



USO DO LABVIEW E O MÓDULO FPGA NA PRÁTICA DA DISCIPLINA PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Manuel Leonel da Costa Neto – manuel.leonel@gmail.com

José Roberto Quezada Peña – jrkezada@yahoo.com

Francimary Macêdo Martins – francimary@dee.ufma.br

Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia de Eletricidade

Av. dos Portugueses, 1966 – Cidade Universitária - Bacanga

CEP: 65080-805 – São Luís – Maranhão

Carlos Eduardo Aroso Saldanha – cadu_saldanha@hotmail.com

Bipmar Telecomunicações LTDA

Av. Getúlio Vargas 79 - Monte Castelo

CEP: 65030-000 – São Luís - Maranhão

***Resumo:** Este artigo apresenta uma proposta de utilização de Dispositivos Lógicos Programáveis (PLDs), como os FPGAs, em conjunto com a Plataforma de Projeto Gráfico de Sistemas LabVIEW, desenvolvida pela National Instruments, para a realização de experimentos com base nos conteúdos teóricos da disciplina Processamento Digital de Sinais (PDS) do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão. O objetivo principal é dar um caráter prático a esta disciplina para facilitar o processo ensino-aprendizagem. O uso do LabVIEW nesse experimento é resultado das ações envidadas no sentido de se fomentar o uso das Tecnologias de Comunicação e Informação nos cursos de graduação, via Programa CACI&ST (Centro Avançado de Capacitação Industrial & Serviços Tecnológicos) do DE.EE (Departamento de Engenharia de Eletricidade) da UFMA, e a participação no Edital nº 015/2010/CAPES/DED. O experimento com FPGAs e LabVIEW consistiu em determinar a FFT (Transformada Rápida de Fourier) de um sinal, demonstrando os resultados. Atividades práticas dessa natureza possibilitam idealizar uma gama de testes que podem ser realizados pelos alunos de forma que desenvolvam habilidades e competências através de medições rigorosas e precisas no estudo de conceitos da disciplina PDS, e que podem estimular ao entendimento e a criação de outros experimentos.*

***Palavras-chave:** FPGA, LabVIEW, Processamento Digital de Sinais.*

1. INTRODUÇÃO

A disciplina Processamento Digital de Sinais (PDS) é oferecida regularmente no Curso de Engenharia Elétrica da UFMA com carga horária de 60 horas teóricas, e faz parte do núcleo das disciplinas eletivas complementares e/ou comuns, que tem como objetivo prover o ferramental básico para auxiliar o aluno no desenvolvimento de habilidades necessárias para as aplicações nas diversas ênfases da Engenharia Elétrica (SANTOS *et al*, 2006).



Tem-se observado ao longo de vários semestres, na oferta dessa disciplina, que os alunos apresentam dificuldades de aprendizado na absorção e aplicação dos conceitos básicos, que envolvem em grande parte cálculos de relativa complexidade, e tradicionalmente a parte prática se prende apenas a exemplos e resolução de exercícios sobre a matéria.

Atualmente, existem sistemas em *software* e *hardware* que podem ser utilizados de forma prática na confirmação de procedimentos e resultados teóricos, facilitando o processo ensino-aprendizagem, sobretudo dentro da área de Engenharia Elétrica que têm como base conhecimentos teóricos de matemática e conhecimentos teóricos e práticos de física. Dentre eles podem ser destacados os Dispositivos Lógicos Programáveis (PLDs) conhecidos como FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays*) e o *software* LabVIEW desenvolvido pela *National Instruments*.

A *National Instruments* (NI) é uma empresa líder mundial no fornecimento de sistemas de teste e medição para engenheiros e cientistas. Seus *softwares* servem aos propósitos tanto educacionais quanto de pesquisa e desenvolvimento. A empresa “está transformando o modo como engenheiros e cientistas projetam, prototipam e implementam sistemas de medição, teste, automação e aplicações embarcadas. A *National Instruments* potencializa os clientes com *software* de mercado como o LabVIEW e *hardware* modular de ótimo custo benefício” (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014). Apesar de oferecer softwares pagos, os custos para aquisição de sua licença são relativamente baixos comparados com uso que se dá a seus produtos. Nos últimos 14 anos, a revista FORTUNE nomeou a NI entre uma das 100 melhores empresas para se trabalhar na América.

O LabVIEW é uma plataforma de desenvolvimento e projeto gráfico de sistemas de engenharia que permite a análise e a simulação de sistemas de modo prático e rápido. Seu esquema de programação usa o conceito de fluxo de dados utilizando blocos gráficos que executam uma função programada, conhecidos como VIs (*Virtual Instruments*), eliminam a complexidade para a análise e criação de protótipos sem a necessidade do uso de ferramentas de programação em texto, reduzindo também o tempo de criação do projeto (KEHTARNAVAZ; MAHOTRA, 2010).

