Estudo simulado e experimental de sistemas multi-RoF-RF e multi-RoF-IF

Nascimento, K.P.; Silva, D.L.L.; Oliveira, R.S.; Costa, U.W.C.; Costa, J.C.W.A.

***Resumo*— As técnicas de Rádio-sobre-Fibra (RoF) são alternativas para o aumento constante do tráfego de dados móveis. Diante disso, este artigo apresenta um estudo acerca do desempenho de canais SCM-RoF em cenários experimentais e simulados, com 3 e 5 subportadoras, centrados em RF e IF. Os resultados obtidos indicam a coerência entre os sistemas propostos por meio de simulação e experimentação. Além disso, é demonstrado que a transmissão em IF é uma solução em potencial no contexto de transmissões RoF uma vez que minimiza, principalmente, os efeitos da atenuação.**

Palavras-Chave—Radiofrequência sobre a Fibra; RF; IF; EVM.

***Abstract*— The radio-over-fiber techniques (RoF) are alternatives to the constant demand for data traffic, especially in the mobile segment. Therefore, this paper presents a study of the performance of SCM-RoF channels in simulated and experimental scenarios in which were investigated scenarios with 3 and 5 subcarriers, transmitted in reference (RF) and intermediate frequency (IF). The results have indicated that the simulated and experimental performance is similar. Furthermore, it is shown that the transmission IF is a potential solution in the RoF transmission context since it minimizes the effects of attenuation.**

Keywords—Radiofrequency over fiber; RF; IF; EVM.

I. INTRODUÇÃO

A constante demanda por largura de banda tem crescido significativamente nos últimos anos. Pesquisas preveem um notável aumento do tráfego de dados móveis entre 2015 e 2020. É esperado que nesse período a taxa de crescimento anual será de aproximadamente de 53% a cada ano [1].

Como solução para tal demanda, técnicas de rádio sobre fibra têm surgido como uma solução em potencial para atender o atual contexto que tem exigido maior capacidade dos sistemas de telecomunicações, especialmente no segmento móvel. O princípio fundamental de um sistema de rádio sobre fibra consiste na transmissão de um sinal de rádio frequência em um enlace óptico. Assim, a combinação da alta capacidade de transmissão de redes ópticas, com a mobilidade e flexibilidade das redes sem fio provê uma arquitetura capaz de atender os novos requisitos por largura de banda. Já que sistemas de rádio sobre fibra independem de tecnologia, esse tipo de solução pode ser utilizado tanto para soluções já existentes na infraestrutura das redes (3G, WiFi), quanto para os padrões mais recentes que estão fase de implantação, como o LTE (*Long Term Evolution*) [2], por exemplo.

Esse novo paradigma de integração óptico/sem fio tem modificado significativamente a infraestrutura de rede móvel atual, principalmente no RAN (*Remote Access Network*), o que vem forçando as operadoras a buscar soluções que visem aumentar a capacidade da rede, sem comprometer os custos. Diante desse cenário, um novo conceito de RAN centralizado, denominado C-RAN, tem atraído considerável interesse [3]. Em comparação com o modelo tradicional, o C-RAN concentra todas as funcionalidades mais complexas na CO (*Central Office*), transferindo para antena operações mais básicas como recepção e amplificação do sinal. A conexão entre a CO e a antena na ODN (*Optical Distribution Network*) é realizada sobre o segmento chamado *fronthaul* que faz uso de sistemas rádio sobre fibra para transmissão de dados.

Um dos principais desafios da utilização dos sistemas de rádio sobre fibra no segmento *fronthaul* está relacionado com o modo em que o sinal é transmitido. Tradicionalmente, os modos de transmissão são baseados em sistemas analógicos (RoF), entretanto a diminuição dos custos dos componentes tem permitido o desenvolvimento sistemas DRoF (*Digital Radio over Fiber*) [4] que, apesar de mais robusto, requer alta largura de banda no semento óptico. Com relação ao RoF, as principais fontes de degradação se dão em função dos efeitos da atenuação e da dispersão [5] que se tornam mais críticos em sinais frequências com frequências mais elevadas.

