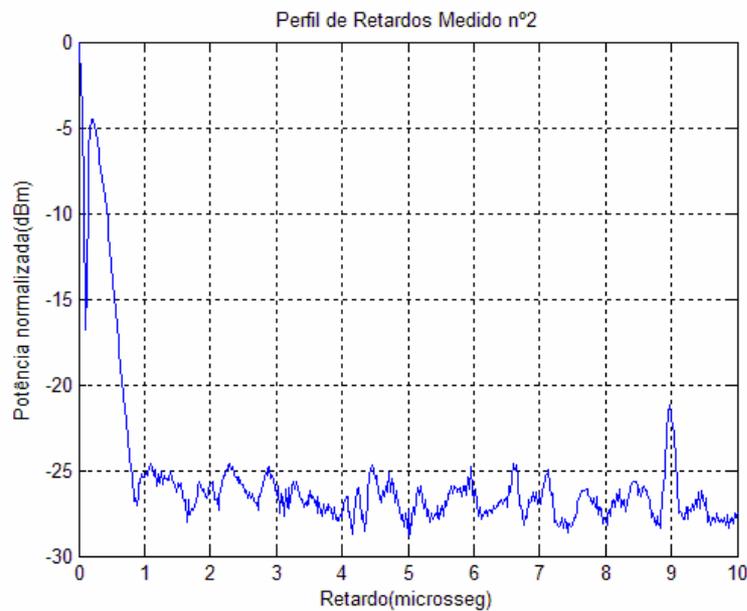
Em pequenas distâncias, tais como alguns comprimentos de onda, pode-se observar que os perfis de retardos de potência medidos são praticamente iguais, portanto, de médias muito próximas. Se a autocorrelação de tais perfis entre dois instantes de tempo é função apenas do intervalo e não dos instantes em si, pode-se dizer que se trata de um processo praticamente estacionário no sentido amplo. Isto é o que ocorre com os perfis de retardos medidos ao longo de curtos trechos, o que leva a se determinar o perfil médio nos mesmos, reduzindo o grande número de perfis obtidos em cada rota. Assim, após a observação dos mesmos em cada rota medida, chega-se a um conjunto menor de perfis e, se a média desses perfis for próxima das médias individuais pode-se afirmar, como o fez Cox [16], que os perfis são amostras de um processo aleatório, com boas condições de estacionariedade no sentido amplo, e que o perfil médio descreve o processo.

Ao se trabalhar com os perfis medidos para a determinação dos parâmetros do canal rádio-móvel, procurou-se avaliar a estacionariedade do processo, rota a rota, perfil a perfil, determinando-se os parâmetros com suas médias, medianas e desvios padrões, por trechos da rota. Nestes trechos, em geral, o desvio padrão era pequeno e pode-se afirmar que os perfis nos mesmos são amostras de um processo aleatório com boas condições de estacionariedade .

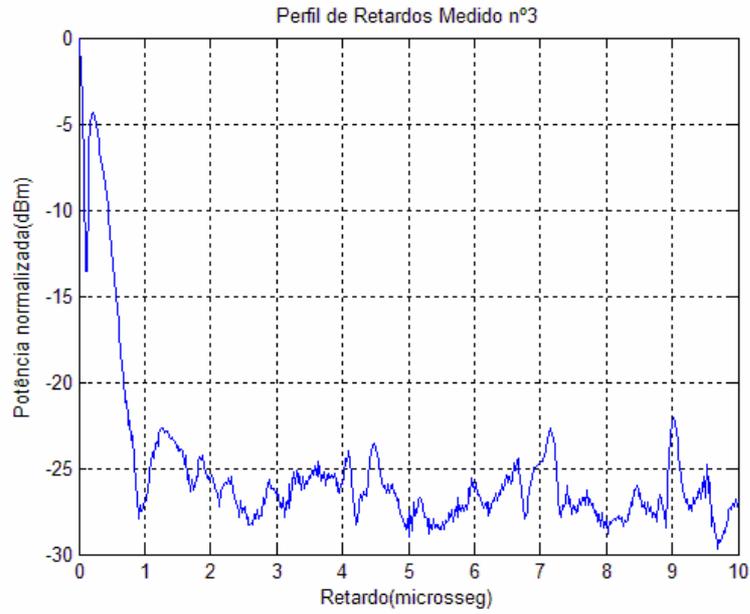
A Figura 45 exemplifica tal situação com a rota JB1A do JB/RJ, mostrando os 5 primeiros perfis médios da mesma, cada qual obtido como a média de 10 perfis e, então, a Figura 45(f) mostra a média obtida no trecho A da rota.



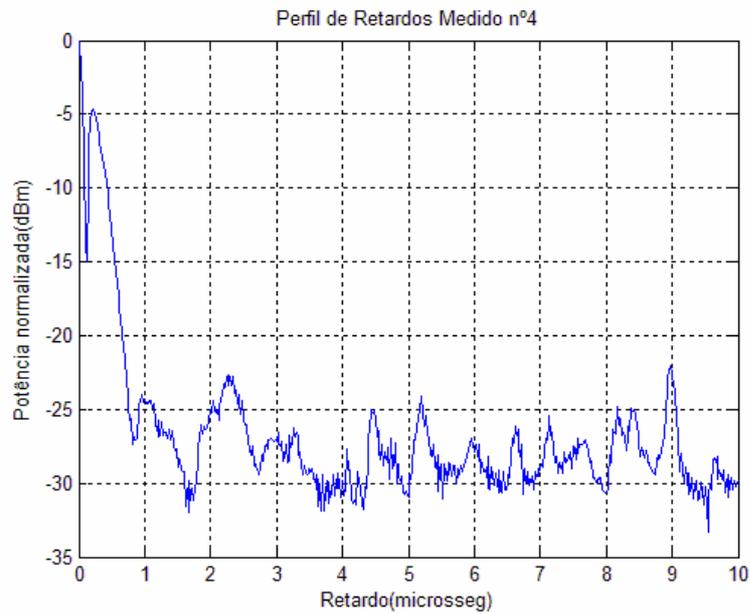
(a)



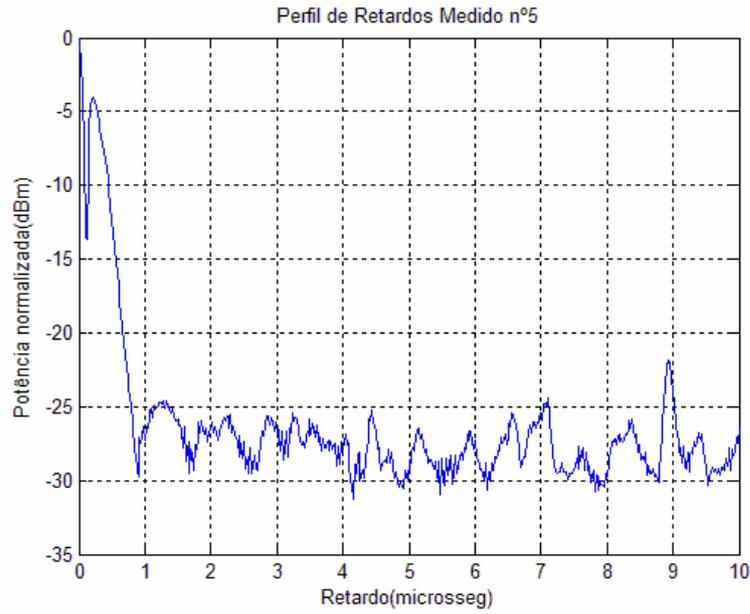
(b)



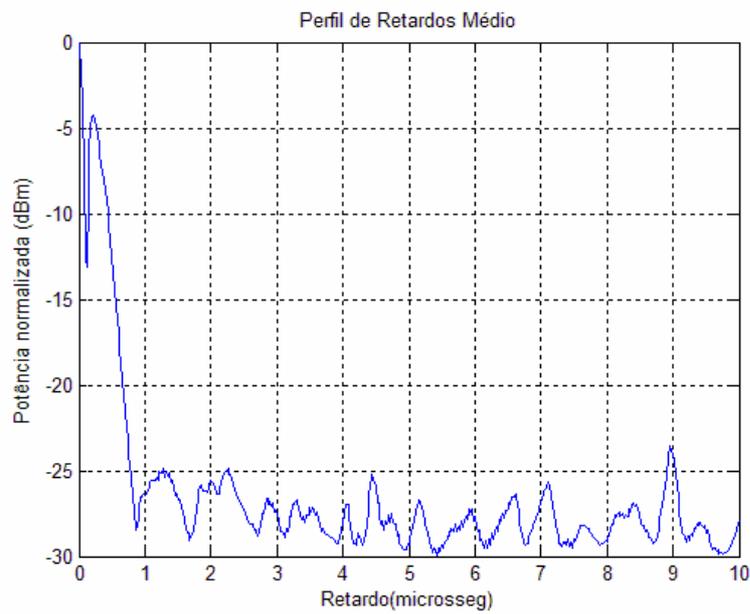
( c )



( d )



( e )



( f )

Figura 45 - Perfis na Rota JB1A:

- (a) Média dos Perfis 1 a 10;
- (b) Média dos Perfis 11 a 20;
- (c) Média dos Perfis 21 a 30;
- (d) Média dos Perfis 31 a 40;
- (e) Média dos Perfis 41 a 50;
- (f) Média dos Perfis na JB1A.

### 6.1.1

#### Análise da Dispersão de Sinal no Tempo

De posse dos perfis medidos e seguindo o procedimento do teste da estacionariedade citado, determinou-se o espalhamento de retardo em cada sub-rotas, conforme explicado no item 4.2 do capítulo 4. Por transformada simples de Fourier dos perfis  $P_h$  medidos, no domínio dos retardos, determinou-se a resposta  $R_T(\Omega)$  do canal na frequência, ao longo do tempo, da qual a banda de coerência pode ser determinada segundo a equação 4.4. Antes, porém, de tabelar e analisar os resultados obtidos para tais parâmetros de dispersão no tempo, alguns pontos ainda precisam ser esclarecidos, e são comentados a seguir.

É importante notar que, como a sonda não é capaz de distinguir multipercursos além de 10 microssegundos, devido ao ruído presente nos perfis, os parâmetros citados foram determinados nos perfis reduzidos, eliminando-se o restante dos mesmos juntamente com o ruído associado. A Figura 46 mostra um perfil obtido na sub-rotas JB3C, com a mediana e o limiar traçados, este a 13,87 dB acima do ruído térmico, conforme citado na seção 4.2.

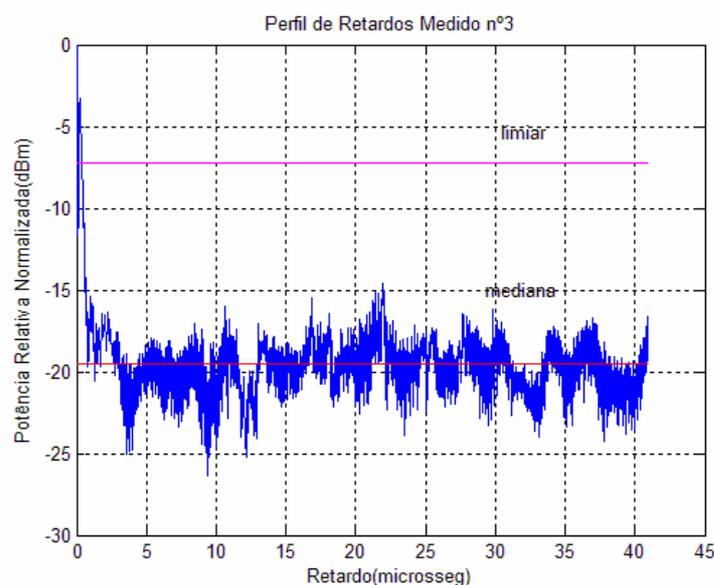


Figura 46 – Perfil de Retardos da Rota JB3C

Ao se reduzir o perfil, o limiar pode ser menor, pois muitos picos de ruído impulsivo e de ruído do sistema foram eliminados. Devido à estacionariedade, foi possível trabalhar com a média de 10 perfis, o que também já elimina parte do ruído. Assim sendo, o limiar de ruído empregado na limpeza de ruído dos perfis, já reduzidos para 10  $\mu$ s, foi igual a 8 dB acima do ruído térmico, em geral, valor este que permitiu levar em conta os multipercursos, mas não o ruído, no cálculo dos parâmetros. Em rotas com amplitudes mais baixas de perfis o valor de 6 dB era mais adequado, de forma que o patamar de ruído não excedesse a máxima amplitude do perfil, acarretando falsamente em espalhamento de retardo nulo, consequentemente em banda de coerência infinita.