WOODS, R. et al. (2008) destacam as inúmeras possibilidades uso dos FPGAs no PDS, por exemplo: na implementação de filtros digitais; nos analisadores de sinais no domínio da frequência com a aplicação de algoritmos da Transformada Rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*); no processamento de imagens e de áudio, na amostragem e quantização, na modulação, entre outras aplicações. A possibilidade de embarcar diversos componentes nesse dispositivo o tornou bastante atrativo para aplicação em diversas áreas, incluindo PDS.

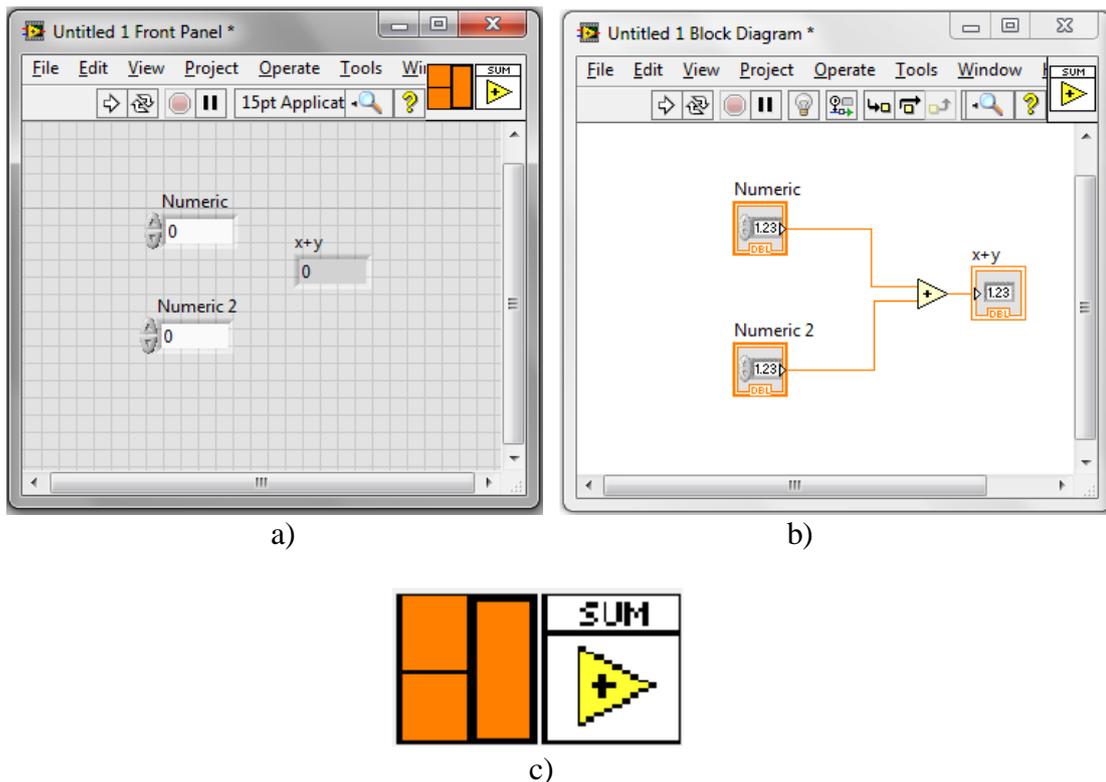
Neste trabalho, portanto, são utilizados FPGAs operando em conjunto com o LabVIEW, retratando um dos muitos experimentos que podem ser desenvolvidos em laboratórios para processamento digital de sinais. O experimento realizado consiste na determinação da FFT de um sinal para análise espectral, de forma ilustrativa ao apresentar a dinâmica da plataforma.

2. LABVIEW E O MÓDULO FPGA

LabVIEW é um *software* base da plataforma de projeto da *National Instruments*, que utiliza uma linguagem de programação gráfica que usa ícones, em vez de linhas de texto, para criar aplicações: utiliza programação baseada em fluxo de dados, onde as informações ao serem processadas determinam a execução do código gráfico – diferente das linguagens de programação que são orientadas por texto (NATIONAL INSTRUMENTS, 2003).

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (VIs - *Virtual Instruments*). Os VIs contêm três componentes principais: o painel frontal, o diagrama de blocos e o painel de conexões, conforme mostrado na “Figura 1”.

