NEUTRINOS ANGRA

Situação atual, transferência para Angra II e perspectivas futuras

Prof. Rafael Antunes Nóbrega
Em nome da Colaboração Neutrinos Angra

Sumário

- Introdução
- Infraestrutura
- Design e construção do detector
- Simulação
- Instrumentação eletrônica
  - Front-end
  - Acquisição (NDAQ)
  - L1 Trigger
  - Slow Control
- Teste e caracterização do detector
- Transferência para Angra II
- Perspectivas futuras

- ANEXO: Publicações 2015-2017

Motivações

- Desenvolver um sistema completo ligado a física de neutrinos aproveitando as fontes de neutrinos existentes no Brasil (reatores nucleares - Angra I e II)

- Possibilidade de participar globalmente de atividades tecnológicas/científicas ligadas a física aplicada na área de neutrinos e monitoramento de reatores nucleares
  - Monitoramento de reatores nucleares com antineutrinos
    - Interesse e apoio da AIEA (*International Atomic Energy Agency*)
  - Maio desafio: detecção de neutrinos em superfície

- Desenvolvimento de *know-how* nacional a partir de um projeto totalmente desenvolvido no Brasil

Colaboração Angra

CBPF

UEFS

UEL

UFBA

UFJF

UNICAMP

Unifal

- **7 Instituições Brasileiras**
- **13 Pesquisadores**
- **15 Alunos (Doutorado, Mestrado e IC)**

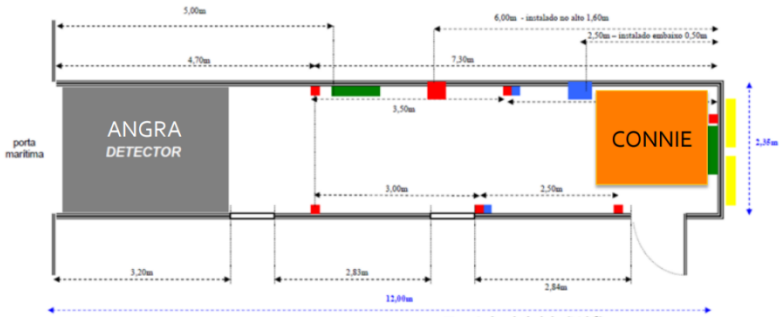
Sistema de detecção: projeto e construção

- Infraestrutura
- Design e construção do detector
- Simulação
  - Geração de partículas e Detector
  - Eletrônica de leitura, aquisição e trigger
- Instrumentação eletrônica
  - Estudo PMT e eletrônica de leitura do sinal (Front-end)
  - Eletrônica de aquisição (NDAQ)
  - Eletrônica de Trigger (L1T)
  - Eletrônica de controle (Slow Control)
- Teste e Caracterização de todo o sistema (eletrônica + detector)
  - Estudo de todo o detector através de aquisições de raios cósmicos

DESENVOLVIMENTO NACIONAL

Infraestrutura

- Contêiner laboratório feito por encomenda
- Negociação junto à ELETRONUCLEAR
- Instalação contêiner ao lado da cúpula do reator
- Servidores/Computadores
- Racks e crates para a eletrônica
- Ambiente protegido para os detectores