A Figura 47 mostra o perfil de retardos reduzido, relativo à rota JB3C e mostrado na Figura 46, destacando a mediana e o patamar de ruído, 8 dB acima do ruído térmico.

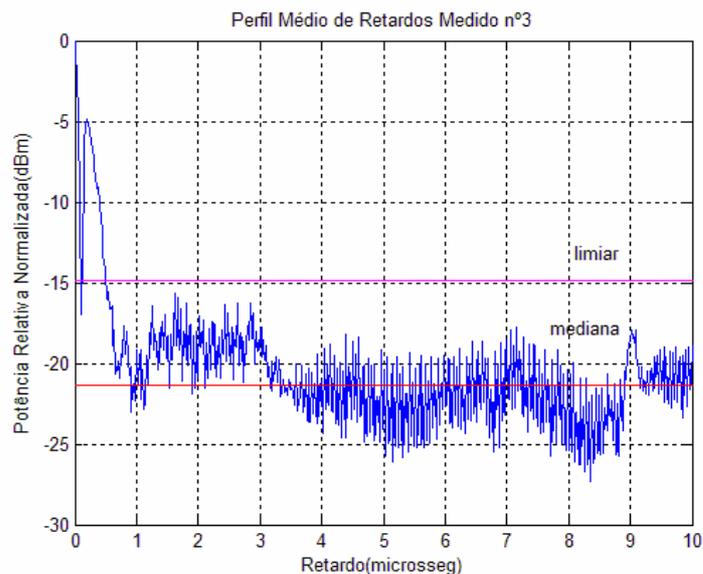


Figura 47 – Perfil de Retardos Reduzido da Rota JB3C

As rotas, em geral, foram medidas na velocidade de 5 km/h. Tanto na PUC/RJ quanto no Jardim Botânico/RJ, também foi empregada a velocidade de 15 km/h e, nesse caso, as rotas foram chamadas de **PUC(N<sup>o</sup>)V** e **JB(N<sup>o</sup>)V**, respectivamente. Velocidades maiores não puderam ser testadas em tais ambientes devido à limitação de velocidade nos mesmos.

Observa-se que algumas rotas foram divididas em 2 ou 3 sub-rotas, pois a estacionariedade não se manteve em toda sua extensão, mas sim nas sub-rotas, contudo nas rotas PUC2, PUC3, PUC2V e PUC3V não foi possível tirar uma média, mesmo com a subdivisão das mesmas, pois a variação dos parâmetros era grande de um perfil a outro em toda sua extensão, conduzindo a um percentual de desvio maior que 100% da média. Valores elevados para o retardo eficaz eram esperados, visto que havia muito espalhamento de sinal: na vegetação, principalmente, na rota 2 e no prédio Cardeal Leme, na rota 3. Neste último, nos andares mais altos, os campos incidiam em visada direta da antena transmissora e refletiam para o ponto receptor móvel.

A fim de se analisar os resultados obtidos com o processamento dos dados, é necessário que se classifique as rotas de forma a se poder comparar os parâmetros obtidos nos diferentes grupos. Assim, o grupo 1 constará das rotas radiais que têm visada direta (só no JB); o grupo 2, daquelas que apresentam parte em visada e parte sem visada (só na PUC), sendo chamadas de rotas mistas; o grupo 3 será formado por rotas dentro da vegetação, não radiais, e o grupo 4 constará das rotas em velocidade. Também serão analisadas separadamente as rotas da PUC/RJ e as do JB/RJ, pois no primeiro ambiente tem-se vegetação, mesclada às construções, atuando como espalhadores, enquanto no segundo tem-se, principalmente, a vegetação como espalhador.

Quanto aos parâmetros, nem sempre puderam ser determinados ao longo de todos os trechos das rotas visto que, em alguns deles, as baixas amplitudes de perfis confundiam-se com o ruído, já que o alcance da sonda era limitado, não sendo possível realizar medições na vegetação, em geral, além de 240 m, a menos que alguma rota em visada cruzasse a mesma. Assim, traça-se antes da análise dos resultados, um quadro dessa situação:

- Na rota JB2, só existem picos mais fortes no início da mesma, até 17 dB acima do nível de ruído, pois há algum campo chegando da rota 1, que é difratado e/ou refletido, mas que vai caindo à medida que se adentra na rota. O campo que viria diretamente, sombreado pela vegetação, a partir de 4,5 m do início da rota já fica muito fraco, ficando difícil separá-lo do ruído para a determinação dos parâmetros. Assim sendo, só foi possível

considerar os 70 perfis iniciais, de forma que os resultados não fossem afetados pelas baixas amplitudes dos perfis restantes.

- Na rota JB4, partindo do transmissor, os perfis considerados foram aqueles até 250 m (até a rótula maior, conforme Figura 25), nos trechos A, B e C, a fim de poder comparar os resultados com a rota em velocidade, que foi medida deste ponto ao transmissor.
- Na rota JB4V, iniciando longe do transmissor (partindo da rótula maior), os valores iniciais das amplitudes dos perfis estavam próximos do nível de ruído e foram desprezados, sendo consideradas apenas as duas sub-rotas: JB4VA e JB4VB, num total de 238,54 m.
- A rota JB5, toda ela situada numa distância além de 268 m do transmissor, dentro da vegetação, apresenta picos de perfil acima do ruído em metade da rota. Nessa rota apenas foram tomados os 2 trechos iniciais, JB5A e JB5B, num total de 148 m, sendo desprezado o restante da rota.
- A rota JB6 apresenta fortes picos, da ordem de 22 dB acima do ruído, quando o receptor se aproxima da interseção com a rota 3, que tem visada direta, como pode ser visto no mapa da Figura 27. No trecho final não foi possível separar o ruído do sinal, pois a distância era acima de 240 m e a vegetação densa. Apenas trabalhou-se com dois trechos, JB6A e JB6B, totalizando 155 m da rota.
- A rota JB7, tendo distâncias entre transmissor e receptor que variam entre 92 m e 276 m, na vegetação, apresenta sinal até uma distância ao transmissor, aproximada de 132 m, pois a partir daí o mesmo já chega muito próximo do ruído, grandemente atenuado pela vegetação. Assim, apenas tomou-se as 2 sub-rotas iniciais, JB7A e JB7B, numa extensão de 115m.

Feitos os devidos comentários, foram montadas as Tabelas 1 e 2, para cada sub-rota de medição na PUC/RJ e JB/RJ, respectivamente, onde são dadas a média, mediana e desvio padrão dos parâmetros calculados. Vale observar que o retardo médio de cada resposta impulsiva é relativo ao retardo do ponto inicial, em geral o de máximo valor, e que a banda de coerência a 90% foi determinada, correspondendo à banda onde existe uma correlação acima de 90% entre as

amplitudes espectrais do sinal recebidas no canal.

O que se observa, nas tabelas, é que nas rotas mistas PUC1 e PUC6A, a vegetação mais densa, somada às construções, contribuiu com maior espalhamento de retardos do que a vegetação rala e construções, acarretando num tempo médio de resposta maior e, conseqüentemente, numa menor banda de coerência do canal. O menor retardo eficaz ocorreu no trecho mais aberto da rota PUC6, ou seja, PUC6B, com alguma visada. Quando, porém, tais rotas foram percorridas com maior velocidade, a situação mostrou-se invertida: o espalhamento mostrou-se mais forte na sub-rota PUC6VB. Assim, os retardos na rota PUC6 caíram e voltaram a crescer à medida que o receptor móvel se aproximava do transmissor, enquanto na rota PUC6V tais retardos cresceram e voltaram a cair com a aproximação ao transmissor. O que se observa, ao se comparar os valores obtidos no grupo 2 com 4, é que a velocidade tendeu a baixar os valores do retardo eficaz, nas rotas mistas da PUC.

No grupo 1 do JB, onde as rotas são todas radiais e com visada, observa-se que o retardo eficaz cresce com o aumento da distância ao transmissor, exceto nas rotas JB4 e JB8 onde tal retardo cai com o aumento da distância ao transmissor. O que se observou nos perfis recebidos ao longo da rota JB4, relativamente às outras do mesmo grupo, é que, à medida que o receptor se afastava, embora houvesse amplitudes de perfis mais baixas, indicando uma queda lenta com a distância, elevadas amplitudes de perfis apareciam ao longo da rota. Tais amplitudes são resultado de multipercursos em fase, que estão chegando num determinado instante e se somam ao sinal direto, contribuindo para um reforço do sinal. A rota JB4 apresenta em baixa velocidade, portanto, um alcance maior de sinal, parecendo o mesmo ficar canalizado ao longo da rota, entre a vegetação e as palmeiras nas laterais. Uma observação importante é que tanto essa rota quanto a JB8 foram medidas no segundo dia, onde a antena transmissora, numa altura de 5,50 m, foi colocada num mastro, 1,30 m à frente do sobrado, como se vê na Figura 29, em vez de ser na janela, na quina mais próxima à rota 1, como no dia anterior.

- 1 P → L ⇒ significa que a rota foi medida no sentido Perto para Longe do transmissor
- 2 ⊥ ⇒ significa rota transversal à transmissão

Grupo Nº	Rota	SITUAÇÃO	Retardo ( μs )						Banda de Coer.(MHz)			Dados da Rota		
			Médio			Eficaz			90%			L(m)	Tipo	Local <sup>1</sup>
			Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio			
2	PUC1	Visada inicial/Vegetação densa/ Construções	0,0795	0,0685	0,0299	0,1259	0,1254	0,0273	0,4907	0,4444	0,1481	78,63	Radial	P → L
	PUC6A	Trecho com vegetação + Construções ( > espalhamento ⇒ > σ <sub>T</sub> da rota/ < BC )	0,1008	0,0922	0,0413	0,1365	0,1362	0,0315	0,4861	0,4489	0,1745	42,00	⊥	L → P
	PUC6B	Trecho desobstruído ( < σ <sub>T</sub> da rota)	0,1005	0,1088	0,0454	0,0922	0,0965	0,0475	1,0334	0,8055	0,6464	20,53	⊥	L → P
	PUC6C	Trecho c/ vegetação rala + Construções	0,1320	0,1482	0,0846	0,1064	0,1288	0,0593	3,1093	2,4928	2,0220	23,20	⊥	L → P
4	PUC1V	Visada inicial/ Vegetação densa/Construções	0,0807	0,0699	0,0339	0,1186	0,1117	0,0257	0,5382	0,5718	0,1548	66,55	Radial	P → L
	PUC6VA	Trecho com vegetação + Construções ( < σ <sub>T</sub> da rota/ > BC)	0,1008	0,0930	0,0401	0,1080	0,1019	0,0217	0,6640	0,6552	0,1348	36,82	⊥	L → P
	PUC6VB	Trecho desobstruído ( > σ <sub>T</sub> da rota/ < BC)	0,0708	0,0740	0,0132	0,1338	0,1472	0,0273	0,4070	0,3128	0,1710	16,67	⊥	L → P
	PUC6VC	Trecho c/ vegetação rala + Construções	0,0944	0,9299	0,0382	0,1194	0,1170	0,0259	0,5950	0,6029	0,0993	20,36	⊥	L → P