Figura 1 – Componentes do LabVIEW: a) painel frontal, b) diagrama de blocos e c) painel de conexões



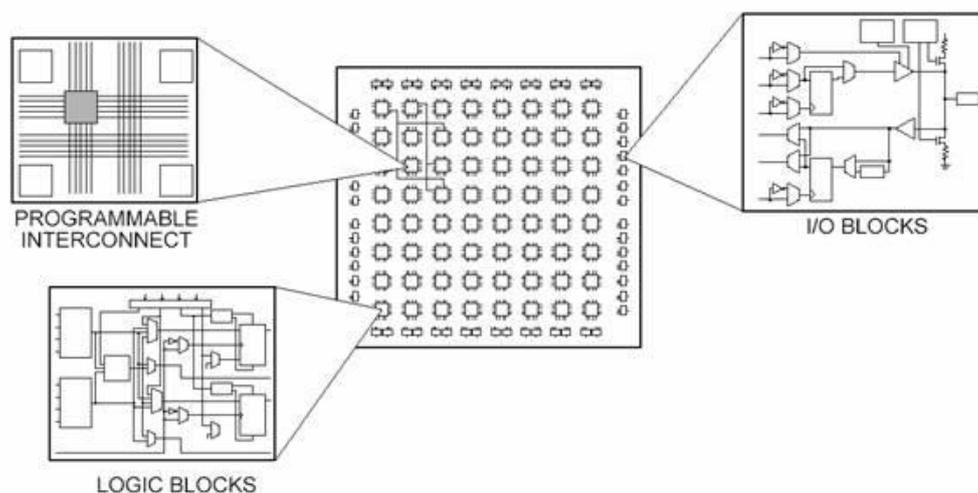
O LabVIEW oferece ferramentas para resolver problemas com maior rapidez e eficiência (com capacidade para inovação futura). As áreas de aplicação mais frequentes são:

- Aquisição de dados e processamento de sinais (medições, processamento de sinais e análises avançadas);
- Controle de instrumentos (automatização da coleta de dados, controle de vários instrumentos e visualização dos testes);
- Automatização de sistemas de teste e validação (validação ou teste de fabricação de seu produto, e visualização dos testes);
- Sistemas embarcados de monitoramento e controle (reutilização de códigos ANSI C e HDL, integrar hardware pronto para o uso, criar protótipos, acessar ferramentas especializadas para a área médica, robótica e outras mais);
- Especialmente, para o ensino acadêmico com a utilização de uma abordagem de aprendizagem prática e interativa, combinando o projeto de algoritmos com medições de dados do mundo real (NATIONAL INSTRUMENTS, 2003).

Os FPGAs são circuitos integrados digitais que contêm blocos lógicos na forma de matriz, configuráveis (programáveis) e com interconexões também configuráveis entre os blocos, (MAXFIELD, 2004).

Sua arquitetura básica é mostrada na “Figura 2”, com destaque para as interconexões programáveis (*Programmable Interconnect*), os blocos lógicos (*Logic Blocks*) e os blocos de entrada e saída (*I/O Blocks*), que contêm portas lógicas, flip-flops, dentre outros circuitos digitais. Normalmente é utilizada uma linguagem de descrição de *hardware* denominada VHDL para projetar o *hardware* a ser embarcado dentro dos FPGAs (SMITH, 2010), tornando possível realizar a síntese de circuitos lógicos digitais dos mais variados tipos e complexidades, sendo limitado apenas por sua capacidade física e pelas suas I/O's (Input/Output), ou seja, portas de entrada e saída de dados (MAXFIELD, 2004). Portanto, os FPGAs têm a vantagem de serem programados “em campo” conforme o projeto desejado, tornando-os diferentes de outros dispositivos que são programados previamente pelos fabricantes, sem perspectiva de serem modificados para atender a vários projetos.

Figura 2 – Arquitetura básica de um FPGA (TRIMBERGER, 1994, p. 19)



Os FPGAs têm muitas aplicações, dentre elas sua utilização para síntese de circuitos digitais, circuitos geradores de pulso e sincronismo (utilizados para eletrônica de potência), pré-projeto de ASICs, circuitos de telecomunicações, controle digital, entre outras. O processamento de sinais faz parte das suas aplicações devido à sua capacidade de paralelismo, bem como a recursos de DSPs integrados sem a necessidade de usar processadores DSPs externos (WOODS *et al.*, 2008).

Através do LabVIEW é possível criar e simular um projeto fazendo uso de FPGAs e testá-lo, mesmo sem ter qualquer placa ou kit de desenvolvimento. Uma das premissas deste trabalho orienta que o usuário possa fazer suas simulações dos projetos com FPGAs em ambiente 100% simulado, precisando apenas de um computador para realizar as atividades propostas. Esta dinâmica influenciou na escolha do LabVIEW junto com o Módulo FPGA.

