

Desenvolvimento de Modems para Canais Ionosféricos na Faixa de HF

Marcio Nascimento Bispo e Juraci Ferreira Galdino
Instituto Militar de Engenharia - Praça General Tibúrcio, 80, Urca, Rio de Janeiro, RJ

Resumo — As comunicações ionosféricas na faixa de HF apresentam algumas boas características para o provimento de transmissão digital em sistemas de defesa, tais como grande alcance, facilidade de implantação de novos enlaces, além de baixo custo de implantação, utilização e manutenção. Porém apresentam sérios inconvenientes, sendo a flutuação da qualidade dos serviços prestados e as baixas velocidades de transmissão os mais importantes. No Instituto Militar de Engenharia diversos trabalhos de pesquisa vêm sendo realizados no sentido de suplantarem esses óbices, bem como o desenvolvimento de modems para transmissão nesses cenários de comunicação. Este artigo apresenta alguns desses trabalhos, com ênfase voltada para o projeto de desenvolvimento do modem.

Palavras-chaves — transmissão digital, canais de HF, modems, modulação adaptativa.

I. INTRODUÇÃO

As comunicações ionosféricas na faixa de HF (3-30MHz), apresentam boas características para o provimento de transmissão digital em diversas aplicações de grande interesse civil e militar. Entre outras características vantajosas, merece destaque a possibilidade de proporcionar um meio autônomo para comunicações à longa distância, aspecto fundamental para um país de grandes dimensões geográficas como o Brasil, que apresenta grandes vazios populacionais e cuja infra-estrutura de telecomunicações está entregue à iniciativa privada.

Em particular, em áreas como a Amazônia Legal, aquela pertencente à Nação brasileira, esse meio de comunicação pode representar uma boa alternativa às comunicações satelitais, principalmente no contexto de aplicações militares devido à facilidade de implantação de novos enlaces, à baixa vulnerabilidade operacional e ao baixo custo de implantação, utilização e manutenção. Porém, em relação às comunicações por satélite, os enlaces ionosféricos na faixa de HF possuem duas importantes desvantagens: grande flutuação da qualidade dos serviços prestados e baixas velocidades de transmissão. Tais desvantagens decorrem dos mecanismos de propagação inerentes às camadas ionosféricas e das estreitas larguras de banda adotadas por organismos de padronizações internacionais.

Ao longo dos últimos anos tem crescido o interesse em prover comunicações digitais via ionosfera, e avanços tecnológicos vêm sendo obtidos nessa área. Apesar disso, a efetiva exploração das vantagens oferecidas pela propagação

ionosférica em HF é hoje um desafio para pesquisadores e empresas de diversos países do mundo.

Um ponto crucial desse desafio é obter maiores velocidades de transmissão e serviços mais estáveis, através do desenvolvimento e adoção de técnicas de transmissão digital com boas características de desempenho. Nesse contexto se destacam o desenvolvimento de técnicas de transmissão adaptativa, em que os parâmetros do sistema de transmissão são selecionados de acordo com as condições de propagação do canal; de sofisticadas técnicas de equalização adaptativa, para fazer frente aos severos padrões de interferência entre símbolos, mormente quando são empregadas estratégias de modulação com elevada eficiência espectral; e técnicas de codificação de canal, com capacidade de correção de erros cada vez maiores.

Um grupo de alunos de graduação e pós-graduação, professores e pesquisadores da Seção de Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia realiza, no Laboratório de Comunicações Digitais (LCD), trabalhos de simulação e avaliação de desempenho de sistemas de transmissão digital em canais de HF; pesquisas em turbo-equalização, transmissão adaptativa, modulação OFDM e filtragem adaptativa para emprego em cenários de comunicações que apresentam os distúrbios típicos dos canais de HF, bem como a implementação em DSP de técnicas de transmissão digital para o desenvolvimento de protótipos de MODEMS. Dessa forma, busca-se contribuir com a futura formação de uma infra-estrutura relativamente barata de comunicações digitais em HF, desenvolvidas autonomamente em nosso país e adaptada às nossas condições geográficas.

