

Sistema *Gap Filler* assistido por Rádio sobre Fibra

Gislaine Abreu Mendonça, Ramon Maia Borges, Arismar Cerqueira Sodré Junior

Resumo—Este trabalho apresenta uma análise experimental de um sistema “*Gap Filler*” assistido por rádio sobre fibra (RoF) para aplicações de televisão (TV) digital. Tal sistema explora vantagens oriundas das comunicações ópticas, como a imunidade à interferência eletromagnética, para mitigar a interferência por realimentação tipicamente presente nas estações repetidoras de radiofrequência (RF) operando em canal único. Os resultados demonstram a otimização de desempenho na estação repetidora através da métrica *modulation error ratio* (MER), que ultrapassou 42 dB. A solução técnica em questão possui também potencial de aplicação para outras tecnologias sem fio.

Palavras-chave— *Gap Filler*, Rádio sobre Fibra, TV digital

Abstract—This work presents an experimental analysis of a radio over fiber (RoF)-assisted *Gap Filler* system for digital television (DTV) applications. Such system takes advantages from optical communications as electromagnetic interference immunity to mitigate echoes, i.e. interference from coupling loop wave typically found on on-channel repeater stations. The results demonstrate a digital performance enhancement at the repeater, which has achieved *modulation error ratio* (MER) above 42 dB. The current technical solution is also potential to address other wireless technologies.

Keywords— Digital TV, *Gap Filler*, Radio over Fiber.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização dos sistemas de telecomunicações trouxe transformações e impactos importantes para a sociedade, que vão desde a melhoria de serviços até a viabilização de aplicações inovadoras. Trata-se de um processo corrente e com ampla margem de expansão rumo à inclusão digital, principalmente em países emergentes e/ou com dimensões continentais. No Brasil, por exemplo, o programa “Digitaliza Brasil” aponta o objetivo de expandir a cobertura de televisão (TV) digital aberta, visto que mais de 1500 municípios ainda não contam com a tecnologia em questão e 75% das cidades não concluíram a migração para o sinal digital [1].

Uma das soluções técnicas para ampliar a cobertura de TV digital terrestre e levar o serviço gratuito de radiodifusão a regiões desprovidas de sinal e/ou áreas de sombra é o uso de *Gap Filler* (GF), que remete a um sistema repetidor de radiofrequência (RF) em canal único conforme ilustra a Fig. 1(a). Neste tipo de sistema, uma estação transmissora (TX) faz a transmissão principal geralmente para grandes centros urbanos, por exemplo, na frequência f_1 , enquanto uma estação repetidora em local estratégico recebe e retransmite as ondas de rádio na mesma frequência f_1 , de modo a proporcionar cobertura para uma região específica fora da abrangência da primeira [2]. São, portanto, elementos chave da estação

repetidora: uma antena de recepção (em cor azul na Fig. 1(a)), que capta o sinal oriundo da transmissão principal; um equipamento repetidor de RF, também identificado como GF; uma antena de retransmissão (em cor preta na Fig. 1(a)), que irradia o sinal de TV em *broadcast* na direção da área a ser atendida. Embora sistemas GP tenham a importante vantagem de prover cobertura de TV digital sem uso de espectro radioelétrico adicional, sofrem, em contrapartida, com o problema de onda interferente por realimentação na estação repetidora. Este problema é causado pelo acoplamento de ondas entre a antena receptora e retransmissora. Para combatê-lo, algumas estratégias são tipicamente utilizadas: uso de antenas com elevada relação frente-costa; isolamento das antenas de recepção e retransmissão, embora estas sejam comumente instaladas na mesma torre de telecomunicações; uso de cadeias de processamento digital de sinais (DSP) e filtros no equipamento de rádio repetidor, ainda que a complexidade do mesmo aumente ao incorporar a funcionalidade “cancelador de eco” [2-6]. Entretanto, mesmo com o emprego das estratégias citadas, há degradação significativa do parâmetro *modulation error ratio* (MER) na estação repetidora, o que limita o desempenho do sistema em questão. Cabe ainda ressaltar que o bloco cancelador de eco pode perder eficiência em função das condições da instalação e do comportamento dinâmico do eco.