O módulo FPGA do LabVIEW, ou LabVIEW FPGA, é uma linguagem gráfica de descrição de hardware desenvolvida pela *National Instruments* especificamente para uso em projetos que envolvam o uso de FPGAs. Para tal, a NI oferece no módulo muitos “IP Cores” já desenvolvidos pela empresa, e parceiros, para uso nas mais diversas áreas de aplicação desses PLDs, e que podem ser utilizados como SubVIs dentro de aplicações mais complexas, permitindo aplicar projetos, mesmo sem conhecer uma linguagem de descrição e desenvolver trabalhos que utilizem dados em tempo real.

O processo de desenvolvimento culmina com a compilação do código gráfico escrito em LabVIEW FPGA, fazendo uso de ferramentas de compilação da *Xilinx Compiler*, que irá gerar o código VHDL correspondente e em seguida o “Bit File” que será embarcado no PLD. A versatilidade do uso destes PLDs e da Plataforma de *Software LabVIEW* reside na facilidade de, refazendo o código LabVIEW de programação dos PLDs, “programar” diversos experimentos fazendo uso de uma mesma “Target” (placa de desenvolvimento que contém o FPGA) como, por exemplo, o “**DIGITAL ELECTRONICS FPGA BOARD**”, da Xilinx.

Ao longo da produção deste trabalho, foram testados alguns *softwares* diferentes, como por exemplo: o Model SIM, o Quartus II, o ISE, e outros. Porém, o fato desses *softwares* apresentarem índices de relativa complexidade no quesito ambientação com o *software* e pela aquisição de dados analógicos (a interface dificultava a inserção de uma senóide, por exemplo), preferiu-se trabalhar com o LabVIEW, pois ele permite a inserção de diversos sinais analógicos e manipulação mais prática dos sinais, permitindo uma melhor manipulação dos dados.

3. DETERMINAÇÃO DA FFT

A Transformada Rápida de Fourier ou FFT (*Fast Fourier Transform*) é muito utilizada em análises de sinais no domínio da frequência, devido à facilidade da implementação do algoritmo em meio computacional e pode ser obtida a partir da Transformada Discreta de Fourier ou DFT (*Discrete Fourier Transform*) que converte uma sequência no domínio do tempo em uma equivalente no domínio da frequência (CHASSAING, 2005). Tal mudança é de grande utilidade, pois permite a facilidade de trabalhar com operações complexas de forma mais simples, como por exemplo, a convolução de dois sinais que no domínio da frequência torna-se uma simples multiplicação (OPPENHEIN; SCHAFER, 2013).

Oppenheim e Schaffer (2013) definem a DFT de um sinal de N pontos (sequência de comprimento finito N), $X[k]$, e a transformada de Fourier discreta inversa, $x[n]$, como:

$$\begin{cases} X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W_N^{nk}, & k = 0, 1, \dots, N-1 \\ x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k]W_N^{-nk}, & n = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (1)$$

Onde,

$$W_N = e^{-\frac{j2\pi}{N}} \quad (2)$$

Como a sequência $x[n]$ pode ser complexa, N multiplicações complexas e $(N-1)$ adições complexas são requeridas para calcular cada valor da DFT se for usada a “Equação (1)”. Observa-se, portanto, que esse algoritmo é ineficiente em termos computacionais. Para

tornar o processo mais eficiente tem-se o algoritmo da FFT, que utiliza as propriedades de simetria da DFT (OPPENHEIN; SCHAFER, 2013).

Em linhas gerais, a definição de uma FFT é a mesma da DFT, porém a FFT é obtida da divisão da DFT em várias outras. Existem vários procedimentos de obtenção da FFT. Nesse trabalho, a técnica utilizada está presente em Kehtarnavaz e Mahotra (2010), que se refere ao algoritmo 2N pontos, relacionando a formação de dois novos sinais de N-pontos e a partir de um sinal de 2N pontos pela sua divisão em partes pares e ímpares, conforme mostrado na “Equação (3)”:

$$\begin{aligned} x_1[n] &= g[2n] & 0 \leq n \leq N - 1 \\ x_2[n] &= g[2n + 1] \end{aligned} \quad (3)$$

A partir das duas seqüências numéricas uma nova seqüência complexa é definida como:

$$x[n] = x_1[n] + jx_2[n] \quad 0 \leq n \leq N - 1 \quad (4)$$

A partir da “Equação (4)” é possível deduzir a “Equação (5)”,

$$G[k] = X[k]A[k] + X^*[N - k]B[k] \quad k = 0, 1, \dots, N - 1, \text{ com } x[N] = X[0] \quad (5)$$

Onde:

$$\begin{cases} A[k] = \frac{1}{2}(1 - jW_{2N}^k) \\ B[k] = \frac{1}{2}(1 + jW_{2N}^k) \end{cases} \quad (6)$$

Desse processo em $G[k]$, somente N pontos são calculados, sendo os outros pontos encontrados através de seu conjugado complexo. Resultando então na redução do número de operações, e dessa forma justificando sua aplicação computacional (KEHTARNAVAZ; MAHOTRA, 2010).