Tabela 1 - Retardo e Banda de Coerência Relativos às Medidas na PUC/RJ

Grupo N <sup>o</sup>	Rota	SITUAÇÃO	Retardo ( $\mu$ s )						B. de Coerência(MHz)			Dados da Rota		
			Médio			Eficaz			Médio			L(m)	Tipo <sup>2</sup>	Local <sup>1</sup>
Média	Mediana	D esvio	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio						
1	JB1A	LOS( palmeiras na lateral D )/ < $\sigma_T$ da rota/ > BC	0,0609	0,0589	0,0085	0,0990	0,0974	0,0080	0,6520	0,6598	0,0475	51,94	Radial	P → L
	JB1B	$\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,0651	0,0603	0,0173	0,1043	0,0981	0,0176	0,6233	0,6582	0,0898	58,03	Radial	P → L
	JB1C	> $\sigma_T$ da rota/ < BC	0,0975	0,0932	0,0361	0,1307	0,1318	0,0252	0,5156	0,4781	0,0991	59,36	Radial	P → L
	JB3A	LOS/ > $\sigma_T$ da rota/ < BC	0,1019	0,0912	0,0385	0,1376	0,1393	0,0265	0,4845	0,4429	0,0995	62,66	Radial	L → P
	JB3B	$\sigma_T \downarrow$ , d $\downarrow$ , BC $\uparrow$	0,0771	0,0661	0,0262	0,1221	0,1193	0,0284	0,5280	0,4593	0,1286	75,48	Radial	L → P
	JB3C	$\sigma_T \uparrow$ , d $\downarrow$ , BC $\downarrow$	0,1078	0,1092	0,0336	0,1373	0,1481	0,0264	0,5027	0,4565	0,1118	69,20	Radial	L → P
	JB3D	$\sigma_T \downarrow$ , d $\downarrow$ , BC $\uparrow$	0,0752	0,0587	0,0299	0,1140	0,0973	0,0271	0,5868	0,6599	0,1132	71,73	Radial	L → P
	JB3E	< $\sigma_T$ da rota/ > BC da rota/ $\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,0585	0,0564	0,0098	0,0985	0,0960	0,0093	0,6471	0,6630	0,0569	77,38	Radial	L → P
	JB4A	LOS (palmeiras do centro )/ > $\sigma_T$ da rota/ < BC	0,1771	0,1856	0,0304	0,1524	0,0310	0,1658	0,4741	0,3937	0,1342	76,73	Radial	P → L
	JB4B	$\sigma_T \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,1649	0,1638	0,0353	0,1400	0,0324	0,1396	0,5300	0,5055	0,1792	86,91	Radial	P → L
	JB4C	< $\sigma_T$ da rota/ > BC	0,1303	0,1335	0,0300	0,1074	0,1118	0,0226	0,7017	0,6345	0,2404	86,27	Radial	P → L
	JB8A	< $\sigma_T$ da rota/ > BC	0,1164	0,1156	0,0461	0,1137	0,1198	0,0408	0,7076	0,5915	0,3136	39,07	Radial	L → P
	JB8B	$\sigma_T \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,1041	0,1044	0,0421	0,1166	0,1165	0,0358	0,6627	0,5782	0,2923	39,08	Radial	L → P
	JB8C	$\sigma_T \uparrow$ , d $\uparrow$ , BC $\downarrow$	0,0895	0,0891	0,0299	0,1187	0,1233	0,0187	0,5790	0,5936	0,0720	60,06	Radial	L → P
	JB8D	> $\sigma_T$ da rota/ < BC	0,0678	0,0693	0,0064	0,1205	0,1022	0,0569	0,5527	0,6531	0,1763	27,72	Radial	L → P

	JB9A	LOS( palmeiras na lateral E ) / $\sigma_T$ da rota / > BC	0,0674	0,0659	0,0090	0,1105	0,1009	0,0206	0,5691	0,6542	0,1379	64,65	Radial	P → L
	JB9B	> $\sigma_T$ da rota / $\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,0799	0,0711	0,0252	0,1204	0,1214	0,0207	0,5232	0,5090	0,1289	70,10	Radial	P → L
3	JB2A	Somente trecho inicial ( 70 perfis )	0,1711	0,1777	0,0334	0,1608	0,1605	0,0175	0,4626	0,4625	0,0557	1,33	⊥	P → L
	JB5A	< $\sigma_T$ da rota / > BC	1,6799	1,4081	1,1470	2,1444	2,6294	1,6794	0,2611	0,2333	0,1495	71,94	⊥	L → P
	JB5B	$\sigma_T \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	2,4718	2,5626	1,5231	2,8708	3,7818	1,6173	0,2171	0,1938	0,0749	76,07	⊥	L → P
	JB6A	> $\sigma_T$ da rota / < BC	0,5680	0,5246	0,1905	0,4438	0,4051	0,1652	0,1846	0,1760	0,0897	63,58	⊥	P → L
	JB6B	< $\sigma_T$ da rota / > BC / $\sigma_T \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	0,2906	0,3070	0,0604	0,2431	0,2822	0,0396	0,2934	0,2822	0,0714	91,17	⊥	P → L
	JB6C	$\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,3404	0,3234	0,0751	0,2682	0,2457	0,0653	0,2728	0,2845	0,0434	89,22	⊥	P → L
	JB7A	< $\sigma_T$ da rota / > BC	0,0926	0,1006	0,0313	0,1185	0,1225	0,0208	0,5963	0,5638	0,1061	54,78	⊥	P → L
	JB7B	$\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	0,1114	0,1258	0,0373	0,1412	0,1414	0,0558	0,5375	0,4959	0,2019	60,46	⊥	P → L
	JB10A	> $\sigma_T$ da rota / < BC	0,0708	0,0768	0,0327	0,0766	0,0792	0,0300	1,1479	0,8602	0,7524	53,50	⊥	P → L
	JB10B	$\sigma_T \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	0,0211	0,0171	0,0084	0,0245	0,0198	0,0092	3,1377	3,6019	0,7205	54,14	⊥	P → L
4	JB1VA	LOS / < $\sigma_T$ / > BC	0,0806	0,0728	0,0244	0,1314	0,1236	0,0466	0,4667	0,4369	0,1458	167,12	Radial	P → L
	JB1VB	LOS / $\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ / > $\sigma_T$ / < BC	0,1484	0,1551	0,0429	0,1644	0,1677	0,0198	0,4035	0,4140	0,0999	165,29	Radial	P → L
	JB4VA	LOS / $\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ / > $\sigma_T$ / < BC	0,1037	0,1054	0,0373	0,1277	0,1361	0,0311	0,5916	0,5291	0,3076	76,73	Radial	L → P
	JB4VB	LOS / < $\sigma_T$ / > BC	0,0497	0,0496	0,0084	0,0941	0,0919	0,0147	0,6611	0,6759	0,1109	86,27	Radial	L → P

Tabela 2 - Retardo e Banda de Coerência Relativos às Medições no Jardim Botânico/ RJ

A antena transmissora estava, assim, diretamente à frente da rota JB4 e, nessa nova posição, o forte espalhamento de sinal na parede do sobrado foi retransmitido para a rota, obviamente que sua amplitude ia caindo com a distância. Assim, o retardo eficaz mostrou-se mais forte no início da rota, mostrando que o espalhamento inicial era bem mais forte que o que ocorria devido à vegetação, ao longo da rota. A rota JB8, cercada por vegetação, apesar de mostrar pouca variação do retardo eficaz, também apresentou mais forte espalhamento próximo à transmissora, pelo mesmo motivo que a rota JB4, já que a mesma também recebia os raios espalhados na parede atrás da antena transmissora. Observa-se, porém que o espalhamento de retardo se mostra menor na JB8D do que na JB4A. Isto se dá pelo fato de que a rota JB8 se acha inclinada em relação à parede refletora, recebendo menor contribuição de raios espalhados do que a JB4.

Apesar da rota JB9 ter sido medida no segundo dia, também, a mesma se acha paralela à parede de reflexão, com se vê na Figura 29, e a influência dos raios espalhados na mesma é pequena, não alterando o comportamento de crescimento do retardo eficaz com a distância.

Comparando-se as rotas JB1 e JB9, nas laterais, e com palmeiras nos dois lados, para uma mesma distância, verifica-se um espalhamento ligeiramente maior na JB9. Esta rota apresenta vegetação mais densa num dos lados do que a rota JB1, o que justifica o espalhamento adicional.

Ainda no grupo 1, na rota JB3C, observa-se uma inversão, embora pequena, nos retardos, crescendo seu valor com conseqüente queda da banda de coerência, relativamente ao trecho JB3B. Tal situação é devido ao entroncamento dessa rota com a JB6B e JB7B, como se vê na Figura 27, acarretando numa maior quantidade de raios espalhados nos cruzamentos e que chegam na unidade receptora móvel. A partir da JB3C o retardo eficaz volta a cair ao longo da rota JB3, até o seu final, próximo à transmissão.

Concluindo, as rotas radiais, com visada, apresentaram uma média de 0,10 a 0,15 microssegundos para o retardo eficaz e 0,474 a 3,138 MHz para a banda de coerência a 90%.

Nas rotas não radiais e sem visada, localizadas dentro da vegetação no JB/RJ e relacionadas no grupo 3, foram observados maiores valores para o retardo eficaz, em geral, que variaram de 0,077 a 2,87  $\mu$ s, com bandas de coerência na

faixa de 217 kHz a 1,148 MHz. Nestas rotas, também se verificou uma maior variação dos retardos médio e eficaz ao longo das mesmas, relativamente às radiais, com visada.

Analisando-se a variação do retardo eficaz ao sair de uma rota não radial, obstruída pela vegetação, para uma rota radial, em visada, chega-se a:

- Início da rota JB5A com início da JB3A:  $\sigma_T = 2,1444$  altera para  $\sigma_T = 0,1376$ , o que corresponde a um fator igual a 15,6 vezes na vegetação, para a distância próxima a 332 m. No final da rota JB5B o retardo mostrou-se mais forte, apesar da menor distância ao transmissor:  $d_{TX} \cong 268$  m;
- Cruzamento da rota JB6B com trecho JB3C:  $\sigma_T = 0,2431$  altera para  $\sigma_T = 0,1373$ , o que corresponde a um fator igual a 1,8 vezes na vegetação, para a distância próxima a 216 m. Observa-se queda do retardo de JB6A para JB6B, com o crescimento da distância ao transmissor, contudo o retardo em JB6C é inferior ao de JB6A, sendo  $d_{TX} > 240$  m ;
- Cruzamento da rota JB7B com trecho JB3D:  $\sigma_T = 0,1412$  altera para  $\sigma_T = 0,1140$ , o que corresponde a um fator igual a 1,03 vezes na vegetação, para a distância próxima a 100 m.
- Início da rota JB7A com trecho da JB1B:  $\sigma_T = 0,1185$  altera para  $\sigma_T = 0,1043$ , o que corresponde a um fator igual a 1,1 vezes na vegetação, para a distância próxima a 92 m. Observa-se o crescimento do retardo com a distância ao transmissor;
- Início da rota JB2 com trecho final JB1C:  $\sigma_T = 0,1608$  altera para  $\sigma_T = 0,1307$ , o que corresponde a um fator igual a 1,2 vezes na vegetação, para a distância próxima a 212 m.
- Início da rota JB6A cruzando com a JB4C:  $\sigma_T = 0,4438$  altera para  $\sigma_T = 0,1074$ , o que corresponde a um fator igual a 4,1 vezes na vegetação, para a distância próxima a 160m;
- Início da rota JB10 com trecho final da JB9:  $\sigma_T = 0,0766$  altera para  $\sigma_T = 0,1205$ , o que corresponde a um fator igual a 0,6 vezes na vegetação, para a distância próxima a 132 m;
- Final da rota JB10 com trecho inicial da JB8A:  $\sigma_T = 0,0245$  altera para  $\sigma_T = 0,1137$ , o que corresponde a um fator igual a 0,2 vezes na vegetação, para a distância próxima a 168 m;

Há ainda que se observar o cruzamento da sub-rota JB6B com a JB7B, ambas obstruídas pela vegetação. O que se verifica é que na 1ª o retardo eficaz é  $\sigma_T = 0,2431$  e na 2ª,  $\sigma_T = 0,1412$ , correspondendo a 1,7 vezes menor nesta última. Isto era de se esperar, pois toda a rota JB6 mostrou um espalhamento maior do que a JB7.

Observando os resultados acima, relativos ao grupo 3, das rotas transversais na vegetação, escreveu-se a Tabela 3 abaixo, indicando a tendência do retardo eficaz ser maior na rota em vegetação mais distante, se a relação entre os retardos eficazes nas rotas em questão, indicadas na coluna 1, é maior que 1. Observa-se que os maiores retardos nas rotas vegetadas estão associados às maiores relações entre os retardos das duas rotas em questão e também às maiores distâncias ao transmissor. Uma exceção foi no cruzamento da rota JB6A com a rota JB4C que, embora apresentasse uma relação e retardo eficaz que a tenha colocado na 2ª linha da tabela, contraria a distância, conforme assinalado com asterisco. Do contrário, quando a relação obtida foi menor que 1, o retardo eficaz mostrou-se tanto maior, quanto mais próxima se achava a rota transversal do transmissor e quanto mais próxima de 1 fosse a relação. Esse resultado, contudo, só se verificou com a rota JB10, não podendo se afirmar a tendência do crescimento do retardo eficaz com a aproximação da rota ao transmissor, podendo esta ser uma exceção. Vale ressaltar que justamente as rotas em visada, JB4 e JB8, foram as radiais que apresentaram queda do espalhamento de retardo com a distância e que aqui estão mostrando discrepância.

