

## 6 CONCLUSÕES

O intuito deste trabalho foi calcular e analisar os níveis de interferência em um receptor móvel resultantes do espalhamento devido à chuva, considerando a relação (S/I) entre as potências dos sinais desejado e interferente. Para os cálculos, foi desenvolvida uma ferramenta de simulação baseada na equação do radar biestático descrita na Recomendação ITU-R P.452 [4].

Este estudo apresentou uma nova aplicação da equação do radar biestático para determinar os níveis de interferência recebidos em um receptor pelo espalhamento devido à chuva do sinal transmitido por pontos de acesso (interferentes) na faixa de ondas milimétricas, faixa provável para a implementação de sistemas 5G. Foi desenvolvido um método de cálculo do volume comum de espalhamento entre os feixes e as esquinas dos blocos, onde se faz divisão em pequenos volumes para uma melhor precisão. Deve-se observar que a maioria dos trabalhos anteriores utilizam as expressões do radar biestático para calcular o espalhamento devido à chuva, com aplicações a sistemas de comunicações via satélite. As duas aplicações envolvem configurações significativamente distintas.

Para o desenvolvimento do presente estudo, uma rede densa de pontos de acesso e usuários foi distribuída em dois tipos de cenário realísticos. O primeiro (regular) utiliza um mapa parcial de Madrid, Espanha. O segundo (irregular), utiliza o mapa de Ipanema, Rio de Janeiro.

A ferramenta de simulação foi utilizada para estimar os efeitos da frequência, taxa de precipitação, largura do feixe de média potência e distribuição do tamanho de gotas de chuva na distribuição cumulativa da relação (S/I).

## 6.1 Contribuições da Pesquisa

Entre as contribuições da pesquisa, é possível destacar as seguintes.

Foi desenvolvido e implementado um algoritmo de associação de pontos de acesso com usuários. Foram identificados os pontos de acesso interferentes nos diferentes cenários, com um tratamento diferenciado pela estrutura dos ambientes.

No cálculo da seção reta de espalhamento, o método proposto foi implementado com base em uma distribuição de tamanho de gotas de chuva ajustada a ondas milimétricas (distribuição de De Wolf).

Foi desenvolvido um método de cálculo do volume comum de espalhamento entre os feixes das antenas e as esquinas dos blocos, onde se realiza a divisão em pequenos volumes, para uma melhor precisão na determinação da potência espalhada.

Para os cenários adotados e supondo o espalhamento devido à chuva em situações NLOS para os lances interferentes, foram obtidos valores mínimos de S/I desde 12.86 dB e máximos até 63.29 dB, para a frequência de operação igual a 38 GHz. Os resultados máximos não causariam problemas de disponibilidade da rede. No entanto, quando a relação S/I é mínima, a tendência é contrária: problemas de disponibilidade reduzida da rede podem se apresentar. Observou-se um mínimo da relação S/I na frequência de 41 GHz, que deve ser validada por testes independentes.

O estudo mostrou que os níveis de S/I variaram desde 12.77 dB até 68.98 dB para as taxas de precipitação iguais a 100 mm/h e 25 mm/h, respectivamente. Confirmou, também, que os níveis de interferência aumentam com a taxa de precipitação.

O estudo comprovou que a largura do feixe de meia potência das antenas transmissoras tem forte influência sobre a relação S/I. Isto é, observou-se que os valores mínimos para a relação S/I são iguais a 6.08 dB e 17.09 dB para larguras

de feixe de meia potência iguais a  $30^\circ$  e  $8^\circ$ , respectivamente, já que o volume de espalhamento aumenta com este ângulo.

Para o cenário de Madrid, foram determinados os níveis de interferência para a existência de pontos de acesso interferentes com linha de visada direta. Foi particularmente preocupante observar que valores de  $S/I$  inferiores a 10 dB ocorreram com altas probabilidades. Seria importante analisar as interferências resultantes de antenas diretivas nos mesmos terminais, considerando este mecanismo de interferência. Caso estes níveis de interferência continuem a ocorrer com probabilidades elevadas, devem ser combatidos por intermédio de procedimentos de gerenciamento de rede sofisticados [53].

Com base neste estudo, pode-se afirmar que o planejamento dos futuros sistemas sem fio, para uma determinada região, pode se tornar dependente da atenuação e da interferência introduzida pela chuva, sendo capazes, inclusive, de limitar a disponibilidade da rede.

## 6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser encontradas a seguir.

Durante o estudo, assumiu-se a existência de gotas de chuva de formato esférico. Um tema que requer uma grande atenção é o problema do espalhamento do sinal considerando que as gotas de chuva não são esféricas. As gotas de chuva têm uma distribuição de tamanhos. Em geral, as gotas maiores são submetidas à resistência do ar durante suas quedas, tornando-se oblatas, com eixos de simetria aleatoriamente distribuídos. Às vezes, estas gotas se dividem em gotas menores. Como resultado destes processos, o campo espalhado é despolarizado. A possibilidade do uso de polarizações ortogonais para transmitir informações distintas deve ser estudada, considerando este fator de degradação.

Na determinação da distribuição cumulativa da relação  $S/I$ , a taxa de precipitação foi mantida constante. Seria interessante estender os presentes

resultados para considerar os efeitos da aleatoriedade temporal da chuva, caracterizada pela distribuição cumulativa da taxa de precipitação.

No estudo, não foram calculados os efeitos de reflexões nas faces dos prédios ou difrações nas arestas do ambiente. Seria interessante considerar seus efeitos nos resultados e comparar a importância relativa dos mesmos em relação à do sinal interferente devido ao espalhamento pela chuva.

Durante o estudo, assumiu-se a existência de usuários estáticos. Um tema que requer grande atenção é a mobilidade destes usuários dentro da área de análise (mapa). Seria interessante considerar os efeitos desta mobilidade nos resultados apresentados.

Finalmente, o estudo supôs antenas omnidirecionais para os terminais do usuário. Seria importante analisar as interferências devidas ao sinal espalhado pela chuva supondo o uso de antenas diretivas nos mesmos terminais.