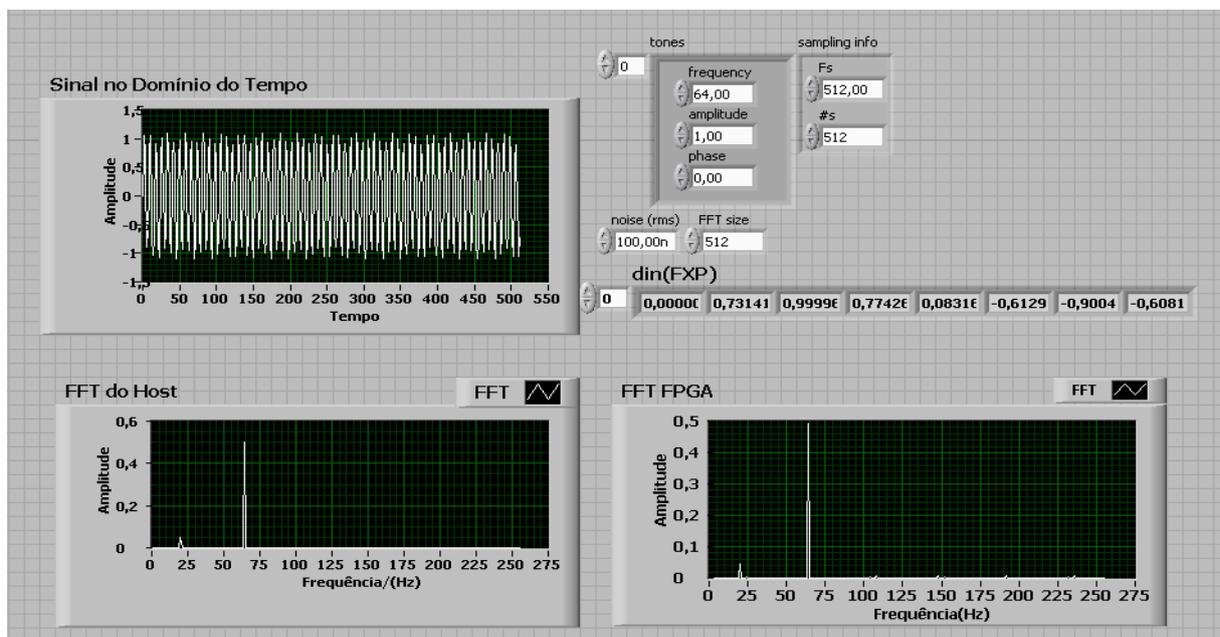
4. EXPERIMENTO REALIZADO COM LABVIEW E FPGA PARA DETERMINAÇÃO DA FFT

Utilizando-se as ferramentas de simulação disponíveis no programa LabVIEW e usando o módulo FPGA em modo de simulação, realizou-se o experimento de determinação da FFT. Este experimento não utilizou recursos em *hardware*, portanto não há a utilização de placas contendo o FPGA propriamente dito. Ressalta-se que, não só este como outros experimentos podem ser perfeitamente adaptados a plataformas de desenvolvimento reais. No entanto, é necessária uma avaliação prévia das limitações físicas dos componentes a serem utilizados. Os experimentos são adaptações para a realidade da disciplina e em adequação do tema deste trabalho baseados em Kehtarnavaz e Mahotra (2010).

O objetivo do experimento é mostrar ao usuário como pode ser criada uma aplicação de análise de um sinal com ruídos inseridos e sua representação no domínio da frequência. Os resultados obtidos devem ser comparados com o LabVIEW e com o módulo FPGA.

O experimento consiste na aplicação de um sinal senoidal de entrada e a ele é aplicado um sinal randômico simulando um ruído, através da VI “*Tones and Noise Waveform.vi*”. Esse sinal é passado através de uma VI que implementa o algoritmo citado na fundamentação teórica (ver “Equação (1)”), cabendo ao usuário realizar uma análise no processo da criação do diagrama de blocos. Esta parte foi configurada com um subprocesso que deverá ser utilizado na VI principal. Paralelamente, foi criada uma VI no módulo FPGA, implementando o mesmo algoritmo, de sorte que o resultado do processamento deve ser similar ao encontrado somente com o *software* principal. No final, criou-se a VI principal, utilizando a subVI destacada e o módulo FPGA, sendo os resultados apresentados em um só painel. Neste caso, o Painel Frontal (FP) obtido no experimento é mostrado na “Figura 3”.