Cruzamento de Rotas	Distância ao TX ( m )	Relação	Retardo Eficaz ( $\mu s$ )
JB5A/ JB3A	332	15,6	2,1444
JB6A/ JB4C	160 *	4,1	0,4438
JB6B/ JB3C	216	1,8	0,2431
JB2/ JB1C	212	1,23	0,1608
JB7B/ JB3D	100	1,2	0,1412
JB7A/ JB1B	92	1,1	0,1185
JB10B/ JB8A	168	0,2	0,0245
JB10A/ JB9B	132	0,6	0,0766

Tabela 3 – Rotas na Vegetação e Relação com os Retardos Eficazes

Seker fornece, em seu artigo [46], resultados de retardos eficazes em ambiente de floresta para distâncias até 300 m. Com dados obtidos de medições realizadas ao longo do ano, ele determinou o retardo eficaz para alturas variadas de antena, chegando a valores até a  $0,5 \mu\text{s}$  para as maiores alturas, no caso igual a 17,7 m. Ele concluiu que o retardo eficaz, para a polarização vertical, tinha pouca dependência com a altura da antena, alguma dependência com a frequência, mostrando ser maior nas frequências mais baixas, e forte dependência com o alcance: nas frequências de 400 e 850 MHz seu valor crescia com a distância crescente ao transmissor, enquanto na frequência de 1050 MHz seu valor crescia até uns 200 m, onde voltava a decrescer até os 300 m, no caso de antenas transmissoras em alturas igual a 11,6 m e 14,6 m. A inclinação das retas de subida e descida de 0-200 m e 200-300 m variavam em função da altura da antena transmissora. Quando a altura da transmissora era igual a 17,7 m, ao invés de queda citada, ocorria crescimento do retardo eficaz. Isso é influência da altura das árvores no ambiente.

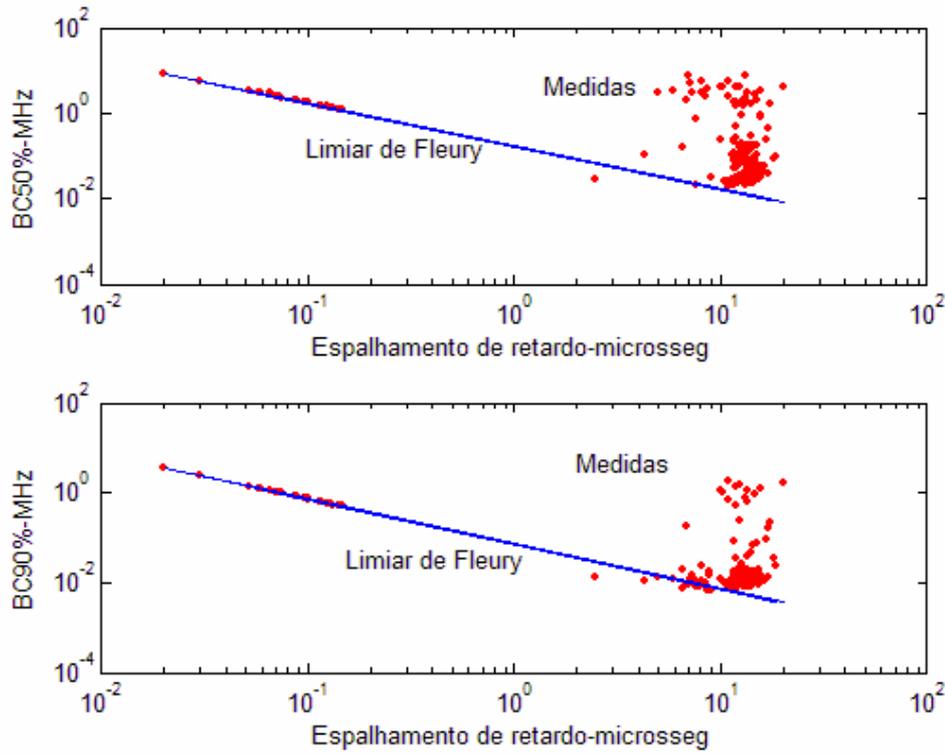
Como as rotas que compõem o grupo 3 têm basicamente a vegetação como o meio entre TX e RX no JB/RJ, será feita uma análise comparativa aos resultados de Seker, embora nesta tese a frequência de operação seja igual a 1880 MHz. Observa-se na rota JB5, onde a distância ao transmissor é maior que 288 m, que o retardo caiu com o aumento da distância até 332 m, aproximadamente, confirmando o resultado por ele obtido. O mesmo também se confirmou para a rota JB6, onde se verifica, a partir do entroncamento com a JB3C, onde o receptor já se encontra a 216 m do transmissor, que o retardo eficaz é menor que no trecho JB6A. Não é citado o trecho JB6B, pois o mesmo passa por cruzamento com rota em visada, o que altera os valores obtidos, como se pode verificar na Tabela 2. Para a rota JB2, com menor distância ao transmissor igual a 212 m, não foi possível mostrar uma tendência para o retardo eficaz devido a se ter tomado apenas os 70 perfis iniciais.

Na rota JB7, onde as distâncias eram inferiores a 200 m (92 a 132 m) no trecho em que foi possível calcular os parâmetros, o retardo cresceu com a distância ao transmissor, também confirmando os resultados do artigo citado. A rota JB10, entretanto, mostrou queda do retardo eficaz com a distância ao transmissor, embora esta tenha variado de 132 a 168 m, não ultrapassando os 200 m. Neste caso, algumas situações podem ter ocorrido:

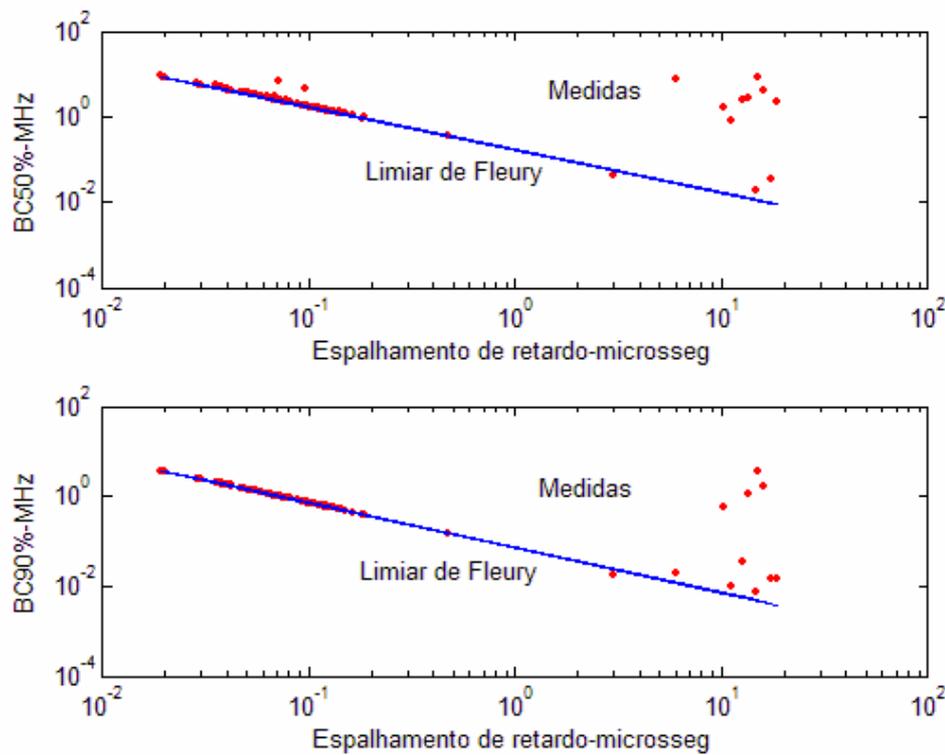
- o limite de 200 m encontrado por Seker pode ter se deslocado para um valor menor, em vista da frequência de 1880 MHz ter sido aqui empregada e não a de 1050 MHz, mostrando um comportamento diferente para a frequência empregada;
- o espalhamento mais baixo na vegetação, principalmente nos caules, devido ao fato de que a altura da antena aqui empregada é a metade da empregada no artigo e
- diferença entre os ambientes de floresta onde o autor realizou as medidas e o ambiente de vegetação do Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Analisando o grupo 4 das rotas em velocidade, observa-se que na rota JB4V o aumento da velocidade implicou numa diminuição do espalhamento de retardo, com conseqüente crescimento da banda de coerência. Em tal rota as amplitudes de multipercursos foram maiores na situação de velocidade, possivelmente devido a alguns multipercursos que deviam estar chegando em fase, enquanto nas outras rotas de velocidade, nos dois ambientes, observou-se o efeito contrário: amplitudes de multipercursos mais baixas conduzindo a espalhamentos maiores. Este fato pode ser observado através da plotagem de todos os perfis em cada rota.

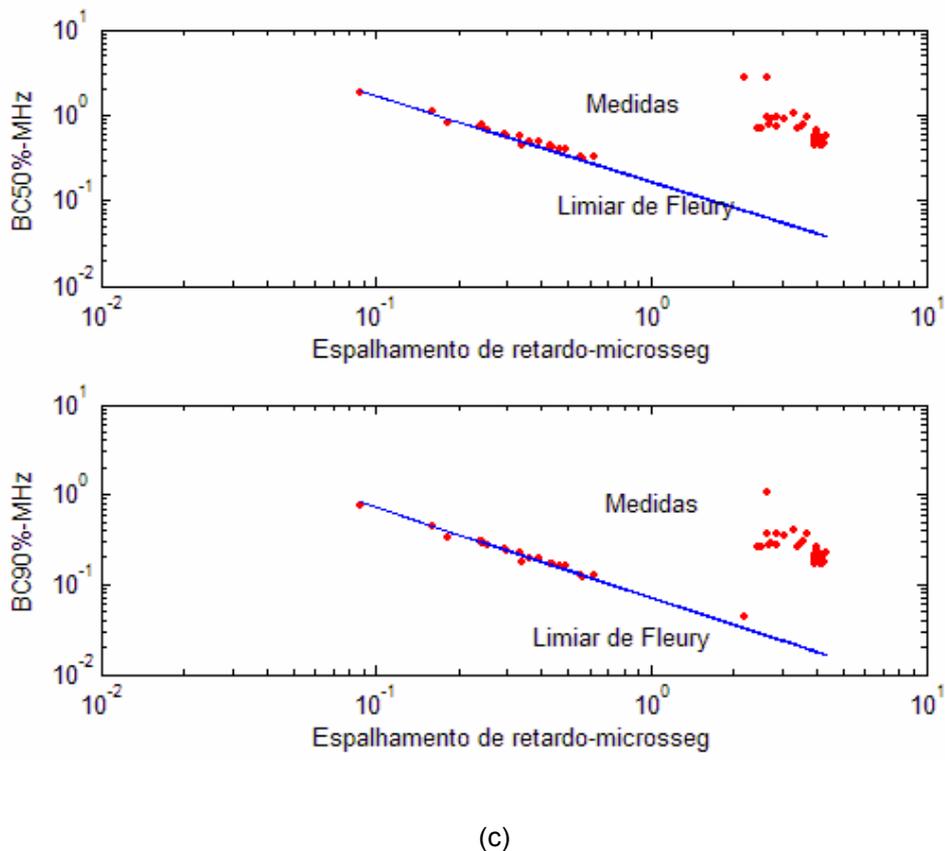
Fechando a análise dos parâmetros obtidos à luz das medições realizadas, podem ser traçadas curvas de banda de coerência versus espalhamento de retardo para todas as rotas que tiveram tais parâmetros determinados. Sabe-se que a relação entre eles é inversa, como pode ser verificado nas tabelas. O que se pretende aqui verificar é se o limiar de Fleury, já mencionado no item 4.2.7, é o limite inferior para os valores plotados de banda de coerência versus retardos eficazes. Em geral, tal limiar era satisfeito pelos parâmetros calculados e alguns exemplos são mostrados na Figura 48. Nesta figura, também foram plotadas as bandas de coerência a 50%, onde as amplitudes espectrais dos sinais recebidos ao longo da rota apresentam uma correlação acima de 50%. Observa-se, em alguns casos, que alguns pontos se situam abaixo do limiar, podendo ser resultado de imperfeições nas medidas ou no limiar de ruído adotado na limpeza dos perfis de retardo, antes do cálculo da transformada de Fourier.