Neste artigo são discutidos, de forma resumida, alguns trabalhos que vêm sendo desenvolvidos no LCD. Ênfase especial é dada ao projeto intitulado Desenvolvimento de Modems para Canais Ionosféricos na Faixa de HF.

II. MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO

O provimento de serviços de comunicações digitais em países como o Brasil tem esbarrado em diversos problemas, tais como a grande extensão territorial, os grandes vazios populacionais e de infra-estrutura e carência de recursos. Em áreas de cobertura vegetal espessa, como a Amazônia, mesmo as comunicações via satélite sofrem deterioração devido à absorção da energia eletromagnética pela folhagem. Nesses casos, uma das possibilidades para o provimento de acesso, mesmo que limitado, a serviços modernos de comunicações seria o uso de redes de rádio-comunicações operando na faixa de HF.

Atualmente, com o uso de protocolos adequados, já é possível acessar e-mails e navegação modo texto baseado em sistemas de transmissão em HF [2]. Desta forma, esses sistemas podem se constituir em um recurso valioso para integração de comunidades à Internet. Uma experiência dessa

Marcio Nascimento Bispo, bispo@ime.eb.br, Tel +55-21-38204149, Fax +55-21-25467039; Juraci Ferreira Galdino, galdino@ime.eb.br, Tel +55-21-38204149, Fax +55-21-25467039.
Este trabalho foi financiado pelo Plano Básico de Ciência e Tecnologia (PBCT) do Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro.

natureza bem sucedida foi realizada na África [3], utilizando Modems comerciais para HF.

Com o avanço de pesquisas nas áreas de protocolos de comunicação e transmissão digital para sistemas de comunicações operando na faixa de HF, pode-se ter um aumento nas velocidades de transmissão e melhoria de outras figuras de mérito comumente empregadas como indicadores de desempenho desses sistemas, abrindo novas possibilidades para o provimento de serviços a comunidades ou a tropas remotamente localizadas.

Cabe notar ainda que, por suas características peculiares de propagação, simplicidade de implementação e mobilidade, os sistemas de comunicação em HF podem ser bem apropriados ao atendimento de emergências em áreas ermas (acidentes com aeronaves em regiões de baixa densidade demográfica, por exemplo), e também a operações táticas militares ou para-militares (polícias, corpo de bombeiros etc).

Por outro lado, as redes de rádio-comunicações na faixa de HF têm importância estratégica para o Brasil, como se pôde verificar, por exemplo, na transição do ano de 1999 para 2000, quando dos preparativos para a eventualidade do “bug do milênio”. Nesta ocasião, uma rede de HF de emergência foi consolidada pela junção das redes das Forças Armadas, defesa civil, polícias militares e radioamadores, pois havia a preocupação com a possibilidade de um “apagão telefônico” de extensão mundial.

O empenho do governo dos Estados Unidos da América na criação de redes de emergência formada por radioamadores, a serem facilmente integradas a outras redes [4], o uso de canais de HF no estabelecimento de enlaces de comunicação entre os EUA e seus aliados em recentes conflitos, bem como aplicações de localização e transmissão de dados baseadas em APRS [5], são alguns dos inúmeros exemplos que comprovam a importância estratégica dos sistemas de transmissão digital em HF.

Levando-se em conta a grande extensão territorial do Brasil e o fato de que a rede de telecomunicações do País foi privatizada e em grande parte se encontra nas mãos de empresas estrangeiras, o desenvolvimento de tecnologias de transmissão em HF para se dispor no futuro de uma rede autônoma, de cobertura nacional, que possa atender a demanda das Forças Armadas e ser acionada em caso de falhas ou impedimentos na rede comercial trata-se de um tema de natureza estratégica.

Para explorar plenamente os canais de HF é necessário enfrentar diversas limitações características da transmissão ionosférica nesta faixa de frequências, tais como: a estreita canalização de 3 KHz adotada internacionalmente; o distúrbio de desvanecimento seletivo em frequência que caracteriza tais canais; a presença de ruídos de difícil caracterização estatística e de interferências provenientes de outras estações operando em HF a longas distâncias; além de variações nas condições de propagação em diferentes escalas de tempo, de poucos minutos até o ciclo de atividade solar de 11 anos.