Diante disso, nesse artigo é proposto o uso de sistemas de rádio sobre fibra analógico enquanto solução para arquitetura C-RAN investigando transmissões multi-RoF-RF e multi-RoF-IF. Inicialmente os estudos foram conduzidos por meio de simulação no qual investigou-se as limitações para sistemas com 3 e 5 subportadoras, com 20km de fibra. No segundo estágio, esses sistemas foram reproduzidos experimentalmente com intuito de analisar a transmissão de sinais de rádio analógico em cenários mais realísticos. Os resultados demonstram que o desempenho dos sistemas propostos via simulação são coerentes com os cenários investigados experimentalmente e que a transmissão de sinais em IF é uma solução em potencial para aplicação na arquitetura C-RAN visto que os efeitos da atenuação e da dispersão são significativamente minimizados em comparação com a transmissão em RF.

II. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Os cenários inicialmente foram modelados na suíte de simulação *VPITransmissionMaker* e posteriormente foram reproduzidos experimentalmente. Nos estudos conduzidos por meio de simulação todo o processo foi realizado no *VPITransmissionMaker*, enquanto que na investigação experimental foi realizado o uso combinado de simulação e equipamentos de bancada.

O cenário baseado em simulação é formado por subportadoras moduladas em 16QAM, com 1.25Gbit/s (cada) espaçadas em 50MHz, filtro *raised cosine* configurado de 0.18% de *roll-off*. Os sinais foram centrados em RF e IF, transmissões com 3 e 5 subportadoras. A Fig. 1 ilustra o cenário utilizado nos estudos:

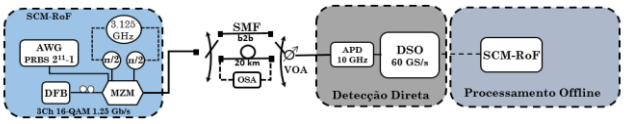

Fig. 1. Representação do cenário RoF utilizado.

Nesse contexto, foram realizados testes com a fibra para

verificar a sensibilidade do sistema. Para tanto, os cenários foram configurados com a distância de 20km e potência de recepção variando entre -14dBm e -23dBm. Após a detecção e reconstrução do sinal, as transmissões foram avaliadas a partir do EVM (*Error Vector Magnitude*) presente no módulo de análise do simulador.

Como já dito, no cenário experimental o processo de geração, recepção e avaliação das transmissões é realizado no simulador. Assim, no primeiro estágio os sinais gerados *offline* no simulador são inseridos num AWG (*Arbitrary Waveforme Generator*) Agilent M8195A de 65GS que possui largura de banda de 18GHz. Após esse processo, um MZM (*Mach–Zehnder Modulator*) modula externamente o sinal elétrico que então é transmitido por um laser DFB (*Distributed Feedback*) ajustado com uma largura de linha menor que 100kHz na fibra em *Single Mode*, tendo como atenuação 0.2dB/km e dispersão de 16.5ps/nm/km.

Do lado do receptor, o sinal é detectado por um fotodiodo do tipo APD (*Avalanche Photodiode*) e captado por um osciloscópio sendo novamente inserido (*off-line*) no simulador por meio do recurso de cossimulação, o qual possibilita a leitura do script em Matlab para um formato suportado pelo simulador. Após o processamento, o desempenho é então realizado de modo semelhante ao realizado no cenário baseado somente em simulação.

A Fig. 2 apresenta os espectros elétricos dos sinais utilizados nas simulações e no cenário experimental.

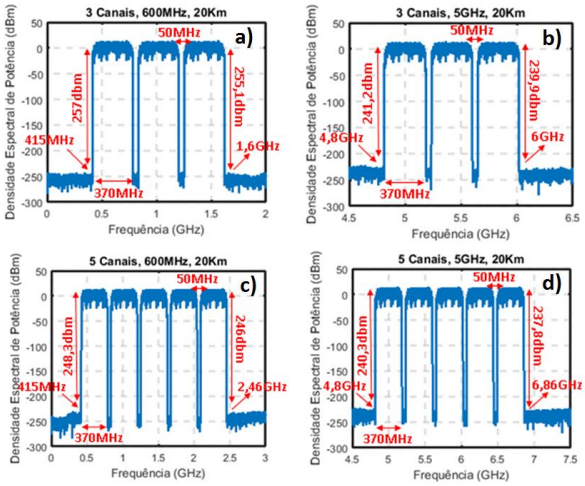

Fig. 2. Espectro elétrico dos sinais dos cenários RoF antes do MZM, em que as letras representam: (a) 3 Canais, IF; (b) 3 Canais, RF (c) 5 Canais, IF (d) 5 Canais, RF.