O presente trabalho propõe e avalia experimentalmente, em ambiente de laboratório, um sistema *Gap Filler* assistido por rádio sobre fibra (RoF) para aplicações de TV digital terrestre. Tal sistema, ilustrado na Fig. 1(b), explora infraestrutura óptica existente para distribuir sinais de RF até estações repetidoras, de modo a eliminar a interferência por realimentação e proporcionar MER acima de 40 dB mesmo após quilômetros de distribuição. O objetivo é validar a solução técnica em discussão e demonstrar seu potencial como alternativa frente às soluções convencionais para o provimento de cobertura de radiodifusão digital.

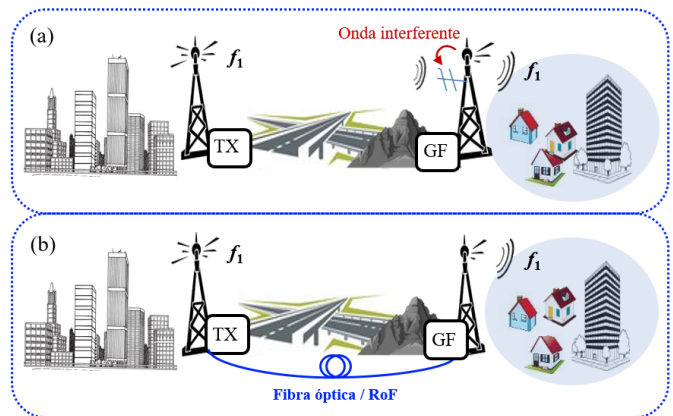


Fig. 1. Ilustração de um Sistema *Gap Filler*: (a) Sistema convencional, operando exclusivamente no domínio elétrico; (b) Sistema assistido por rádio sobre fibra. TX- transmissor; GF- *gap filler*/repetidor.

Gislaine Abreu Mendonça e Arismar Cerqueira S. Jr, Inatel, Santa Rita do Sapucaí-MG, e-mail: arismar@inatel.br; Ramon Maia Borges, UNIFEI, Itajubá-MG, ramonmb@unifei.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pela Finatel.

II. ANÁLISE EXPERIMENTAL DE SISTEMAS *GAP FILLER*

Esta seção descreve as implementações em ambiente de laboratório e resultados dos sistemas GF convencional e assistido por RoF. Tais implementações contam com o uso de um transmissor de TV digital sintonizado no canal 24 (530 a 536 MHz) e apto a oferecer MER ótima igual a 43,5 dB.

A. *Gap Filler convencional*

Na implementação do sistema GF convencional, o transmissor foi configurado para operar no modo repetidor. Sua saída de RF foi entregue a um acoplador direcional, de modo que a maior parcela de potência fluiu para uma carga, enquanto amostras do sinal de saída foram direcionadas para um analisador vetorial de sinais (VSA - *vector signal analyzer*) e para um atenuador de passo, respectivamente. A saída do atenuador foi conectada a um combinador 2:1, que recebeu em sua outra entrada o sinal de RF oriundo de um gerador de sinais no padrão brasileiro de televisão digital (ISDB-Tb - *Brazilian transmission standard for digital terrestrial broadcasting*). A saída do combinador foi então conectada à entrada de RF do equipamento de rádio (repetidor). Assim, foi implementado um cenário que pode ser aproximado àquele descrito pela Fig. 1(a), visto que na entrada do repetidor tem-se o sinal proveniente do gerador (referente ao sinal que seria captado pela antena receptora em campo), combinado com réplica defasada e atenuada (referente à onda interferente por realimentação). Como resultado, obteve-se MER igual a 34,8 dB, em concordância com os níveis de desempenho apontados em especificações técnicas de GF comerciais [2, 3].

B. *Gap Filler assistido por Rádio sobre Fibra*

A Fig. 2(a) reporta o diagrama em blocos do sistema GF assistido por RoF. A saída de RF do transmissor de TV digital é conectada a uma carga de RF enquanto uma amostra deste mesmo sinal, com potência igual a 0 dBm, é entregue ao módulo RoF (OZ101 Mini) de transmissão. Este, por sua vez, realiza a conversão eletro-óptica e transmite uma portadora óptica (em 1551 nm) modulada com o sinal de RF por 25 km de fibra óptica monomodo (SMF - *single mode fiber*), alcançados com a conexão sequencial de dois carretéis de fibra de 12,5 km cada. É válido ressaltar que o transmissor de TV digital, a carga de RF e o módulo RoF de transmissão remetem aos elementos da estação transmissora do sistema repetidor. Na extremidade do enlace óptico, ponto correspondente à estação repetidora, um medidor de potência óptica (OPM - *optical power monitor*) monitora a potência entregue ao módulo RoF de recepção (OZ101 Mini), que realiza a conversão optoeletrônica e entrega o sinal de TV digital já na frequência de canal para o VSA.

