

5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

As redes de acesso FSO estão se tornando uma alternativa flexível e de rápida implementação. As informações relacionadas com a atmosfera são conhecidas há décadas, porém os dados obtidos para as grandes cidades brasileiras ainda são muito escassos. Alguns sistemas FSO possuem características de transmissão por microondas, porém a taxa de transmissão é baixa. Estes sistemas são denominados FSO híbridos. Nesse aspecto, a implementação de este FSO híbrido permite transmitir em ambiente com chuva como por nevoeiro. Deste modo, surgem alternativas de implementação do FSO nas redes metropolitanas. O baixo custo pode levar a convertê-la em uma opção atrativa. Adicionalmente a frequência de 1550 nm possibilita a sua utilização em conjunto com as redes DWDM. No entanto, o objetivo deste trabalho está focalizado na transmissão de dados por laser.

A maioria das operadoras de telecomunicações vê o FSO com bons olhos, mas, diferentemente dos sistemas de rádio, FSO não possui uma regulamentação única, proposta pela ITU. No entanto, pode-se adotar diversas recomendações aplicadas para os sistemas de rádio, tal como a ITU-R F.1189-1, a ITU-R F.1400 e principalmente a ITU-T G.826.[44]

Para os enlaces internacionais, ITU-T definiu um conjunto de padrões que oferecem procedimentos, objetivos e limites. Já no caso dos enlaces domésticos, cada provedor pode, em teoria, definir sua própria metodologia. Entretanto, algumas partes da rede doméstica podem torna-se extensões terrestres de uma rota internacional; é nessa direção que estas recomendações devem ser dirigidas.

Portanto, a análise destas recomendações associada à avaliação e testes da tecnologia óptica no espaço livre pode possibilitar a geração de uma nova recomendação dedicada. O parâmetro da indisponibilidade estaria relacionado com as variações climáticas de uma determinada região.

Por outro lado, a arquitetura da implementação de um sistema FSO em uma *Fiber Into The Loop* (FITL) permitiria a uma operadora oferecer diversos serviços

com maior rapidez. A Figura 5.1 apresenta uma arquitetura genérica de um sistema de telecomunicações utilizando FSO. Observa-se a interligação do sistema FSO (access network) com as redes de fibras ópticas urbanas (core network) e as redes locais (premise network). Conseqüentemente, o FSO tornaria-se uma alternativa rápida de conexão entre os locais ou prédios que estão conectados com redes de altas velocidades e regiões ou prédios que não atingem estas redes ópticas.

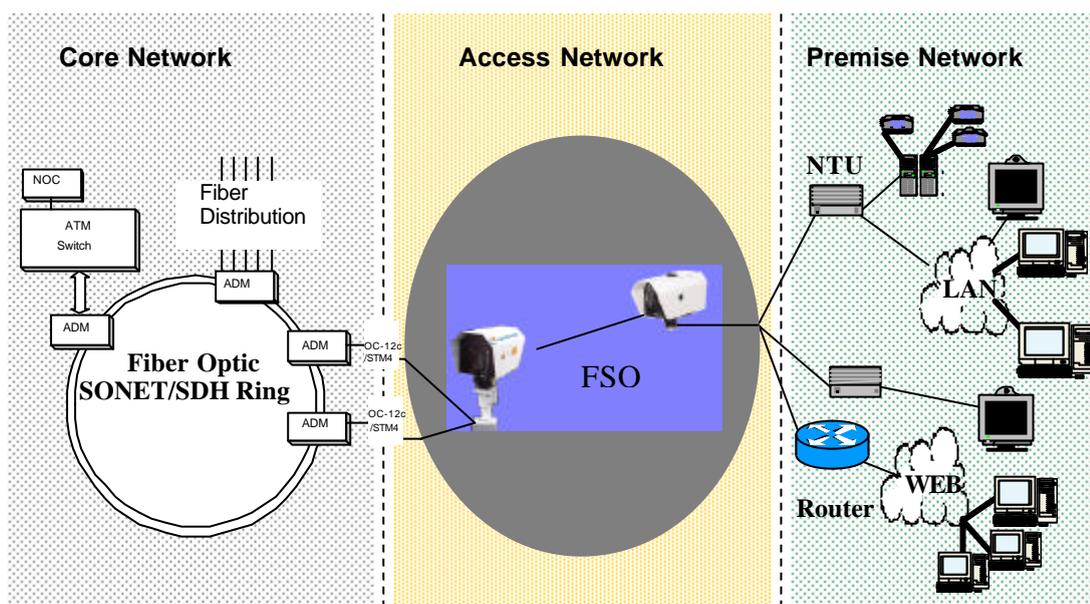


Figura 5.1 – Topologia FITL utilizando FSO

Foi comentado que existem dois conceitos de Disponibilidade, conforme indicados na Figura 3.5. Os valores teóricos e experimentais foram obtidos a partir de um enlace de FSO. Neste enlace, os cabeçotes de FSO possuem um sistema de quádrupla redundância. A recomendação G.826 requer um período de teste de 30 dias para um caso como este. A avaliação deverá ser implementada inicialmente no pior mês do ano, em termos da visibilidade do local considerado. Em seguida, ciclos mensais poderão ser repetidos. Além disso, devem ser considerados critérios de atenuação adicional em função das possibilidades de nevoeiro urbano, chuva, neblina fraca, etc.