As dificuldades para transmissão digital em HF podem ser ainda maiores em países cujas condições climáticas são significativamente diferentes das dos países de clima temperado, as quais geralmente têm sido tomadas como referência na investigação de novos sistemas de transmissão. Devido à sua grande extensão territorial e à sua localização geográfica, o efeito dessas diferenças climáticas pode ser

particularmente importante num país como o Brasil, levando à necessidade do desenvolvimento de equipamentos mais adequados à operação nas condições locais. Essa abordagem, além de conferir autonomia em uma área importante para os sistemas de defesa, pode possibilitar o estabelecimento de enlaces de HF mais eficientes que os obtidos com a aquisição de equipamentos no mercado internacional.

III. DETALHAMENTO DO PROJETO

O projeto intitulado “Desenvolvimento de Modems para Canais Ionosféricos na Faixa de HF”, sob a responsabilidade da Seção de Engenharia Elétrica (SE/3) do Instituto Militar de Engenharia (IME), é um dos objetivos intermediários do Grupo de Comando e Controle (GC2) do Plano Básico de Ciência e Tecnologia (PBCT). O referido projeto está sendo desenvolvido no Laboratório de Comunicações Digitais da SE/3 do IME e a previsão para conclusão do primeiro protótipo é dezembro de 2009.

O projeto visa ao estabelecimento de transmissão de dados em canais ionosféricos na faixa de HF utilizando um rádio analógico para realizar, dentre outras, as funções de modulação analógica e de RF. Para obter a transmissão digital utilizando esse equipamento analógico, pretende-se desenvolver um Modem que servirá de interface entre a fonte de informação e o equipamento rádio, tanto no lado de transmissão, quanto no de recepção.

O Modem compreende basicamente as técnicas de modulação, filtragem de transmissão e recepção, sincronização, equalização, controle automático de ganho e codificação de canal (código corretor de erro). Essas técnicas de transmissão digital serão implementadas em DSP de ponto flutuante da *Texas Instruments* e adotarão formas de ondas e estruturação de dados de acordo com o padrão MIL-STD-188-110B. Inicialmente, pretende-se implementar técnicas consagradas como os esquemas de sincronização *Costas Loop*, as técnicas de equalização do tipo DFE (*Decision Feedback Equalization*), algoritmos de filtragem adaptativa Fast QR e algoritmos de decodificação de Viterbi.

As Fig. 1 e 2 apresentam, de maneira simplificada, os diagramas de blocos do esquema proposto operando no modo de transmissão (Fig. 1) e no de recepção (Fig. 2). No lado de transmissão, o Modem realiza, basicamente, as funções de codificação de fonte, modulação digital e filtragem, esta última para conferir a forma de onda do sinal modulado às características espectrais desejadas.

Conforme ilustrado na Fig. 1, o sinal assim gerado segue para a entrada de áudio do rádio, no qual, como mencionado previamente, são implementados os estágios de filtragem, modulação analógica e RF. No lado de recepção, a partir do sinal capturado na saída de áudio do rádio, o Modem realiza as funções de filtragem, sincronização, equalização adaptativa, demodulação e decodificação de fonte. Os blocos hachurados nas figuras - codificação de fonte (técnicas de compressão) e criptografia - não fazem parte do desenvolvimento ora em discussão.

O projeto prevê o desenvolvimento de várias versões de Modems (Tabela I), sendo que a primeira delas, cuja conclusão está prevista para dezembro de 2009, será baseada em técnicas de transmissão consagradas, simples e robustas. As versões subsequentes deverão incorporar técnicas mais sofisticadas de codificação de canal, modulação, equalização e protocolos de comunicações. Muitas das quais foram ou

estão em fase de desenvolvimento por membros da equipe executora deste projeto [6-13].

