

# FPGAs em aplicações espaciais

Marcos Vinicios Pinho      Fabiano Kraeamer      Iago Soares \*

10 de maio de 2016

## Resumo

Artigo referente a atividade Extra 1 (AE1) do curso Dispositivos Lógicos Programáveis I, período 2016-1. Objetiva descrever e exemplificar os motivos para utilização de dispositivos FPGAs em aplicações espaciais.

**Palavras-chaves:** FPGAs. Latch. Flip Flop. Altera. Xilinx. VHDL.

## Introdução

A indústria eletrônica com seus chips se desenvolveu e alastrou-se a tal ponto que está envolta em todas as áreas imagináveis. TVs, rádios, geladeiras, robôs “caseiros” e industriais, automação industrial, máquinas diversas, veículos, aeronaves, na medicina desde equipamentos médicos grandes e avançados até em marca passos e dispositivos minúsculos usados dentro de nossos corpos. Os chips com seus avanços tornaram-se rápidos, confiáveis e relativamente baratos. Relativamente, pois são componentes bastante específicos e pouco flexíveis fora do campo em que atuam. Um chip desenvolvido para determinada função em um carro, não poderá ser utilizado no controle do ar condicionado, por exemplo. Sua baixa flexibilidade de atuação aliado aos altos custos de desenvolvimento e sua manufatura, faz com que só seja interessante desenvolverem circuitos integrados em casos de produção em larga escala ou aplicações muito específicas. Áreas como ensino, pesquisa, desenvolvimento, que precisem ou podem precisar de mudanças diferentes naquela que um chip inicialmente foi projetado, precisam de um chip reprogramável, que possa mudar suas funções conforme a necessidade do usuário. Tais chips reprogramáveis receberam o nome de FPGA (Field-Programmable Gate Arrays), ou Portas Programáveis em Campo. Com a melhoria nos processos de fabricação, gerando chips mais baratos, rápidos e confiáveis, os FPGAs começaram a ser utilizados em maior quantidade em aplicações espaciais, como satélites, foguetes e sondas. E nesse ramo, a palavra “confiável” é fundamental. Mas o que é um dispositivo FPGA?

---

\* Aluno do curso de Engenharia de Telecomunicações - IFSC

## 1 O que são FPGAs?

FPGAs são circuitos integrados capazes de serem reprogramáveis pelo usuário. Isso é, são capazes de internamente mudarem suas “rotas” e são compostos por uma grande quantidade de blocos lógicos, que podem ser reconfiguradas para simularem o comportamento de qualquer outro circuito.

Os FPGA's nasceram na década de 80. Iniciado por uma pesquisa solicitada pela Marinha Americana, e com lançamentos de produtos em 1984 pela Altera e em 1985 pela Xilinx. Atualmente, Altera (comprada pela Intel no início de 2016), Xilinx e Atmel são as maiores empresa fabricantes de FPGAs no mercado. Esse artigo não se aprofundará no que são FPGAs, mas na Internet há um vasto e farto material sobre o assunto.

## 2 FPGAs na indústria espacial

A indústria espacial é conhecida por utilizar a nata do conhecimento das ciências humanas. Tudo aquilo que está no estado da arte de desenvolvimento é visto, pesquisado e analisado pelos engenheiros para possível utilização em sondas, satélites, foguetes, etc. Mas há um preceito fundamental nessa área que se sobressai sobre todos os outros: confiabilidade. Qualquer componente eletrônico lançado ao espaço precisa de uma série de testes e até anos de aplicações práticas demonstrando ser robusto, confiável, pois deverá ser capaz de resistir e entregar resultados confiáveis mesmo sobre uma série de estresses, podendo passar por intensas mudanças de temperatura (a NASA especifica chips que tolerem de -55C a 125C), pressão, intensa radiação, forças cinéticas elevadas e situações imprevistas.