Os erros nos sistemas de transmissão por laser são estudados desde a década do 60 [45]. Um parâmetro levado em conta na transmissão de dados nesta recomendação é a taxa de erro de bits (BER). A BER pode surgir pelo balanço de prédios, obstrução por pássaros, fumaça, ou poluição severa. A chuva afeta o

desempenho, mas não tanto quanto um nevoeiro, que é capaz de distorcer o feixe e piorar a BER. Estes fenômenos provocam diversos efeitos negativos como o bloco errado (EB), o segundo errado (ES) e o segundo severamente errado (SSE). Estes parâmetros estão indicados na G.826 [38,46]. Recentemente, algumas publicações possibilitam o cálculo da taxa de erro de bits, por meio de programas de simulação [47] e técnicas numéricas computacionais [48, 49]. Neste último caso, utiliza-se um feixe parcialmente coerente gaussiano que se propaga na atmosfera; permitindo captar uma potência menor. Seria de interesse determinar a taxa de erro de bits do FSO, tanto por métodos experimentais como com modelos numéricos, mantendo as diretrizes da Recomendação G.826.

Paralelamente à avaliação da disponibilidade, sugere-se melhores critérios de avaliação do *jitter* e do *wander*. Para o caso em questão, o *jitter* está associado aos desvios que o feixe portador de dados possa sofrer devido à cintilação, além do que os próprios cabeçotes de FSO sejam afetados pela temperatura e pelo envelhecimento dos aparelhos transmissor e receptor. Isto pode provocar alterações na frequência de sincronismo de forma lenta, produzindo outro fenômeno que é menos perceptível que é o *wander*. As variações são recebidas e apresentadas pelo BERT. [42].

5.1. Sugestões para determinar um mapa de visibilidade na cidade de Rio de Janeiro

A diferença dos sistemas de RF ou de microondas, a tecnologia FSO possui pouco tempo de implementação comercial nas grandes cidades. Além disso, muitos usuários preferem utilizar os sistemas em microondas devido a que tem uma certa familiaridade com o uso, e com as taxas de transmissão. Parte desta familiaridade implica também na aceitação das normas e regulamentações, além do conhecimento da disponibilidade do enlace. A visibilidade é o parâmetro mais crítico que determina a disponibilidade. Referências de mapas que apresentem a visibilidade em um território ou país é indicado em [17,50]. Porém, medidas feitas em longo prazo, obtido pelos aeroportos, são as que fornecem maior precisão nos valores de visibilidade, dando uma projeção futura do seu comportamento.

Uma sugestão a ser considerada durante as medidas da visibilidade são os efeitos provocados por agentes não-naturais, como os sistemas de ar-

condicionado, e os efeitos poluidores, provocado pelas indústrias e por veículos motorizados. A página da Feema [51], menciona sobre as diversas ações feitas na intenção de atingir a qualidade do ar a níveis aceitáveis, além de controlar a poluição veicular no Rio de Janeiro. Estes dados podem auxiliar na determinação das áreas onde um enlace FSO seria prejudicado em maior ou menor grau.

É preciso possuir dados mais precisos para a obtenção de parâmetros como a Visibilidade e o C_n^2 . Conforme mencionado anteriormente, cada ponto da cidade apresenta um comportamento ambiental diferente, permitindo avaliar uma melhor descrição de um mapa crítico de implementação de FSO. A Figura 5.2 mostra esse mapa crítico da cidade do Rio de Janeiro tornando-se uma importante contribuição oferecida por este trabalho. São visualizadas as áreas que provavelmente poderiam implementar o sistema FSO. As principais referências para a elaboração deste mapa foram os efeitos provocados pela poluição (por exemplo, as estradas que concentram grande fluxo de veículos) e as regiões que se encontram frente ao mar. Cabe ressaltar que este gráfico é apenas uma aproximação, apresentando as principais zonas urbanas. Esta é uma primeira tentativa de criar um mapa de Visibilidade local, embora não se tenha o parâmetro da Visibilidade definido de forma exata nas áreas críticas e de transição. Áreas críticas apontadas na Figura 5.2 são a Av. Brasil, a Linha Vermelha e a Linha Amarela, além de espaços residenciais. Um exemplo deste caso são alguns bairros como Copacabana e Ipanema.