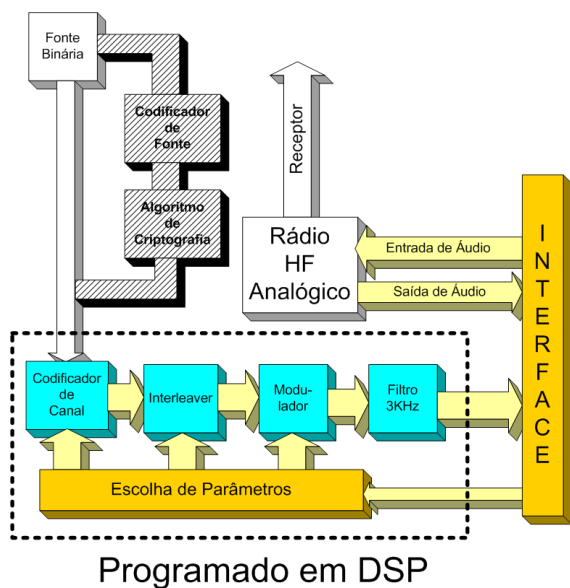


Fig. 1. Diagrama de blocos do transmissor proposto.

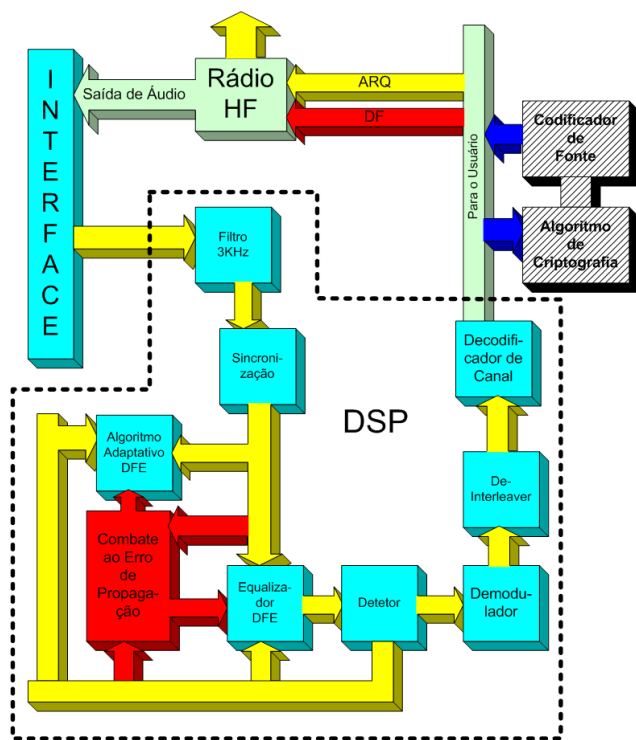


Fig. 2. Diagrama de blocos do receptor proposto.

TABELA I VERSÕES DE MODEMS, SUAS FUNCIONALIDADES E PRAZOS PARA DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS

Versão	Funcionalidades Técnicas	Prazo
1	Técnica de modulação PSK, Equalizador DFE, e Código convolucional.	Dezembro de 2009
2	Técnica de controle de erro ARQ.	Dezembro de 2010
3	Técnicas de modulação adaptativa e turbo-equalização.	Dezembro de 2011
4	Protocolo ALE.	Dezembro de 2012

A primeira versão deverá incorporar técnicas de modulação PSK, esquema de equalização com realimentação

de decisão DFE e código convolucional para correção de erro. Na segunda versão, pretende-se incorporar uma estratégia de correção de erro com realimentação (ARQ, do termo em inglês *Automatic Repeat reQuest*). Na terceira versão pretende-se incorporar técnicas de modulação adaptativa, possibilitando aumentar automaticamente a taxa de transmissão quando o canal apresenta boas condições de propagação e reduzi-la, para conferir boas características em termos de taxa de erro, quando as condições de propagação do canal forem ruins. Além disso, pretende-se incluir nessa versão a técnica de equalização turbo, em razão das boas taxas de erro de bit que podem ser obtidas com essa técnica de recepção. Na quarta versão, pretende-se incluir o protocolo para estabelecimento automático de enlace (ALE, do termo em inglês *Automatic Link Establishment*). Mediante contínuo monitoramento de canais de HF, esse protocolo pode escolher automaticamente aquele que apresenta as melhores características de propagação para estabelecer o enlace.