A necessidade de saber se o componente é confiável, junto com os testes e ao longo tempo de desenvolvimento dos sistemas espaciais, faz com que os chips estado da arte comerciais sejam preteridos. Isso leva a situações estranhas, como o caso da sonda Curiosity, lançada em novembro de 2011 em direção a Marte. A sonda utiliza como cérebro central um chip RAD750, desenvolvido pela IBM e lançado em 2001. Outro ponto fundamental é a baixa ou nula possibilidade de reparo no equipamento, fazendo com que se o chip, determinada parte dele ou outro circuito do equipamento apresente algum defeito, seja totalmente inutilizado. É nesse ponto que os FPGAs se tornam mais interessantes para aplicações espaciais do que microprocessadores tradicionais.

Devido ao alto custo de desenvolver e lançar um equipamento para o espaço, qualquer garantia de adaptabilidade do hardware se torna interessante. Perder um projeto que custa milhões, podendo facilmente atingir a casa dos bilhões, pode ser catastrófico para uma agência espacial ou uma empresa. Qualquer possibilidade de reparo, correção ou nova função se torna muito interessante.

Outro ponto de interesse ao se usar FPGAs em equipamentos espaciais, é na possibilidade de se programar novos usos ao equipamento, usos que não estavam no escopo original do projeto ou não se sabiam da possibilidade. Com os satélites tendo seus tempos de vida cada vez mais alto, sendo comum passarem de 10 anos, muito acima do tempo originalmente previsto, a necessidade de se reprogramarem para novas funções se torna cada vez mais necessário, ainda mais na área de telecomunicações, onde as mudanças de tecnologias e protocolos são relativamente rápidas.

Um dos maiores problemas em qualquer missão fora do campo protetor magnético da Terra é a alta dose de radiação espacial, problema não recorrente para quem está na superfície da Terra ou em órbita baixa. A radiação ioniza os circuitos, podendo destruir

determinada parte do chip ou ele por inteiro. Os componentes eletrônicos costumam receber alta proteção contra a radiação, mas mesmo assim ela pode alterar os valores lógicos dos elementos das memórias estáticas (latch, flip-flop, ou células RAM ) ou causar pulsos transitórios afetando as funcionalidades da lógica combinacional, podendo ocorrer falhas recuperáveis ou permanentes. As falhas mais comuns são single event upset (SEU), que é a troca do estado ou a indução transiente devido a uma partícula energética como raios cósmicos ou prótons no dispositivo, sendo uma falha recuperável, e Single effect functional interrupt (SEFI), que é uma condição no qual o dispositivo para de operar normalmente e geralmente é necessário resetar o sistema, sendo um caso especial de SEU.

Existem algumas abordagens para resolução destes problemas. Uma abordagem para SEFI é uma tripla redundância modular para cada registrador. Esta técnica é implementada usando três flip-flops ou três latches que determinarão o estado do registrador, e pode ser feita diretamente no VHDL. Outra abordagem para falhas permanentes é ter recursos alocados na FPGA para substituir os recursos com defeito permanente.

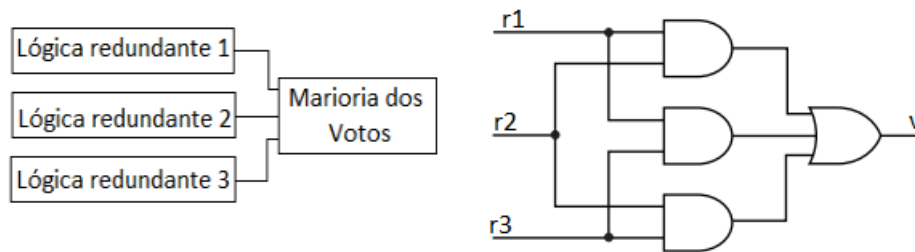


figura 1 - Lógica da abordagem da tripla redundância modular.