Figura 3 - FP da VI FFT



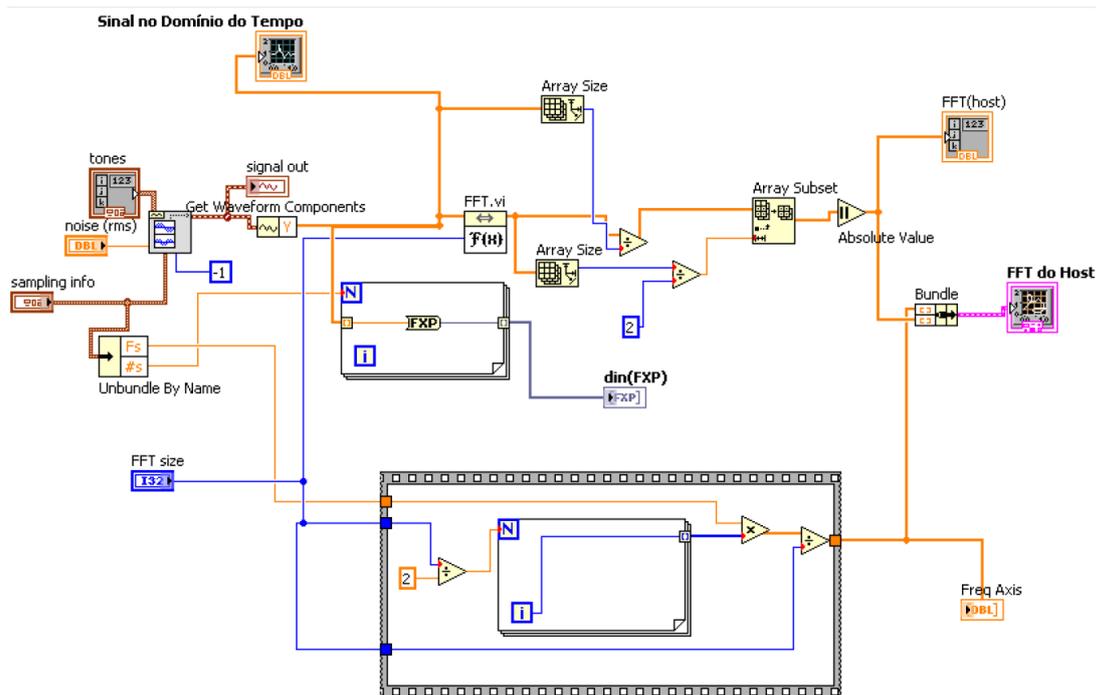
Na parte superior direita da “Figura 3” é possível observar os valores de entrada, que serão parâmetros definidos no experimento. Na parte superior a esquerda tem-se o gráfico denominado **Sinal no Domínio do Tempo** que se refere ao sinal com ruído aplicado para a análise.

Na parte inferior a esquerda tem-se o gráfico denominado **FFT do Host**, referente ao sinal no domínio da frequência obtido pelo *software* LabVIEW. Na parte inferior a direita tem-se o gráfico denominado **FFT FPGA**, que mostra o sinal obtido do processamento do sinal no módulo FPGA.

Durante o procedimento, o usuário deve alterar os parâmetros de entrada e fazer suas observações sobre os diagramas de blocos de acordo com o experimento. Para isso, o usuário deve criar uma VI para ser utilizada com subVI, para tal, deve ser criado um diagrama de

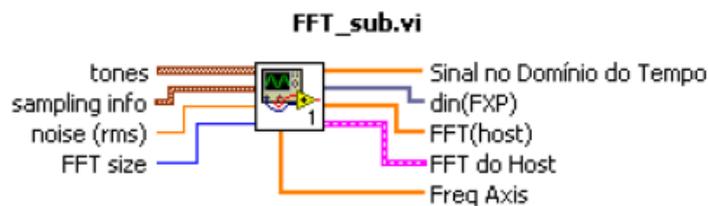
blocos (BD) com os componentes conforme mostrado na “Figura 4”. Nesta VI tem-se o sinal de entrada e a FFT implementada no *host* para posteriormente ser comparada com o resultado do FPGA *module*.