Com exceção das técnicas previstas para serem incorporadas na primeira versão do Modem, as demais representam temas de pesquisa atual. Nesse sentido, vale mencionar que os pesquisadores da SE/3 do IME já desenvolveram importantes contribuições nessas áreas, documentadas em diversas publicações.

IV. MODULAÇÃO ADAPTATIVA

Conforme apresentado na Tabela 1 pretende-se incorporar técnicas de modulação adaptativa na 3ª versão do modem. Nesta seção são apresentados, de forma bastante sumária, a idéia central que motivou o desenvolvimento dessas técnicas e algumas questões em aberto em torno desse tema. Maiores detalhes nesse assunto podem ser encontrados em [14,15].

As técnicas de modulação clássicas, como, por exemplo, a QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), quando aplicadas a canais variantes no tempo, como canais de HF e de comunicações móveis, não utilizam de forma eficiente a largura de banda e potência de transmissão, pois para se atingir baixas taxa de erro de bit é preciso dimensionar esses recursos para as condições de propagação severas. É essa dificuldade que as técnicas de modulação adaptativa buscam contornar.

Em contraposição as técnicas de modulação clássicas, as modulações adaptativas permitem variar a constelação durante a transmissão, possibilitando, dessa maneira, adaptar as formas de onda na saída do transmissor às condições de propagação do canal.

Quando o canal apresenta excelentes condições de propagação (elevadas razão sinal ruído, RSR, instantâneas), é possível atingir reduzidas taxas de erro de bit (BER - do termo em inglês *Bit Error Rate*) usando modulações com elevada eficiência espectral. Por outro lado, quando o canal apresenta severas condições de propagação (profundas atenuações – baixos valores de RSR instantâneas), para se obter baixos valores de BER deve-se adotar uma modulação com poucos pontos na constelação, e que, portanto, possuem baixa eficiência espectral.

A Figura 3 representa um diagrama de blocos em banda básica de um enlace de comunicação digital que emprega a técnica de modulação adaptativa

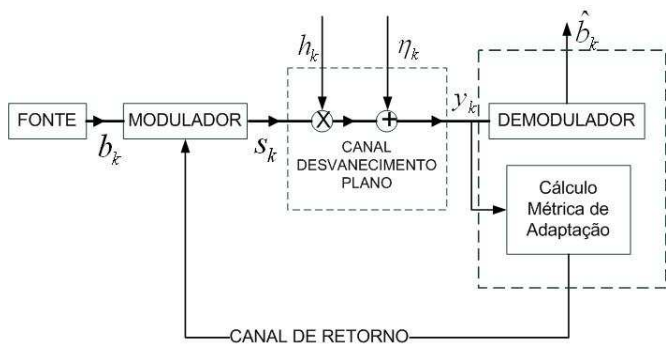


Figura 3: Diagrama de bloco básico de um enlace dotado de modulação adaptativa.

Nesses sistemas emprega-se um conjunto de N modulações clássicas, normalmente QAM com diversas constelações, em razão do bom compromisso entre eficiência espectral e probabilidade de erro de *bit* que essa modulação oferece em comparação com as demais modulações clássicas [9].

Após a modulação o sinal é transmitido ao receptor através de um canal que distorce e corrompe com ruído a forma de onda transmitida. O sinal recebido é empregado para detectar a informação transmitida, e também para estimar a RSR instantânea, que deve ser enviada ao transmissor através do canal de retorno. No transmissor essa informação é utilizada na escolha da modulação a ser empregada no envio do próximo bloco de dados.

Geralmente as variações de RSR instantânea entre quadros vizinhos são, normalmente, pequenas. Assim sendo, a estimativa desse parâmetro obtida em um determinado bloco pode descrever com boa fidelidade a situação do canal no próximo bloco de dados. É com base nessa correlação que as estratégias de modulação adaptativa se baseiam.