Testes de doses elevadas de radiação ionizante recentes mostraram que a elevada tolerância inicial relatada para os dispositivos tem de ser reavaliada. Os desempenhos das EPROMs utilizadas para configurar os FPGAs também precisam ser contabilizados nas aplicações espaciais. Os atuais FPGAs reprogramáveis disponíveis no mercado devem ser possíveis de serem utilizados, desde que sejam projetados com cuidado, tomando as precauções necessárias. Qualquer projeto usando tais dispositivos também deve compreender e considerar os riscos potenciais que não podem ser mitigados por meio de técnicas de design de dispositivos FPGAs comuns.

### 3 Aplicações FPGA no Espaço

Rádio Definido por Software: (SDR) é um sistema de comunicação sem fio cuja funcionalidade pode ser configurada através de software ou hardware programável (FPGA). Transmissores de rádio tradicionais e receptores normalmente podem enviar e receber um único tipo de sinal, mas SDRs são mais versáteis. Hardwares SDR podem se comunicar em diferentes frequências utilizando várias opções sem fio, como Bluetooth, rádio FM, Wi-Fi, e tecnologia GPS.

Processamento de Sinal Digital: é usado para interpretar padrões digitais em todos os tipos de tecnologia. Aplicações DSP moldaram o crescimento da exploração do espaço. Enquanto FPGAs têm sido utilizados em aplicações DSP a anos, recentemente eles têm ganhado atenção devido à sua versatilidade e velocidade em comparação com outros processadores, tais como microcontroladores.

Criptografia: FPGAs são equipados com tecnologia de criptografia. Se um dispositi-

tivo que usa FPGA cai nas mãos erradas, isso impede o culpado de extrair a informação contida dentro dele. Este recurso é valioso em aplicações militares. Um exemplo é o Xilinx Virtex 6Q. Ele é especialmente fabricado como grade de defesa, adequado para aplicações de missão crítica. Rádio Astronomia: As ondas de rádio são uma forma de radiação eletromagnética. Cada tipo de radiação eletromagnética é produzida por determinadas condições, que os astrônomos podem detectar, por vezes, usando telescópios no chão. Ao longo dos anos de radioastronomia detectaram-se muitos novos tipos de objetos no espaço exterior. Mars Exploration Rovers (MER)

As missões da NASA com os rovers Spirit, Opportunity utilizam diversos FPGAs em suas estruturas, todos FPGAs produzidos pela XILINX. Ao criar o primeiro MER, a equipe do JPL (Jet Propulsion Laboratory) da NASA utilizou o FPGA tolerante à radiação Xilinx® XQVR4000XL, o estado da arte em tecnologia espacial de grau FPGA no momento da concepção (2000-2003), tanto para o pouso quanto para operação dos robôs. Especificamente, o XQVR4062 FPGAs entrou em cada parte do pouso para controlar as operações de pirotecnia cruciais durante o procedimento de descida e aterragem do rover.

A NASA também usou o XQVR1000s na placa de controle dos motores, que supervisiona os motores para as rodas, direção, braços, câmeras e vários instrumentos, permitindo que os robôs viagem sobre a superfície arenosa do planeta e transporem vários obstáculos. Os FPGAs também permitiram a equipe do JPL fazerem alterações de design e atualizações até o tempo de lançamento e mesmo depois que os rovers haviam aterrissado em Marte. O sucesso dos robôs em Marte levou o JPL e muitas outras empresas a empregar dispositivos FPGAs em uma série de missões, incluindo o Rover Curiosity, a Mars Reconnaissance Orbiter, e o Laboratório de Ciências de Marte.

Atualmente, Xilinx, Atmel e Altera produzem FPGAs voltados exclusivamente para aplicações espaciais, disponíveis em várias famílias, de acordo com a utilização necessária. Xilinx e Atmel possuem linhas exclusivas para o setor espacial, enquanto a Altera integra esse setor na classificação militar.