(a)



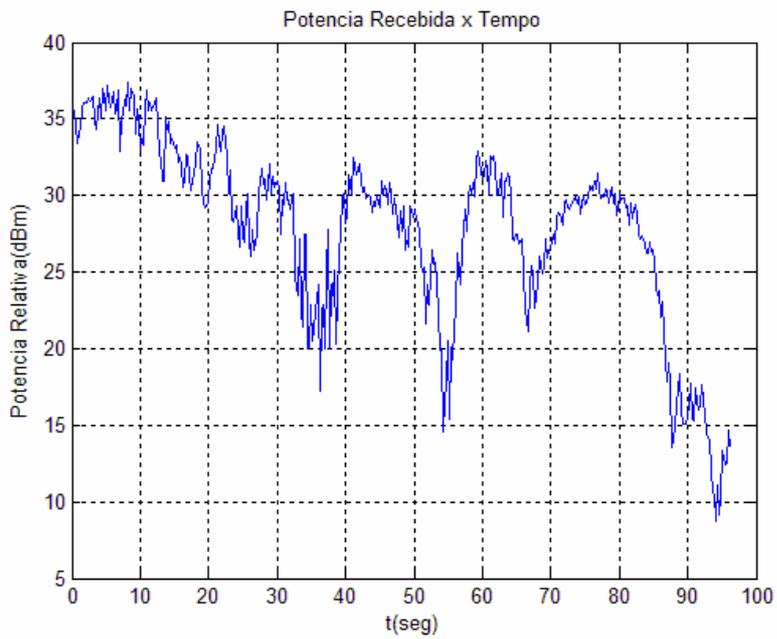
(b)



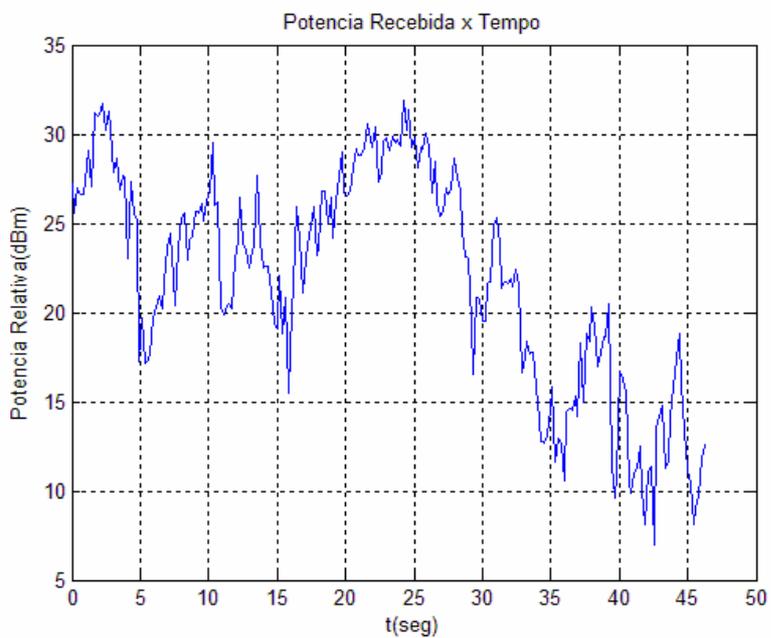
(c)

Figura 48 – Limiar de Fleury: a) Rota JB4A; b) Rota JB10; c) RotaJB5A

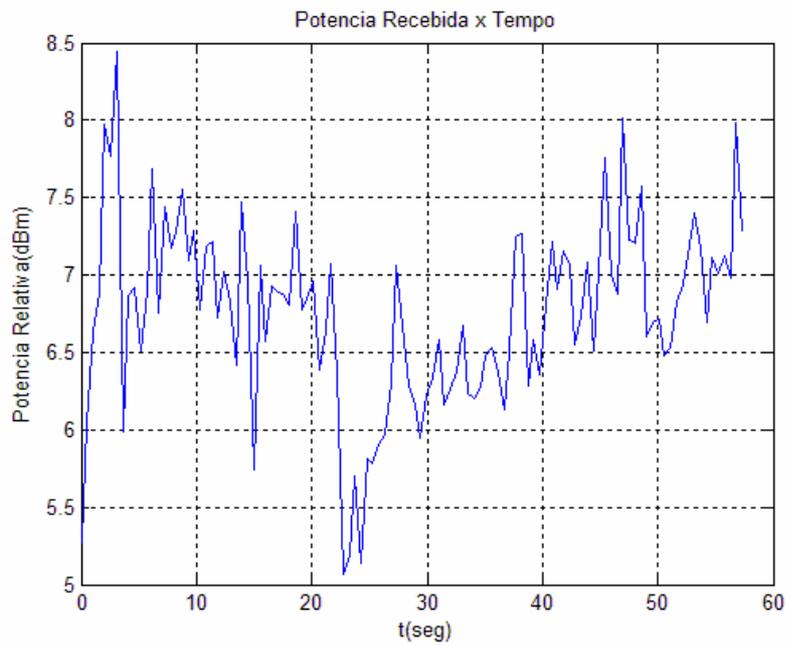
Ainda com os dados obtidos, a variabilidade do sinal ao longo do tempo pode ser plotada, visto que a velocidade do receptor foi mantida praticamente constante, acarretando numa relação única entre distância e tempo. Assim sendo, o cálculo da potência de cada perfil de retardos foi determinado como a área sob o perfil, sabendo que cada perfil dura um período do sinal transmitido( = período da seqüência PN ). A Figura 49 exemplifica tal variabilidade para 4 das rotas: JB9 (P → L, radial), PUC1 (P → L, radial), JB6A (P → L, transversal ) e PUC6A (L → P, transversal).



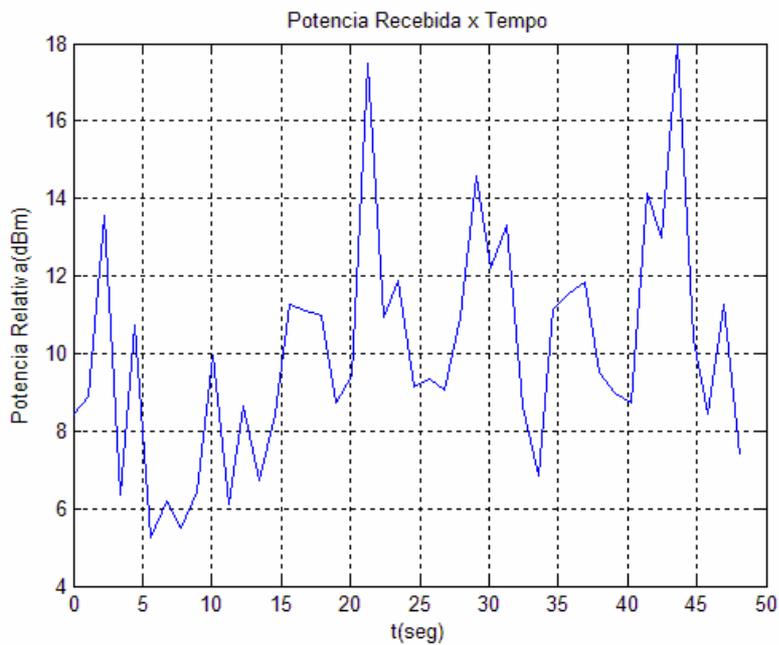
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 49 – Variabilidade do Sinal Recebido nas Rotas:

a) JB9; (b) PUC1; (c) JB6A e (d) PUC6A

### 6.1.2

#### Análise da Dispersão de Sinal na Freqüência

Partindo dos perfis de retardos medidos foram obtidos, como já mencionado no início deste capítulo, os perfis  $P_S(\mu, \xi_i)$  de espalhamento Doppler em cada retardo  $\xi_i$ . Tais perfis permitem a visualização da dispersão na freqüência, sofrida por um sinal que parte do transmissor em um determinado instante, mas que chega ao receptor por diferentes multipercursos, com diferentes ângulos de chegada, fases e amplitudes, mas com mesmo retardo.

Nesse caso, era necessário que se trabalhasse não só com as amplitudes dos perfis de retardos, como também com as fases medidas a cada amostra do perfil, já que as mesmas estão diretamente associadas ao deslocamento em freqüência sofrido pelo sinal transmitido. Por esse motivo, não foi possível se trabalhar com a técnica de limpeza dos perfis empregada, anteriormente, para se calcular a banda de coerência do canal, pois a mesma só operava nas amplitudes das potências dos mesmos. Optou-se, então, por empregar as funções *wavelet* na limpeza dos mesmos, como já mencionado na seção 4.2.5, onde são tomadas as partes real e imaginária das tensões medidas dos perfis.

Exemplos de alguns perfis de espalhamento Doppler são vistos a seguir, para algumas rotas. A Figura 50 mostra o espalhamento espectral na rota JB2, num retardo de 0,68  $\mu$ s, associado a multipercursos de um sinal que foi transmitido num determinado instante, mas que percorreram diferentes percursos, refletindo-se e chegando ao receptor nesse retardo de tempo. O perfil de espalhamento apresenta amplitudes espectrais mais fortes nos extremos, seguidas daquelas próximas do deslocamento zero. As primeiras indicam multipercursos que chegam da traseira e de frente do receptor móvel, respectivamente, com incidência em 180° e 0°. Quanto às amplitudes próximas da freqüência zero, representam multipercursos que chegam de ângulos próximos a 90°, praticamente perpendiculares ao sentido do movimento do receptor, vindo das reflexões nas laterais da rota. À medida que o receptor adentra na rota, os campos ficam muito fracos, não sendo suficientes para excitar o receptor e tendem a baixar a nível de ruído.

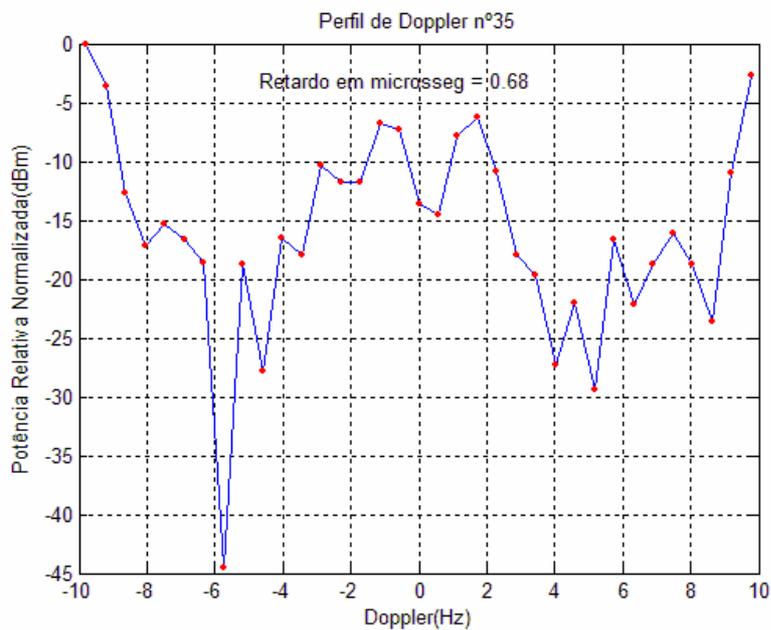


Figura 50 – Exemplo de um Perfil de Espalhamento Doppler da Rota JB2

A Figura 51 mostra um outro exemplo de perfil, relativo à rota JB7, num retardo de  $0,92 \mu\text{s}$ . Muitos multipercursos chegam à antena receptora, de variados ângulos de chegada. Esta rota é formada por mangueiras de caules grossos nas duas laterais da mesma, mostrada na Figura 35, no Capítulo 5. Em retardos, cada vez maiores, o espalhamento se mantém e, gradativamente, vai diminuindo suas amplitudes, pois a sonda é limitada, não sendo capaz de captar retardos longos, a partir de alguns microssegundos. Neste caso o espectro de Doppler fica semelhante àquela obtido em situações *indoor*, onde muito espalhamento ocorre, vindo de todos os ângulos de chegada, conforme mostra Xiongwen [47]. Observando-se o espectro, no retardo de  $1,18 \mu\text{s}$ , constata-se que o espalhamento vindo pela traseira do receptor móvel é o mais forte. O sinal que chega à entrada da rota, vindo diretamente da transmissora, pela rota JB1, é da ordem de 20 dBm e se espalha e/ou difrata na entrada da rota JB7, chegando por trás da receptora. Também tem-se o sinal que chega pela rota JB3, em visada, da ordem de 22 dBm, e que se espalha na intersecção com a rota JB7, produzindo espalhamento de frente para a receptora no trecho inicial desta rota.