III. Resultados

Como a atenuação é um dos parâmetros mais críticos nos sistemas de rádio sobre fibra, investigou-se o desempenho dos cenários propostos variando a potência recebida entre -14dBm e -24dBm em função do EVM. Observa-se que o os resultados baseados em simulação (linhas tracejadas) e experimentação (linhas contínuas) são semelhantes para todos os casos, conforme é demonstrado na Figura 3 (a, b, c e d), entretanto é possível notar que as subportadoras estão mais espaçadas no cenário experimental em função do *crosstalk* que é mais presente nesse tipo de análise. Percebe-se ainda, que para os cenários investigados, principalmente nas curvas experimentais, que o último canal obteve pior desempenho. Esse comportamento, além do efeito do *crosstalking* no domínio elétrico está relacionado com às distorções harmônicas provenientes de regiões não lineares do MZM que causa um impacto mais severo em sistemas com múltiplas portadoras [6]. Adicionalmente, a largura de banda elétrica do AWG e do osciloscópio também impactam no desempenho do último canal.

Os resultados também evidenciam que as transmissões em IF minimizam significativamente os efeitos da atenuação em comparação com as transmissões em RF. Considerando o limite do EVM de 12.5% definido pelo 3 GPP para modulação 16-QAM [7] observa-se que no cenário experimental com 3 subportadoras em IF (Fig. 3 (a)) e RF (Fig. 3 (b)) a sensibilidade é de -18dBm e -16dBm, respectivamente. Já que para 5 subportadoras a mesma é de -16 dBm para IF (Fig. 3 (c)) e -14dbm para RF (Fig. 3(d)).

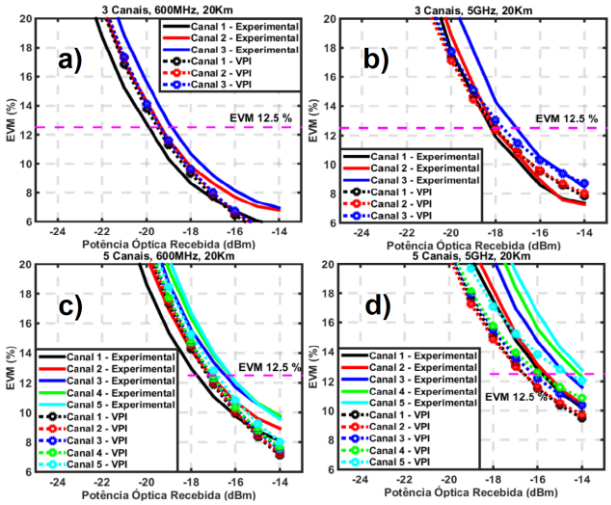

Fig. 3. Sensibilidade dos cenários RoF, em que as letras representam: (a) 3 Canais, IF; (b) 3 Canais, RF (c) 5 Canais, IF (d) 5 Canais, RF.

IV. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, observa-se que tanto nos cenários experimentais quanto nos simulados, o desempenho dos configurados em IF foi superior ao dos em RF. Observou-se também que além das limitações relacionadas aos equipamentos experimentais o efeito do *crosstalk* provoca degradações significativas, principalmente nos cenários em RF. Por outro lado, esse efeito é minimizado nas transmissões em IF em que é possível utilizar um maior número de subportadoras com menor penalidade no desempenho.

V. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Universidade de Aveiro (Portugal), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro (IT).

VI. Referências

[1] Cisco Systems, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020," pp. 1-39, 2016.

[2] L. Korowajczuk, *LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*, Wiley, 2011.

[3] China Mobile Research Institute, "C-RAN: The Road Towards Green RAN," in C-RAN Int. Workshop, Beijing, 2010.

[4] R.S. Oliveira et al., "Cost-effective digital radio over fiber system," in MOMAG, Curitiba, PR, 2014, pp. 1-4.

[5] R.S. Oliveira, "Cenários de Redes de Acesso para Integração de Redes Ópticas e Sem Fio Baseadas em Sistemas de Rádio sobre Fibra," D.S. thesis, PPGEE, UFPA, Belém, PA, 2016.

[6] C.H. Lee, *Microwave Photonics*, CRC Press, 2013.

[7] *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Radio Transmission and Reception*, 3GPP TS 36.104 version 11.8.2 Release 11, 2015.

Nascimento, K.P.; Silva, D.L.L.; Oliveira, R.S.; Costa, J.C.W.A., Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil, karytha@ufpa.br, daniel.levy@itec.ufpa.br, nei@ufpa.br, uliweyl@ufpa.br e jweyl@ufpa.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.