Figura 4 – BD da subVI



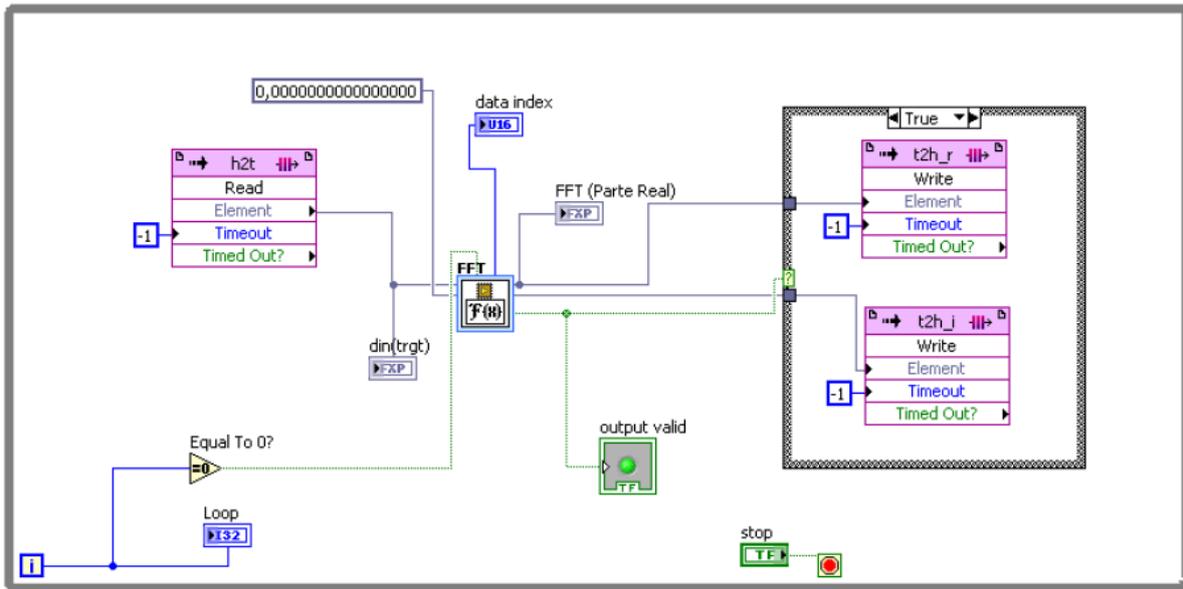
A subVI terá a seguinte estrutura a ser usada:

Figura 5 – Bloco da subVI



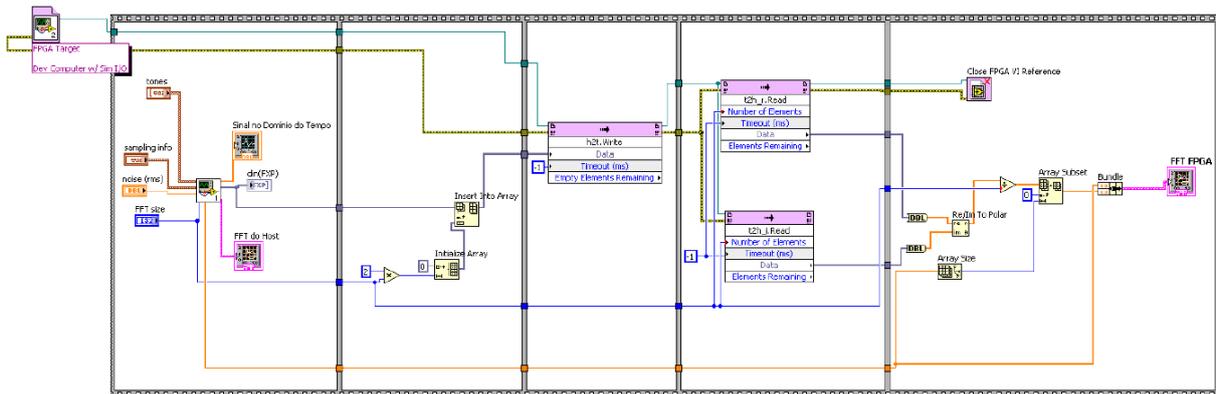
Para a VI do FPGA, que deve ser criado dentro do diretório da *target*, monta-se o BD da “Figura 6”. A VI do FPGA é responsável por implementar no dispositivo o algoritmo da FFT. Os blocos de transferência de dados FIFO (*first in first out*), de dentro da estrutura *case*, são responsáveis por passar o resultado do processamento para a VI principal do *host*.

Figura 6 – Diagrama de blocos da *target*



Finalmente, deve ser criada a VI principal no *host*. O BD deve ser criado da forma mostrada na “Figura 7”.

Figura 7 – Diagrama de Blocos do *host*



A VI do *host* é responsável por coletar o resultado do processamento das duas VIs citadas anteriormente. O FP deve ser montado da forma da “Figura 3”, facilitando a leitura e manipulação dos dados de entrada e saída.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foram abordados o *software* LabVIEW e os PLDs conhecidos como FPGAs que são sistemas versáteis capazes de executar uma infinidade de tarefas relacionadas ao processamento digital de sinais por ter bastante flexibilidade no seu uso, alta capacidade de paralelismo, baixo custo e versatilidade.