Como ilustrado na Figura 3, essa estratégia de modulação requer o emprego de um canal de retorno, através do qual estimativas do estado do canal (RSR instantânea), obtidas no receptor, são enviadas para o transmissor para fins de seleção da constelação a ser adotada na transmissão do próximo bloco de dados. Essa escolha depende não apenas dessas estimativas, mas também da probabilidade de erro almejada pelo sistema de comunicação; das constelações disponíveis no sistema de transmissão; e, principalmente, dos limiares de adaptação.

As figuras 4 e 5 apresentam curvas de desempenho (probabilidade de erro de bit na Figura 3 e Eficiência espectral – bps/Hz) de um sistema de modulação adaptativa e de técnicas de transmissão convencionais (QAM-4, QAM-16, QAM-64 e QAM-256). A estratégia de modulação adaptativa emprega cinco modos de transmissão: não transmissão, QAM-4, QAM-16, QAM-64 e QAM-256.

A partir de uma análise conjunta dessas curvas, vê-se uma grande vantagem de desempenho da estratégia de modulação adaptativa em comparação com as técnicas clássicas. Por exemplo, para uma RSR maior do que 16 dB a modulação adaptativa propicia uma taxa de erro praticamente igual a da modulação QAM-16, porém com a eficiência espectral superior a do QAM-64.

Apesar de suas excelentes características de desempenho, as técnicas de modulação adaptativa apresentam alguns problemas, os quais têm motivado a realização de

várias pesquisas, sendo os mais importantes associados ao canal de retorno, tais como o atraso e erros [15-17].

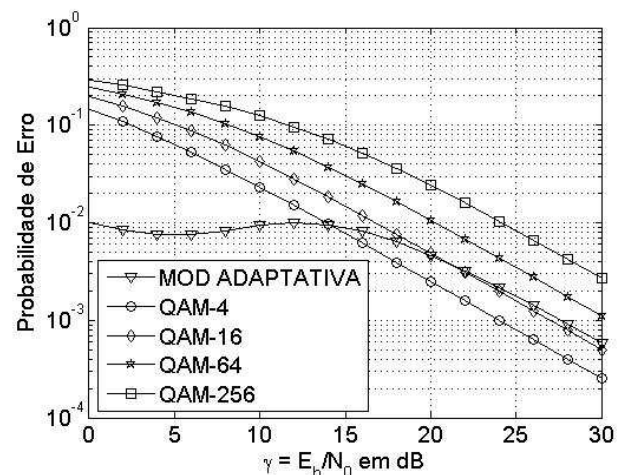


Figura 4: Probabilidade de erro de *bit* para modulações QAM e Adaptativa.

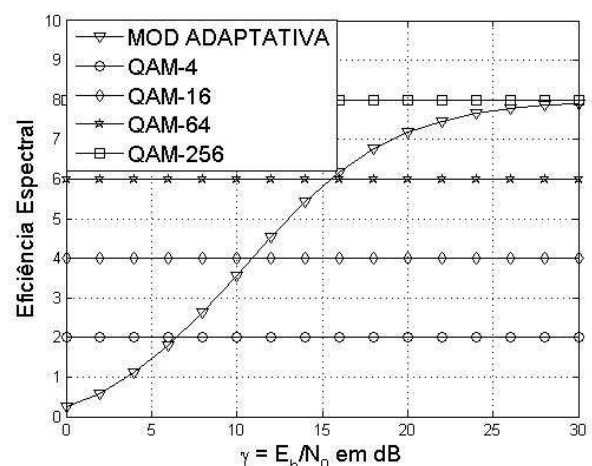


Figura 5: Eficiência espectral para modulações QAM e Adaptativa.

O atraso do canal de retorno pode comprometer a adaptação da estratégia de modulação, principalmente quando as variações temporais do canal de comunicação são significativas no interregno entre a estimativa do estado do canal, no lado de recepção, e o emprego dessa informação no transmissor para fazer a escolha da modulação a ser adotada no próximo bloco de dados. Os erros no canal de retorno, por seu turno, podem provocar escolhas de modos de transmissão inadequados ao estado do canal, degradando sobremodo a taxa de erro de bit do sistema de transmissão adaptativa [15-17].