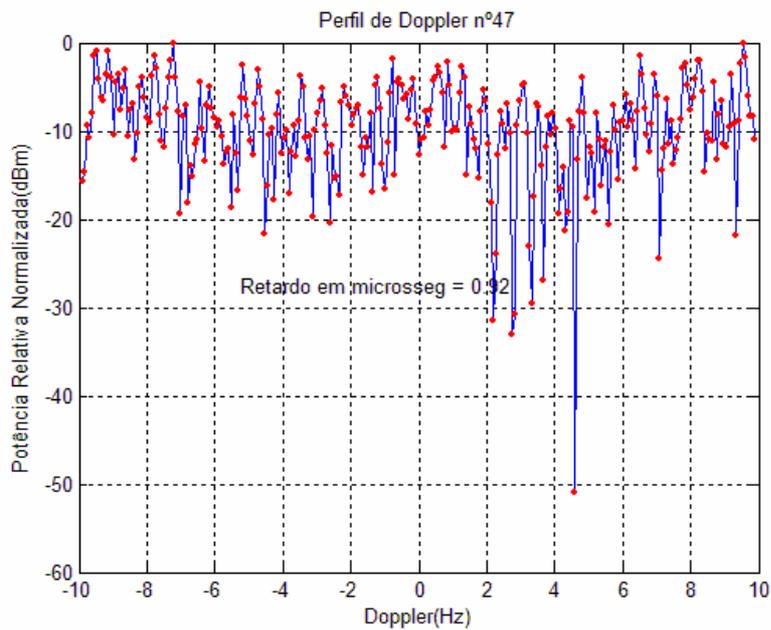


Figura 51 – Perfil de Espalhamento Doppler da Rota JB7

Um exemplo de perfil da rota JB5 é mostrado na Figura 52, indicando que, praticamente, não há multipercursos sensíveis à sonda, no retardo de 5,98  $\mu$ s, já que as amplitudes são da ordem de -30 dBm, achando-se misturadas ao nível de ruído. Somente há raios espalhados chegando pela traseira e pela frente do receptor, que se desloca de longe para perto do transmissor, com raios espalhados e/ou difratados vindos da rota JB3 pela traseira e pela rota JB4, pela dianteira. Este é um perfil característico de ambiente outdoor sem visada, na sua forma, tendo a sua concavidade variada em função das amplitudes de espalhamento Doppler no meio, indicando multipercursos de outros ângulos à medida que tal curvatura vai diminuindo de raio.

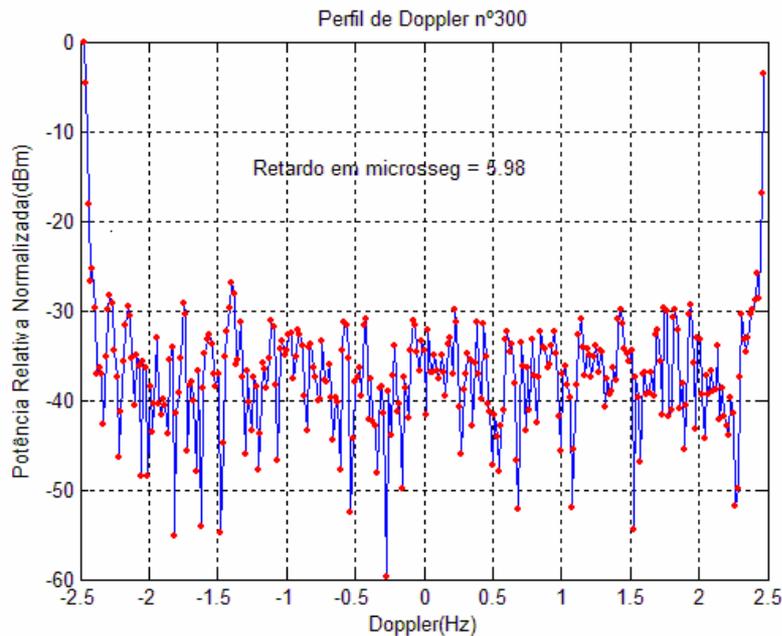


Figura 52 – Perfil de Espalhamento Doppler da Rota JB5

A Figura 53 mostra um perfil de espalhamento Doppler na rota PUC6, onde se observam alguns picos mais fortes, na amplitude de -11 dBm, correspondendo a variados ângulos de chegada dos multipercursos na antena receptora

O comportamento dos perfis de espalhamento de Doppler, em grande maioria, seguem a fórmula padrão sugerida por Parsons [17], e tomam a forma do perfil mostrado na Figura 52, onde se observa que a maioria das ondas espalhadas chegam a uma antena receptora oriundas da direção horizontal, mas que a função densidade de probabilidade do ângulo de elevação de tais ondas deve ter média nula, ser fortemente polarizada para pequenos ângulos e não se estender ao infinito nos ângulos de  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , como no modelo sugerido por Clarke, que só supõe ângulos de chegada horizontais. Tal comportamento é o que se tem em situações sem visada, em geral, em ambientes *outdoor*.

Sabe-se que a velocidade maior do receptor, em mesmas situações de transmissão e local, acarreta em maior variabilidade do canal, que se traduz através do espalhamento Doppler. Com esta sonda, porém, limitada na medição de Doppler a  $\pm 10$  Hz, não foi possível verificar os perfis de Doppler em velocidades maiores.

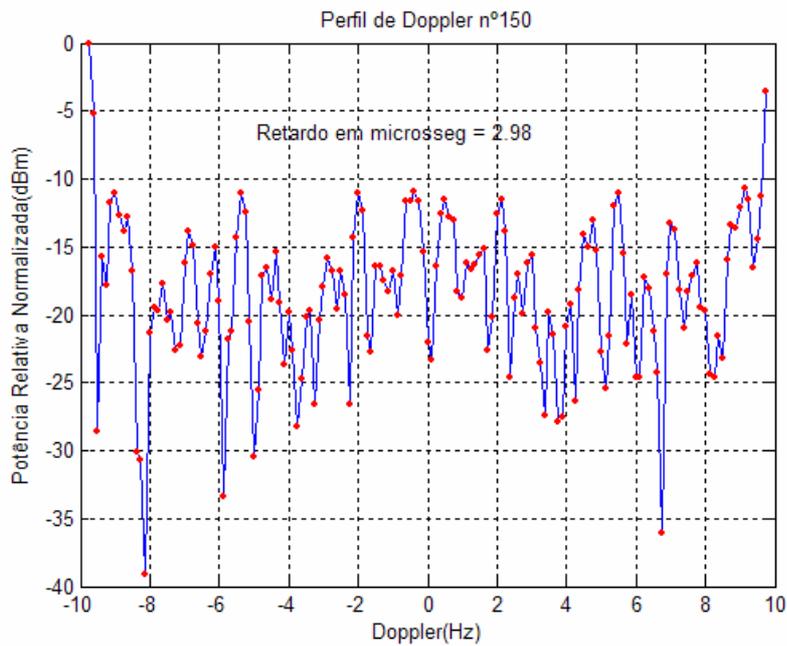


Figura 53 – Perfil de Espalhamento Doppler da Rota PUC6

Tendo visto a série de perfis de espalhamento Doppler, para retardos específicos, procedeu-se à determinação dos perfis de Doppler na frequência,  $P_H(\mu, \Omega)$ , por filtragem e transformação de Fourier no domínio dos retardos, de forma a tornar possível a obtenção do deslocamento médio e eficaz de Doppler no canal vegetado, através das equações 4.5 e 4.6. Da mesma forma que os perfis de retardos de potência mostraram uma quase-estacionariedade ao longo do tempo, os de Doppler também o fizeram ao longo das frequências, e procedimento semelhante ao cálculo dos parâmetros de dispersão no tempo foi realizado na obtenção dos parâmetros de dispersão na frequência. Tais parâmetros se encontram nas Tabelas 4 e 5 a seguir.

Resta, ainda, determinar o tempo de coerência no canal vegetado, empregando a equação 4.7 aos perfis obtidos através da filtragem e transformação de Fourier, agora no domínio dos deslocamentos Doppler. A função  $R_T(\eta)$  de auto-correlação no tempo, então obtida, e normalizada, permite o cálculo do tempo de coerência associado ao deslocamento Doppler sofrido por cada frequência  $\Omega$  do sinal. Os valores aqui calculados representam a duração de tempo na qual a resposta do canal a um tom apresenta uma correlação maior ou igual a 90%.

1 P → L ⇒ significa que a rota foi medida no sentido Perto para Longe do transmissor

2 ⊥ ⇒ significa rota transversal à transmissão

Grupo N°	Rota	SITUAÇÃO	Deslocamento Doppler ( Hz )						Tempo de Coerência(s)			Dados da Rota		
			Médio			Eficaz			90%			L(m)	Tipo	Local <sup>1</sup>
			Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio			
2	PUC1	Visada/ Vegetação densa	5,2175	5,0052	1,6624	5,3861	5,5763	0,8365	0,0084	0,0081	0,0019	78,63	Radial	P → L
	PUC6	Trecho com vegetação + Construções + Visada	8,8912	8,7893	0,6708	4,0124	4,1485	1,0460	0,0309	0,0255	0,0148	85,73	⊥ <sup>2</sup>	L → P
4	PUC1V	Visada/ Vegetação densa	10,6001	10,6959	0,7767	4,7727	4,7638	0,5464	0,0173	0,0171	0,0030	66,55	Radial	P → L
	PUC6V	Trecho com vegetação + Construções + Visada	9,2141	9,2098	0,8693	6,2014	6,2120	0,2920	0,0105	0,0103	0,0012	73,85	⊥	L → P

Tabela 4 – Doppler e Tempo de Coerência Relativos às Medições na PUC/RJ

Grupo Nº	Rota	SITUAÇÃO	Deslocamento Doppler ( Hz )						Tempo de Coerência(s )			Dados da Rota		
			Média			Eficaz			90%			L(m)	Tipo <sup>1</sup>	Local <sup>2</sup>
			Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio	Média	Mediana	Desvio			
1	JB1A	Maior $\sigma_D$ da rota	2,8737	2,9039	0,3319	2,0885	2,0789	0,1000	0,0289	0,0275	0,0054	51,94	Radial	P → L
	JB1B	$\sigma_D \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	2,8369	2,8463	0,2405	2,0807	2,0752	0,1093	0,0271	0,0269	0,0043	58,03	Radial	P → L
	JB1C	Menor $\sigma_D$ da rota/ Maior TC	2,7748	2,8795	0,4633	2,0595	2,0387	0,1162	0,0373	0,0294	0,0148	59,36	Radial	P → L
	JB3A	Menor $\sigma_D$ da rota/ Maior TC/ $\sigma_T \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	2,1476	2,1048	0,1902	0,9183	0,9316	0,0946	0,0737	0,0718	0,0061	62,66	Radial	L → P
	JB3B	$\sigma_D \uparrow$ , $d \downarrow$ , BC $\downarrow$	2,2087	2,1863	0,1996	0,9970	0,9992	0,0858	0,0700	0,0667	0,0096	75,48	Radial	L → P
	JB3C	$\sigma_D \uparrow$ , $d \downarrow$ , BC $\downarrow$	2,1426	2,1285	0,1751	1,2290	1,2244	0,0538	0,0699	0,0617	0,0137	69,20	Radial	L → P
	JB3D	$\sigma_D \uparrow$ , $d \downarrow$ , BC $\downarrow$	1,9078	1,9178	0,1149	1,4172	1,4409	0,0690	0,03< 96	0,0385	0,0054	71,73	Radial	L → P
	JB3E	Maior $\sigma_D$ da rota/ Menor TC da rota	1,8062	1,8066	0,1291	1,2447	1,2412	0,0639	0,0546	0,0551	0,0058	77,38	Radial	L → P
	JB4A	Maior $\sigma_D$ da rota/ < TC da rota	2,4783	2,4731	0,0962	1,5181	1,4816	0,1081	0,0497	0,0489	0,0035	76,73	Radial	P → L
	JB4B	$\sigma_D \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	2,4597	2,4485	0,0780	1,4249	1,4180	0,0352	0,0563	0,0551	0,0058	86,91	Radial	P → L
	JB4C	$\sigma_D \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	2,4508	2,4173	0,1275	1,4817	1,4955	0,0968	0,0514	0,0504	0,0042	86,27	Radial	P → L
	JB8A	Maior $\sigma_D$ da rota/ Menor TC	4,7078	4,8543	0,3588	3,0098	2,9684	0,1333	0,0233	0,0237	0,0020	86,17	Radial	L → P
	JB8B	$\sigma_D \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	3,3724	3,3639	0,3428	2,1408	2,1715	0,2960	0,0291	0,0284	0,0060	81,76	Radial	L → P