## Conclusões

Dispositivos Field Programmable Gate Array (FPGA) têm sido utilizados no espaço há mais de uma década, com um nível misto de sucesso. Até há pouco tempo, seus usos eram restritos devido à baixa performance, grande área necessária, alto consumo e a relativa pouca quantidade de blocos lógicos. Mas com o advento da tecnologia, e lançamento de placas com mais de 5 milhões de dispositivos lógicos e superando os 1GHz de frequência (Como o Altera Stratix 10), os FPGAs também começam a rivalizar em performance e consumo com chips dedicados. Sua possibilidade de reprogramação, velocidade, resistência e confiabilidade, fazem com que o uso de FPGAs em aplicações espaciais se torne mais comum a cada ano.

## Referências bibliográficas

[0] <<http://www.xilinx.com/training/fpga/fpga-field-programmable-gate-array.ht>>

[1] <<http://www.xilinx.com/applications/aerospace-and-defense.html>>

[2]<[http://www.xilinx.com/esp/mil\\_aero/collateral/presentations/SEU\\_mitigation\\_technique.pdf](http://www.xilinx.com/esp/mil_aero/collateral/presentations/SEU_mitigation_technique.pdf)>

[3]<<http://www.xilinx.com/about/customer-innovation/aerospace-and-defense/mars-exploration-rovers.html>>

[4]<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Field-programmable\\_gate\\_array](https://pt.wikipedia.org/wiki/Field-programmable_gate_array)>

[5]<<http://www.hardware.com.br/guias/historia-informatica/fpgas.html>>

[6]<[http://global.jaxa.jp/projects/sat/astro\\_h/files/astroh\\_presskit.pdf](http://global.jaxa.jp/projects/sat/astro_h/files/astroh_presskit.pdf)>

[7]<[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Engineering\\_Technology/Microelectronics/The\\_use\\_of\\_reprogrammable\\_FPGAs\\_in\\_space](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Microelectronics/The_use_of_reprogrammable_FPGAs_in_space)>

[8]<[http://microelectronics.esa.int/techno/fpga\\_002\\_01-0-4.pdf](http://microelectronics.esa.int/techno/fpga_002_01-0-4.pdf)>

[9]<[http://microelectronics.esa.int/techno/fpga\\_003\\_01-0-2.pdf](http://microelectronics.esa.int/techno/fpga_003_01-0-2.pdf)>

[10]<<https://en.wikipedia.org/wiki/RAD750>>

[11]<<https://www.nepp.nasa.gov/files/12353/JPL%20Rad-Tolerant%20FPGAs%20for%20Space%20Applications.pdf>>

[12]<<http://www.atmel.com/products/rad-hard/rad-hard-fpgas/default.aspx>>

[13]<[http://www.atmel.com/Images/ps\\_at17lv010\\_RevA.pdf](http://www.atmel.com/Images/ps_at17lv010_RevA.pdf)>

[14]<[http://cdserv.wbut.ac.in/81-312-0257-7/Xilinx/files/Xcell%20Journal%20Articles/xcell\\_46/xc\\_satellite46.pdf](http://cdserv.wbut.ac.in/81-312-0257-7/Xilinx/files/Xcell%20Journal%20Articles/xcell_46/xc_satellite46.pdf)>

[15]<[http://www.xilinx.com/publications/prod\\_mktg/virtex5qv-product-brief.pdf](http://www.xilinx.com/publications/prod_mktg/virtex5qv-product-brief.pdf)>

[16]<<https://nepp.nasa.gov/files/12353/JPL%20Rad-Tolerant%20FPGAs%20for%20Space%20Applications.pdf>>

[17]<[http://microelectronics.esa.int/asic/fpga\\_001\\_01-0-2.pdf](http://microelectronics.esa.int/asic/fpga_001_01-0-2.pdf)>

[18]<<http://ade.sagepub.com/content/5/783673.full>>

[19]<[http://www.xilinx.com/support/documentation/application\\_notes/xapp197.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/application_notes/xapp197.pdf)>