Diversos trabalhos de mestrado do programa de Engenharia Elétrica do IME e um de doutorado, este último que está sendo realizado no Programa de Pós-graduação de Engenharia de Defesa (PGED) do IME, apresentam contribuições aos problemas apontados acima.

Em [18] foi realizada análise da função de autocorrelação da RSR instantânea e, como base nessa análise, propôs-se uma nova estratégia de predição linear para contornar o efeito do atraso do canal de retorno no desempenho do sistema de modulação adaptativa.

Em [11] propôs-se uma nova métrica para fins de adaptação do modo de transmissão. A estratégia proposta apresenta a vantagem de poder ser aplicada tanto para canais

com desvanecimento plano quanto para canais com desvanecimento seletivo em frequência, em contraposição as métricas tradicionais que só podem ser adotadas para canais com desvanecimento plano [14-15].

Em [15-17] realizou-se o estudo da degradação de desempenho dos sistemas de transmissão adaptativa em presença de distúrbios do canal de retorno.

Atualmente estão sendo investigadas novas estratégias para mitigar a degradação de desempenho na técnica de modulação adaptativa provocadas pelos distúrbios do canal de retorno.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma apropriada base tecnológica e industrial relacionada à defesa e a formação de núcleos de pesquisa em áreas sensíveis são características indispensáveis para sistemas de defesa. É de suma importância que esses setores disponham de competência e infra-estrutura capazes de proporcionar autonomia em termos de capacidade científico-tecnológica e de produção de material de defesa, uma vez que a dependência externa nesses setores se constitui em uma grave vulnerabilidade estratégica desses sistemas.

Em países com modestos recursos tecnológicos, os benefícios imediatos da importação de equipamentos de defesa não podem ser utilizados como argumentos para substituir ou até mesmo prejudicar os objetivos de longo prazo, os quais passam indubitavelmente pela dominação científico-tecnológica. Em suma, é peremptório que o Brasil desenvolva ciência e tecnologia voltadas para a área de defesa.

Ao longo dos últimos anos tem crescido em todo o mundo o interesse em se utilizar as comunicações em HF como infra-estrutura para o fornecimento de comunicações digitais, e avanços tecnológicos vêm sendo obtidos nessa área. Apesar disso, a efetiva exploração das vantagens oferecidas pela propagação ionosférica em HF é hoje um desafio para pesquisadores e empresas de diversos países do mundo. Um ponto crucial desse desafio é obter taxas de transmissão mais elevadas, através de novas técnicas de modulação e equalização adaptativas.

O presente projeto se destina a contribuir com a formação futura de uma rede HF, inicialmente através do desenvolvimento de protótipos que envolvem técnicas simples e consagradas de transmissão digital e, posteriormente, buscando o desenvolvimento de protótipos incorporando novas tecnologias de processamento de sinais, com o intuito de gerar alternativas que contribuam para a criação de uma infra-estrutura relativamente barata e eficiente de comunicações digitais em HF desenvolvida autonomamente em nosso País.

Um projeto desta natureza pode contribuir para a futura produção de equipamentos de comunicações em HF no Brasil, com tecnologia própria e adaptada às nossas condições geográficas, bem como possibilitar o desenvolvimento de aplicações militares, mormente em áreas remotas.

É importante também mencionar que além do envolvimento de pesquisadores, o desenvolvimento deste projeto também possibilita a participação de alunos de graduação e mestrado com atividades de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo assim para a constante

formação de pessoal qualificado em tecnologias de comunicações digitais.

Em suma, os temas focalizados neste projeto envolvem problemas tipicamente encontrados em diversas aplicações de sistemas de comunicações sem fio. São temas atuais que vêm despertando o interesse de pesquisadores renomados pertencentes a grandes centros de pesquisas nacionais e internacionais. Além disso, buscam reduzir a dependência tecnológica no setor das comunicações e a implementação de nossas próprias soluções para problemas genuinamente nacionais, mormente no que se refere ao provimento de comunicação para populações e tropas remotamente localizadas em regiões ermas, como a tipicamente encontrada na Amazônia Legal.