	JB9	Forte espalhamento na frequência	7,0700	7,0903	1,4558	5,4549	5,6415	0,5643	0,0115	0,0116	0,0016	104,75	Radial	P → L
3	JB2	Somente trecho inicial ( 70 perfis )	0,0274	0,0256	0,0041	0,0106	0,0094	0,0042	11,6197	10,1526	5,4600	1,33	⊥	P → L
	JB5A	Menor $\sigma_D$ da rota/ Maior TC	2,3943	2,1970	0,7339	2,4164	2,6248	0,3703	0,0368	0,0364	0,0030	71,94	⊥	L → P
	JB5B	$\sigma_D \downarrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	1,7757	1,6072	0,4460	2,7330	2,7834	0,1804	0,0326	0,0312	0,0032	76,07	⊥	L → P
	JB6A	$\sigma_D \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$	2,5114	2,1419	0,5589	2,4140	2,1419	0,5589	0,0416	0,0426	0,0028	63,58	⊥	P → L
	JB6B	Menor $\sigma_D$ da rota	2,7238	3,0342	0,5856	2,2538	2,1062	0,3489	0,0386	0,0387	0,0017	91,17	⊥	P → L
	JB6C	Maior $\sigma_D$ da rota/ Menor TC	2,4707	2,2930	0,6582	2,4292	2,6466	0,4166	0,0385	0,0375	0,0028	89,22	⊥	P → L
	JB7A	$\sigma_D \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	2,0466	2,0521	0,1343	1,1494	1,1750	0,0983	0,0744	0,0677	0,0151	54,78	⊥	P → L
	JB7B	Maior $\sigma_D$ da rota/ Menor TC	2,2198	2,2029	0,1230	1,9990	1,1990	0,0400	0,0576	0,0586	0,0058	60,46	⊥	P → L
	JB10	Forte espalhamento na frequência	9,8932	9,9850	0,3533	5,8768	5,7947	0,2805	0,0121	0,0120	0,0007	107,64	⊥	P → L
4	JB1VA	LOS/ Mais perto do Tx, $< \sigma_D / >$ TC	6,4729	6,6035	0,6200	2,5575	2,5809	0,2775	0,0218	0,0216	0,0036	167,12	Radial	P → L
	JB1VB	$\sigma_D \uparrow$ com $d_{TX-RX} \uparrow$ *	6,6262	6,3237	1,3639	3,0802	3,5266	0,7125	0,0168	0,0159	0,0035	165,29	Radial	P → L
	JB4V	Forte espalhamento na frequência	9,3889	9,2988	0,5210	5,9060	5,8687	0,2983	0,0125	0,0125	0,0007	163	Radial	L → P

Tabela 5 - Doppler e Tempo de Coerência Relativos às Medições no Jardim Botânico/ RJ

Pela inspeção dos resultados obtidos, verifica-se que as rotas da PUC, com vegetação mesclada a construções e trechos em visada, apresentaram grandes deslocamentos Doppler, sendo maiores quando o receptor se move em maior velocidade. Ao se observar as rotas em velocidade JB1V e JB4V do JB/RJ, relativamente às rotas JB1 e JB4, respectivamente, também se observa um deslocamento Doppler maior naquelas em velocidade, confirmando que quanto maior a velocidade do receptor, maior a rapidez na variação do estado do canal, portanto menor é o tempo de duração do *fading* e, conseqüentemente, maior é o alargamento espectral associado, também conhecido como largura de banda do *fading* do canal. Ressalta-se que a sonda idealmente responde a velocidades até 5,7 km/h, contudo os parâmetros de Doppler, em 15 km/h, ainda foram calculados, embora não sejam corretos, mas mostram a tendência do crescimento de Doppler com a velocidade.

De forma geral, existe uma tendência do Doppler eficaz cair com a distância crescente ao transmissor, situação inversa à dispersão no tempo. Segundo Lee [48], os espalhadores responsáveis pelos multipercursos que chegam a um extremo receptor se acham num raio próximo de  $100 \lambda$ , tendo a receptora como o centro. Assim, à medida que a receptora se afasta da transmissora, o que significa distância e tempo crescentes, a diferença de percurso entre o raio direto e o multipercurso, que chegam à receptora se torna menor. Como conseqüência, a taxa de variação de deslocamento com o tempo, equivalendo à velocidade, decresce. Se a velocidade diminui, o alargamento de espectro e, então o espalhamento Doppler, também diminuem. As rotas radiais em visada, que cruzam as rotas sem visada, tendem a alterar o comportamento previsto por Lee. Isto pode ser observado em alguns casos como na rota JB7, por exemplo, no qual a situação se mostra inversa, entretanto, somente uma campanha de medidas nessas rotas poderá concluir sobre esses resultados.

Os valores de espalhamento Doppler obtidos nas rotas radiais do JB/RJ mostram variações na faixa de 0,9 a 5,5 Hz na velocidade de 5 km/h, enquanto os tempos de coerência variam na faixa de 11,5 a 73,7 ms. Nas rotas obstruídas pela vegetação tais variações se acharam na faixa de 0,01 a 5,9 Hz e 12,1 ms a 11,6 s. Este último valor, elevado, associado ao espalhamento de 0,01 Hz, foi encontrado na rota 2, empregando-se apenas os perfis medidos no início de tal rota. Não é representativo de toda a rota, já que o sinal praticamente chega na mesma ao nível

de ruído.

De posse dos valores encontrados para os parâmetros, é possível traçar as curvas de variação do tempo de coerência com o Doppler eficaz nas rotas, sendo duas delas mostradas, nas Figuras 54 e 55. Observa-se a variação inversa do tempo de coerência com o Doppler eficaz, assim como se observou na relação da banda de coerência com o retardo eficaz. Portanto, a relação inversa entre tais parâmetros se mantém, contudo não é uma constante, sendo variável a cada rota tomada e, algumas vezes, a variação se mostra não muito homogênea, função do ambiente medido.

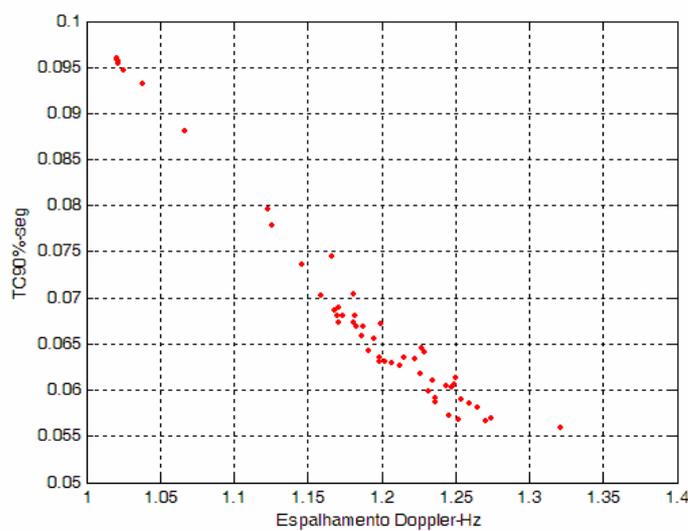


Figura 54 – Tempo de Coerência x Espalhamento Doppler para a Rota JB7A

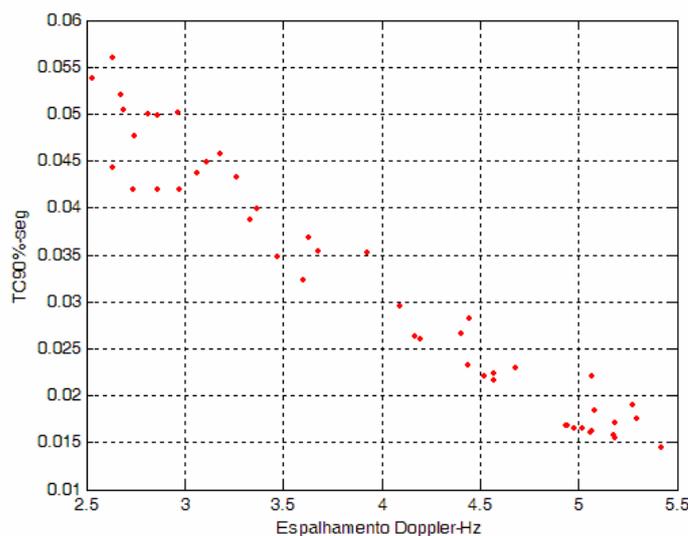


Figura 55 – Tempo de Coerência x Espalhamento Doppler para a Rota PUC6

## 6.2

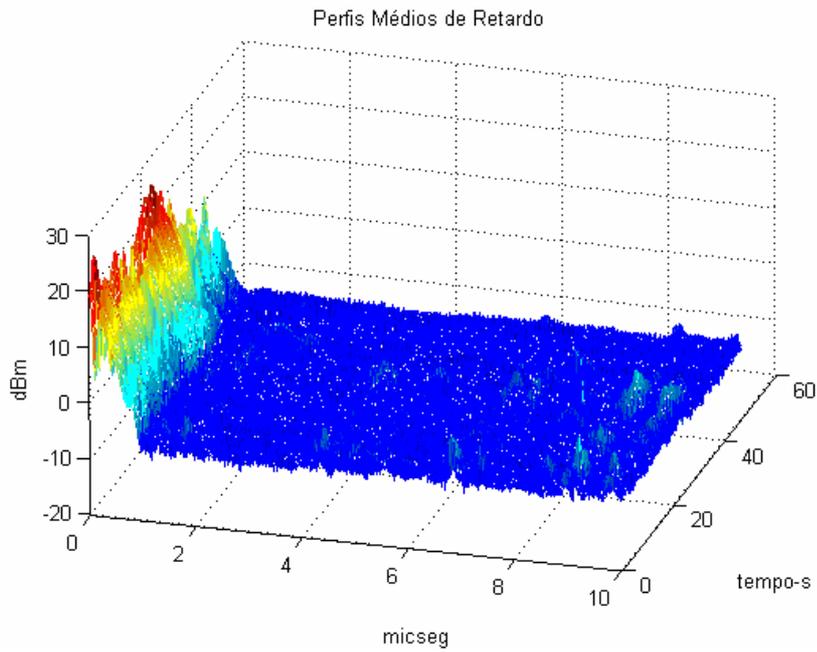
### Análise em Larga Escala

Uma vez que a estacionariedade do canal é limitada à pequena escala, quando se deseja determinar os parâmetros para áreas maiores, não é possível fazê-lo diretamente das funções de correlação do canal WSSUS. Assim, como foi visto, quando maiores distâncias foram tratadas, a estacionariedade só pode ser garantida por trechos, estudando-se o comportamento do canal em pequena escala e em pequenas áreas homogêneas e adjacentes.

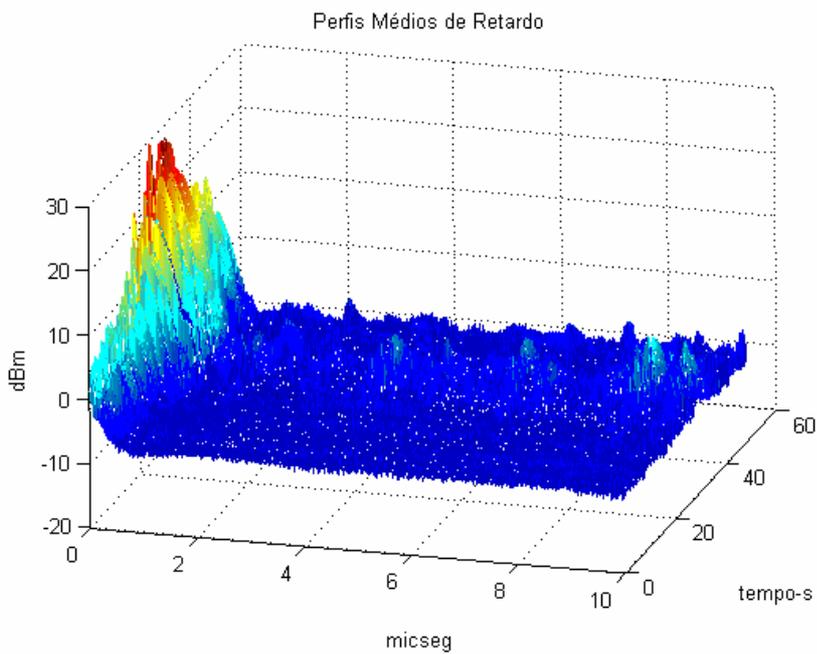
Na análise em larga escala, são mostrados os perfis de retardo medidos em algumas rotas, no domínio tempo/retardo. Obviamente a escala de tempo dos perfis de retardos de potência tem correspondência direta com a distância percorrida ao longo da rota, que é uma constante se a velocidade é tomada constante.