A Fig. 2(b) mostra uma fotografia da montagem experimental. Devido à ausência da antena receptora na estação repetidora, conforme Fig. 1(b), bem como à característica de imunidade à interferência eletromagnética, oriunda da fibra óptica, não há interferência por realimentação no sistema em estudo, não sendo necessário emular realimentação para reproduzir o sistema em bancada de laboratório. Os resultados obtidos através do VSA (Fig. 2(c)) indicam constelação bem definida e MER acima de 42 dB, o que representa degradação inferior a 1 dB para este parâmetro na estação repetidora, mesmo após os 25 km de distribuição via fibra óptica. Tais resultados validam a possibilidade de otimização de sistemas repetidores de RF em frequência única ao utilizar a tecnologia rádio sobre fibra onde houver fibra óptica instalada.

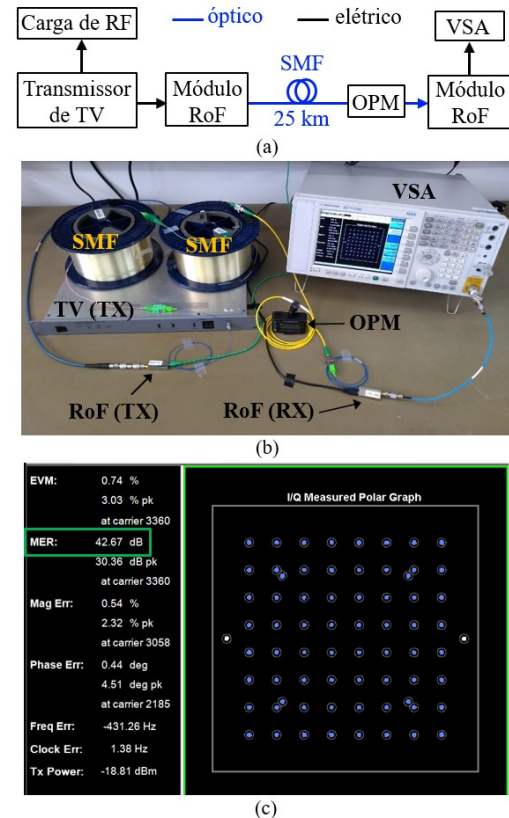


Fig. 2. Implementação do sistema GF assistido por RoF: (a) diagrama em blocos; (b) fotografia da montagem experimental; (c) resultados.

III. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma análise experimental de um sistema GF assistido por RoF para aplicações de TV digital. Tal sistema proporcionou MER acima de 42 dB na estação repetidora, distante 25 km da estação transmissora. Os resultados indicam a possibilidade de otimização dos sistemas GF com a solução em questão. Um possível impacto é o favorecimento à expansão do serviço de TV digital, de modo que este atenda uma maior parcela da população. Outro possível impacto, associado ao anterior, remete à contribuição para o desligamento do sinal analógico e consequente liberação de janela espectral, podendo esta acomodar tecnologias que também contribuam para a inclusão digital. Sugestões para trabalhos futuros incluem investigações em ambiente externo.

REFERÊNCIAS

- [1] Ministério das Telecomunicações, “Digitaliza Brasil,” [Online]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/digitaliza-brasil-1>. Acessado: Jun. 2022.
- [2] Rohde&Schwarz, “Dealing with external interference in a gap filler network,” *White Paper*, Aug. 2018.
- [3] Tecsyst, “Gap Fillers e transmissores resfriados a ar ultracompactos,” *Catálogo de produtos*. Acessado: Jun. 2022.
- [4] E. M. Ar-Reyouchi et al., “Very high-performance echo canceller for digital terrestrial television in single frequency network,” *Int. J. Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 2, pp. 368-376, 2020.
- [5] E. M. Ar-Reyouchi, “An efficient filtering technique of gap filler system for multi-standards digital terrestrial TV in a SFN,” *Journal of Internet Technology*, vol. 21, no. 5, pp. 1325-1334, 2020.
- [6] M. Mendicute et al., “Design, simulation and implementation of a channel equalizer for DVB-T on-channel repeaters,” in *IEEE Int. Conf. on Systems and Networks Communications*, 2008.