REFERÊNCIAS

- [1] DUARTE, F. L.; PINTO, E. L.; GALDINO, J. F., Performance of a New Decision Feedback Equalizer using Filtering Diversity over HF Channels. In: International Conference on Ionospheric Radio Systems, 2006, Londres. Proceedings of the 10th IET International Conference on Ionospheric Radio Systems, 2006. p. 276-280.
- [2] - Johnson, E.E., Interoperability and Performance Issues in HF E-Mail, Proceedings of 2001 IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2001), IEEE, McLean, VA, October 2001.
- [3] - Marshall, W. - Radio E-mail in West Africa: The complete version posted, <http://www.linuxjournal.com/article.php?sid=6299>, 2002.
- [4] - Federal Emergency Management Agency - <http://www.fema.gov/library/civilpg.shtm>
- [5] - Faria, P. C. C.; Ramos, M. G., "APRS - Uma Nova Perspectiva para as Comunicações Militares em HF", Spectrum, pp. 14-17, Dez., 2005.
- [6] Galdino, J. F.; Pinto, E. L.; Alencar, M. S. Analytical Performance of the LMS Algorithm on the Estimation of Wide Sense Stationary Channels. IEEE Transactions on Communications, v. 52, n. 6, p. 982-991, 2004.
- [7] Galdino, J. F.; Sousa, E. S.; Pinto, E. L.; Alencar, M. S. . Detection of Equalization Errors in Time-Varying Channels. Lecture Notes in Computer Science, v. 3124, p. 568-577, 2004.
- [8] A Filho, A. M.; Pinto, E. L.; Galdino, J. F. . A New Variable Step-Size LMS Algorithm for the Estimation of Time-varying and Frequency-selective Channels. Electronics Letters, v. 40, n. 20, p. 1312-1313, 2004.
- [9] Galdino, J. F.; Pinto, E. L.; Alencar, M. S. . Using Denoising at the Receiver Front-end for Frequency-Selective Channels. IEEE Transactions on Communications, v. 51, n. 5, p. 727-729, 2003.
- [10] Samary, A. H. G.; Pinto, E. L.; Galdino, J. F. Técnicas de Combate a Propagação de Erros de Decisão em Equalizadores do Tipo DFE. In: Anais do 12o Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica (MOMAG), 2006, Belo Horizonte.
- [11] Rodrigues, A. C. Da S.; Galdino, J. F. Modulação Adaptativa Baseada na Detecção de Erros Para Canais Com Desvanecimento Seletivo em Frequência. In: Anais do 12o Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica (MOMAG), 2006, Belo Horizonte.
- [12] Sá Neto, L. C. De; Galdino, J. F.; Pinto, E. L. . New Switching Linear Turbo Equalizers with Three Vector of Coefficients. In: VI International Telecommunications Symposium (ITS), 2006, Fortaleza. Proceedings of VI International Telecommunications Symposium, 2006.
- [13] Dias, J. T.; Galdino, J. F.; Pinto, E. L.. Desempenho de algoritmos de sincronização em sistemas OFDM. In: Anais do 12o Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica (MOMAG), 2006, Belo Horizonte.
- [14] Galdino, J. F., Modulação Adaptativa: Princípios e Características de Desempenho, Revista Militar de Ciência e Tecnologia, 2º Quadrimestre, 2008.
- [15] Antony E. Ekpenyong and Yih-Fang Huang. Feedback Constraints for Adaptive Transmission, IEEE Signal Proc. Mag., pp. 69-78, May 2007.
- [16] Galdino, J. F. e Gurjão, E. C.. Performance of Adaptive Modulation Techniques for Flat Fading Channels under Feedback Constraints. Submetido ao IEEE International Conference on Communications, 2008.
- [17] Juraci F. Galdino e Edmar C. Gurjão. Otimização de Limiares Para Adaptação de Modulação Diante de Erros no Canal de Retorno. XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. 2008.
- [18] Stefan Cavalcanti Bernat Júnior. Modulação Adaptativa Baseada na Predição da Métrica de Adaptação para Canais com Desvanecimento Plano. Dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2007.