Uma vez que em todas as rotas medidas não ocorreram multipercursos acima de 10 microssegundos, a janela de tempo empregada para a plotagem tridimensional dos perfis de retardos foi tomada com este valor.

A Figura 56 mostra os perfis obtidos ao longo das rotas PUC1 e PUC6, ambas com parte em visada, sendo a primeira radial e a segunda transversal à transmissora. Observa-se na primeira rota, na Figura 56(a), que os perfis apresentam uma queda com a distância, com o receptor se afastando do transmissor, enquanto na segunda existe um crescimento das amplitudes, com o receptor se aproximando do transmissor, até o ponto central da rota, mas que sofre uma queda a partir desse ponto. Isto se dá pelo fato de haver visada direta no trecho centrado por tal distância e depois novamente se ter a vegetação, mais rala, que acarreta na queda da amplitude do sinal, apesar de se estar aproximando do transmissor. Vale ressaltar que nesse trecho final da rota PUC6 a distância à transmissora varia pouco, portanto a influência maior foi da vegetação, no sentido de baixar as amplitudes recebidas.



(a)



(b)

Figura 56 – Resposta Impulso: a) Rota PUC1e b) Rota PUC6

A Figura 57 mostra os perfis obtidos nas rotas vistas acima, porém com velocidade de 15 km/h na receptora, ou seja, rotas PUC1V e PUC6V. Observa-se a tendência de maiores amplitudes de multipercursos nos retardos das rotas em velocidade, se comparadas às mesmas, com menor velocidade.

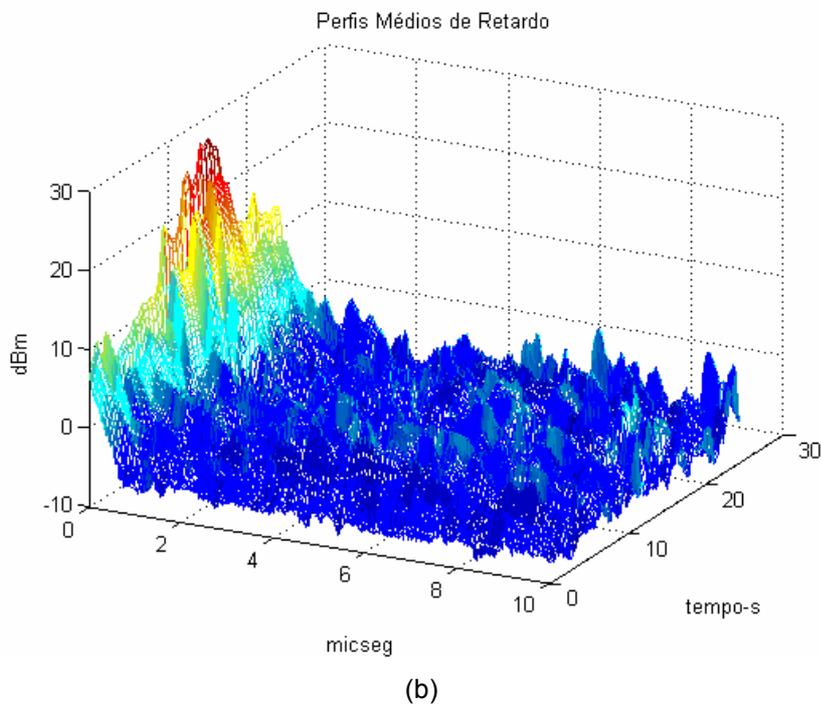
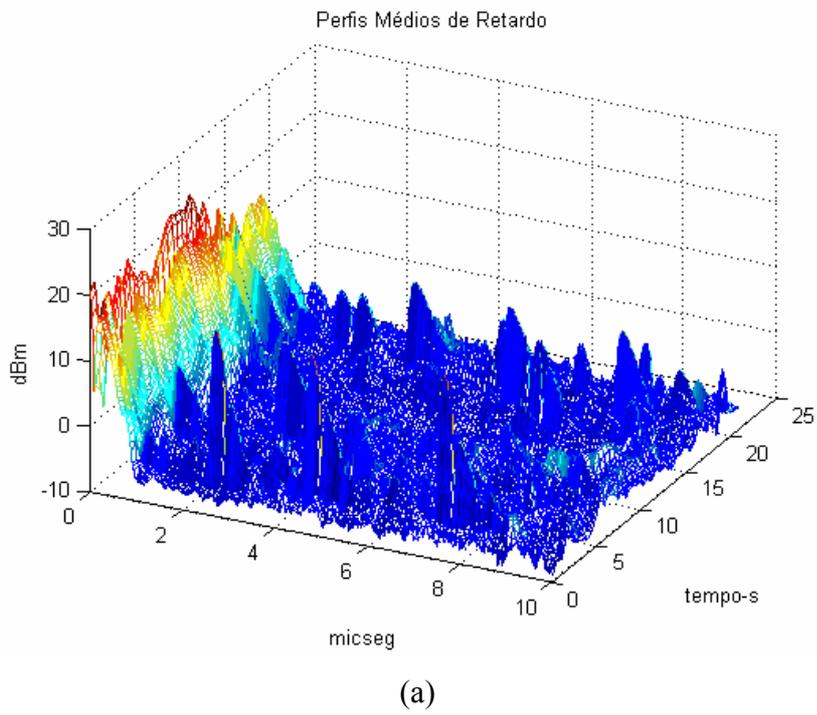
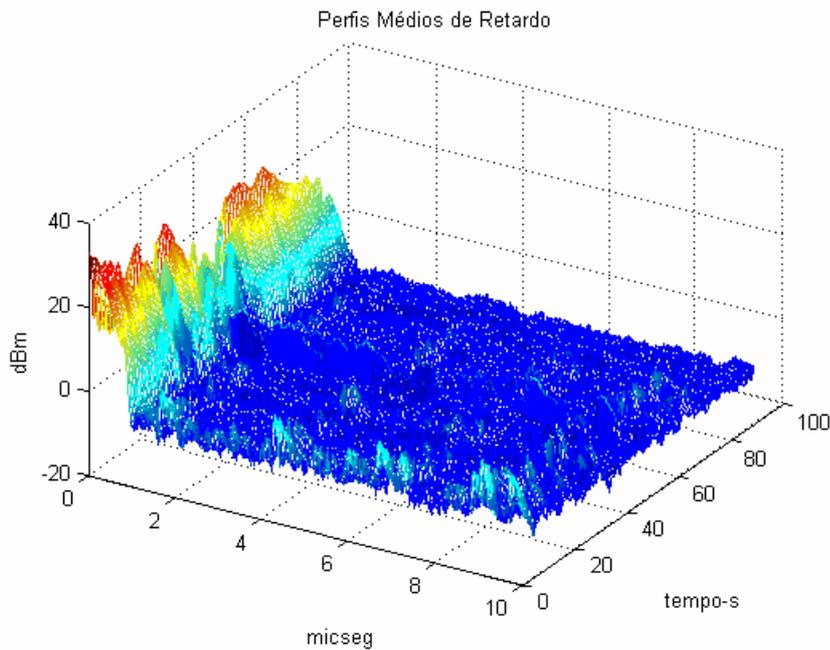
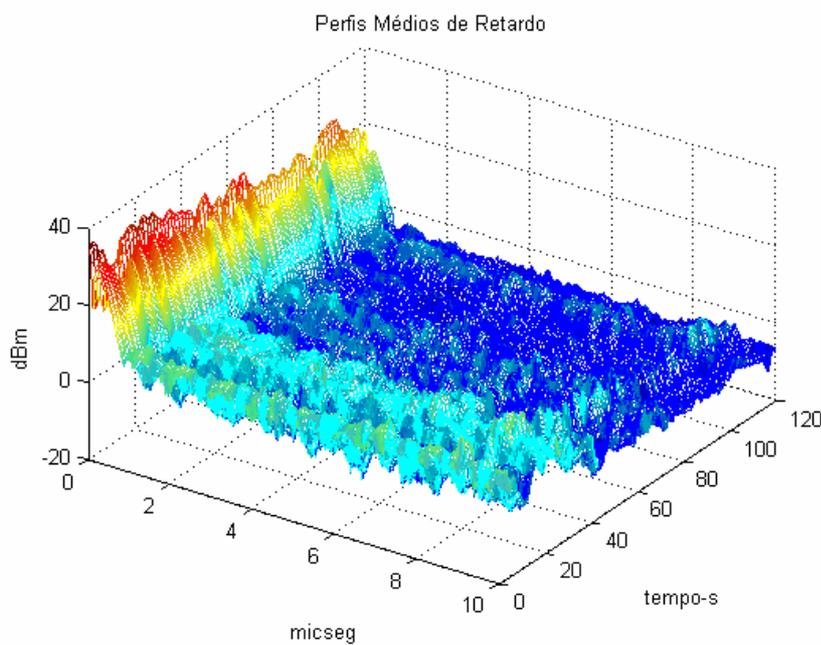


Figura 57 – Resposta Impulso: a) Rota PUC1V e b) Rota PUC6V

Dando continuidade, a Figura 58 mostra os perfis de retardo relativos ao primeiro trecho da rota JB1, tanto em 15 quanto em 5 km/h, mostrando uma ligeira queda nas amplitudes dos perfis na maior velocidade da receptora, como também pode ser constatado na Figura 56 das rotas na PUC. Já não se pode dizer o mesmo das amplitudes dos multipercursos em velocidade, que foram mais elevadas.



(a)



(b)

Figura 58 – Perfis de Retardo ao longo da Rota: a) JB1VA; b) JB1A

Uma vez que apenas duas rotas foram medidas, em velocidade, no Jardim Botânico, não foi possível se observar uma tendência na variação das amplitudes dos multipercursos com a velocidade.

Um exemplo de perfil limpo, empregado no cálculo dos parâmetros de dispersão no tempo, é mostrado na Figura 59, onde ainda se tem algum raio espalhado no entorno dos 9  $\mu\text{s}$ , visto que é a rota com pouca perda, podendo acarretar em raios espalhados em pontos mais distantes.

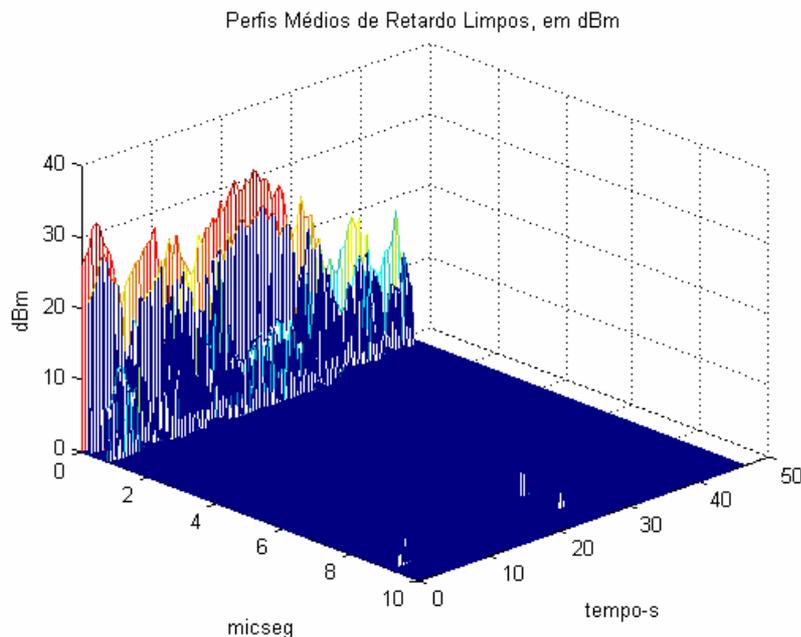


Figura 59 – Perfis de Retardo ao Longo da Rota JB1A

Verificados os perfis de retardo limpos, juntamente com a atenuação do sinal ao longo da rota, é que se adotou o limite de 10  $\mu\text{s}$  para os perfis de retardos reduzidos para a determinação dos parâmetros de dispersão. Em geral, contudo, os multipercursos não ultrapassaram 2  $\mu\text{s}$ .

Comparando-se os perfis obtidos nos diversos grupos de rota, ficou claro que nas rotas do grupo 3, transversais, sem visada e obstruídas pela vegetação, os multipercursos são mais numerosos, em geral, conduzindo a maiores espalhamentos de retardo. Isso mostra que a vegetação, além de ser um grande atenuador para o sinal, em geral, também é um bom espalhador, ocasionando maiores retardos eficazes nas rotas em vegetação, relativamente às rotas em visada, com vegetação nas laterais.