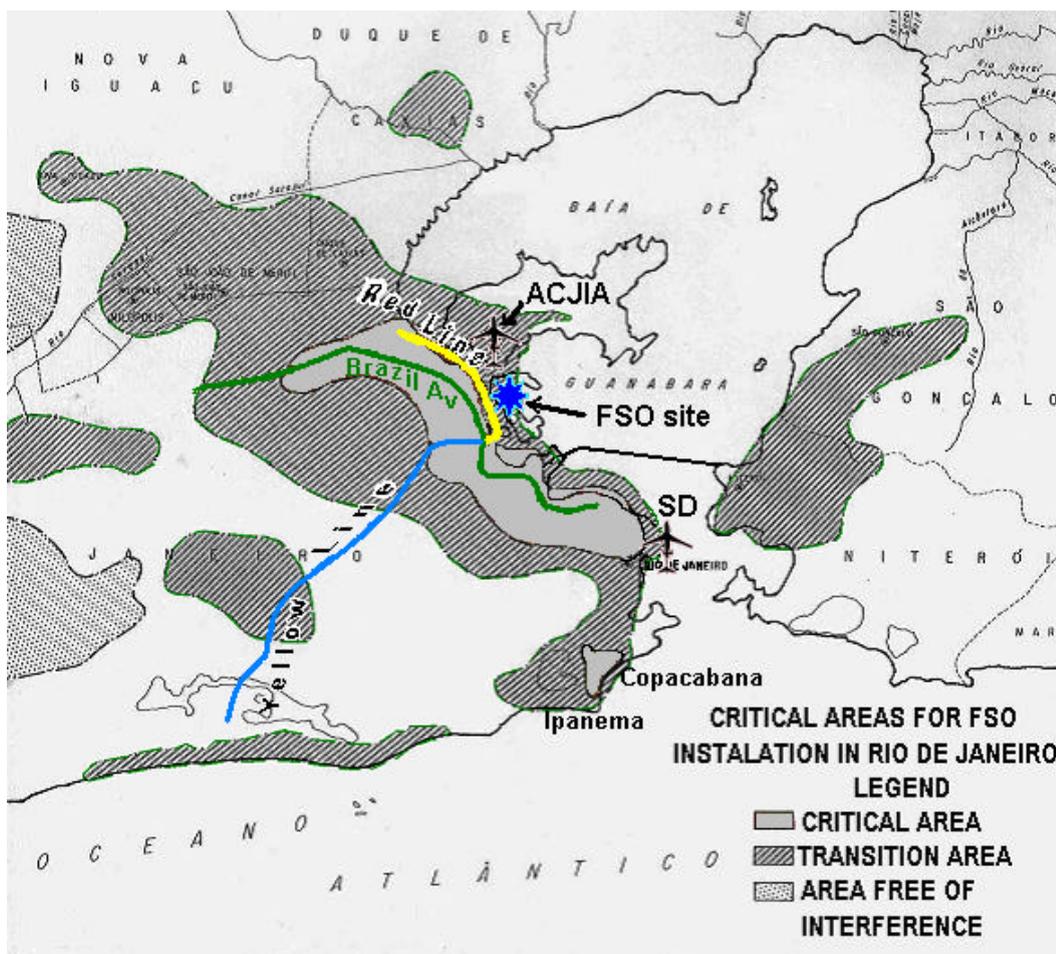


Fig. 5.2 – Áreas críticas de instalação de FSO no Rio de Janeiro. Passando da parte de baixo para acima pode-se observar: (a) – Um avião que mostra a posição do Aeroporto Santos Dumont (SD); (b) – Uma estrela indicando o local de testes de FSO; (c) – outro avião exibindo a localização do Aeroporto Internacional Antonio Carlos Jobim (ACJIA) . Existem áreas críticas que influenciarão no enlace de FSO, como a Av Brasil, e a Zona Sul (principalmente Copacabana). A escala na figura é de 4 km por centímetro.

Finalmente, pode-se afirmar que FSO é uma tecnologia que complementa adequadamente bem as redes ópticas. Esforços para diversos levantamentos de dados experimentais, de forma sistemática e constante, devem ser futuramente perseguidos. Deste modo, se conheceria o desempenho esperado num enlace de FSO na cidade do Rio de Janeiro, ou em qualquer outra localidade. Esta tarefa, não só auxiliaria as atividades de Comunicações e de Aeronáutica; seria uma alternativa barata para oferecer novos serviços para toda a sociedade.