A ferramenta escolhida para realização do experimento possibilita um melhor entendimento de parte do assunto ministrado na disciplina de Processamento Digital de Sinais, bem como se familiariza um novo dispositivo através do estudo dos componentes e da plataforma de simulação LabVIEW e do módulo FPGA.

As práticas que podem ser realizadas com LabVIEW e FPGAs, no âmbito do ensino-aprendizagem, podem abordar de forma simples e didática vários assuntos que compreendem o PDS, tais como: conversão de sinais analógico-digital, FFT, filtragem digital e filtros adaptativos mostrando de forma qualitativa os conceitos pertinentes a cada conteúdo proporcionando assim um melhor entendimento.

Observou-se, na experimentação, que a plataforma LabVIEW permite uma excelente integração com o módulo FPGA, pois possui uma interface e uso bem intuitivos economizando tempo e trazendo uma resposta rápida ao usuário. No caso do módulo FPGA, um grande ganho a ele associado é a possibilidade da utilização dos conceitos e de criação de projetos usando tanto a linguagem de descrição como a linguagem nativa da plataforma tornando-a uma ferramenta muito poderosa. Existem no mercado ainda outras plataformas que podem ser utilizadas nesses estudos práticos, porém a dificuldade delas reside no fato de algumas possuírem interface complexa e por vezes não permitirem aos usuários estudantes uma versão gratuita de teste.

Outro destaque deste trabalho é a possibilidade de ele ser estendido também à prática com *hardware*, caso o usuário disponha de uma das placas das séries citadas, bastando para isso alterar o modo de funcionamento do projeto, verificando as limitações intrínsecas ao *hardware* escolhido. Como sugestão de trabalhos futuros sugere-se o uso mais aprofundado de um dos assuntos abordados para o uso em processamento de sinais avançado, e processamento de áudio e imagem. Deve ser lembrado também que os FPGAs podem ser utilizados em outras áreas de estudo, tais como: Controle Digital, Microprocessadores, Telecomunicações, entre outras.

Agradecimentos

Agradecemos ao Departamento de Engenharia de Eletricidade da UFMA pelo incentivo dado para a elaboração deste artigo e à *National Instruments* que ministraram treinamentos relativos à utilização da plataforma LabVIEW e ao desenvolvimento de projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHASSAING, R. Digital Signal Processing and applications with the C6713 and C6416 Dsk. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

KEHTARNAVAZ, N.; MAHOTRA, S. Digital Signal Processing Laboratory: LabVIEW-Based FPGA Implementation. Boca Raton: BrownWalker Press, 2010.

MAXFIELD, C. The Design Warrior's: guide to FPGA. Oxford: Newnes, 2004.



NATIONAL INSTRUMENTS. LabVIEW User Manual. Austin: [s.n.], 2003.

NATIONAL INSTRUMENTS. Sobre a National Instruments Brasil. Disponível em: <<http://brasil.ni.com/empresa>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

OPPENHEIN, A. V.; SCHAFER, R. W. Processamento em Tempo Discreto de Sinais, Pearson Education do Brasil, 2013.

SANTOS, M. de F. *et al.* Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica. UFMA, 2006. Disponível em: <www.coele.dee.ufma.br/projeto>. Acesso em 02 de maio de 2014.

SMITH, G. R. FPGA's 101. Elsevier. Oxford: Newnes, 2010.

TRIMBERGUER, S. M. Field-Programmable Gate Array Technology. Springer. 1994

WOODS, R. *et al.* FPGA - Based Implementation of Signal Processing Systems. West Sussex: John Wiley & Sons, 2008.

THE USE OF LABVIEW AND FPGAs FOR A PRACTICAL EXPERIMENTATION APPROACH IN A DIGITAL SIGNAL PROCESSING COURSE

Abstract: *This document presents a proposal of using Programmable Logic Devices like FPGAs together with LabVIEW, a Graphical System Design Suite developed by National Instruments for performing experiments based on the theoretical content of the discipline Digital Signal Processing (DSP) in the Electrical Engineering Graduation Course of Federal University Maranhão - Brazil. The main objective is to give a practical sense to the DSP discipline so that it can facilitate the teaching-learning process. The availability of LabVIEW is a result of actions developed in order to promote the use of the Information and Communication Technologies in undergraduate courses via CACI&ST Program (Advanced Center for Industrial Training and Technological Services) of DE.EE, and participation in Notice No. 015/2010 / CAPES / DED. The experiment proposed with the use of FPGAs and LabVIEW meets the goal of determining the FFT (Fast Fourier Transform) of a signal, with the presentation of results and findings. The experiments demonstrate a range of tests that can be performed by students in order to develop skills and competencies through rigorous and accurate study of the concepts of DSP measurements, which can stimulate the understanding and creation of new experiments.*

Key-words: *FPGA, LabVIEW. Digital Signal Processing.*