Design e construção do detector

Sistema para encher os tanques

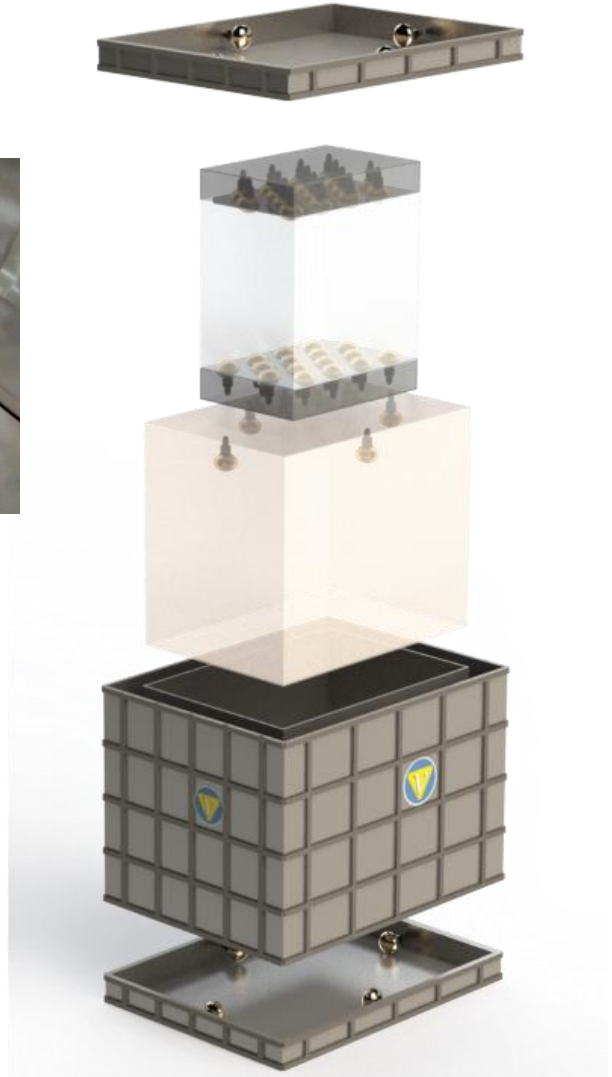
Montagem das PMTs superiores

Design e construção do detector

Posicionamento do detector alvo

PMTs inferiores + tyvek

Montagem das tampas



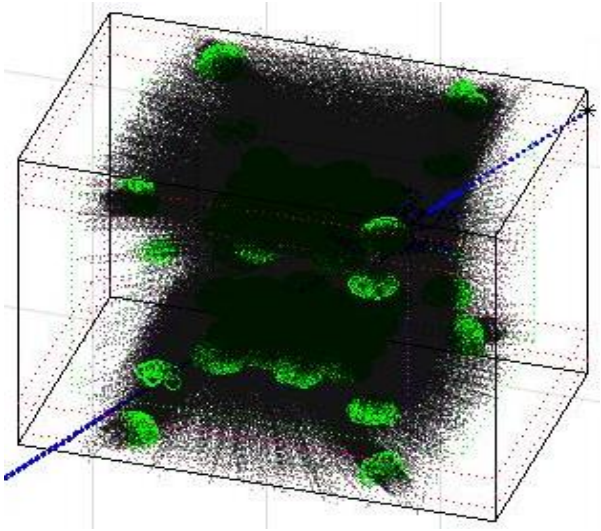
Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
ELSEVIER
Nuclear and Particle Physics Proceedings 267–269 (2015) 108–115
www.elsevier.com/locate/nppp

Using Neutrinos to Monitor Nuclear Reactors: the Angra Neutrino Experiment, Simulation and Detector Status

Simulação

- Geant4 based simulation

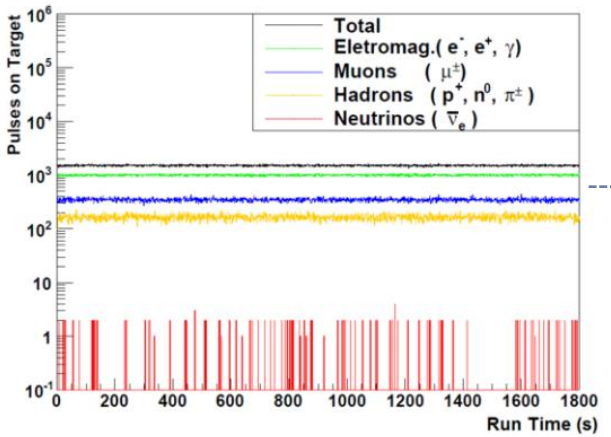
Selecionando eventos que produzem entre 10 (20) e 200 (150) p.e. preserva aprox. 90% (78%) dos pósitrons e 89% (82%) dos nêutrons e reduz fortemente o nível de ruído de fundo.

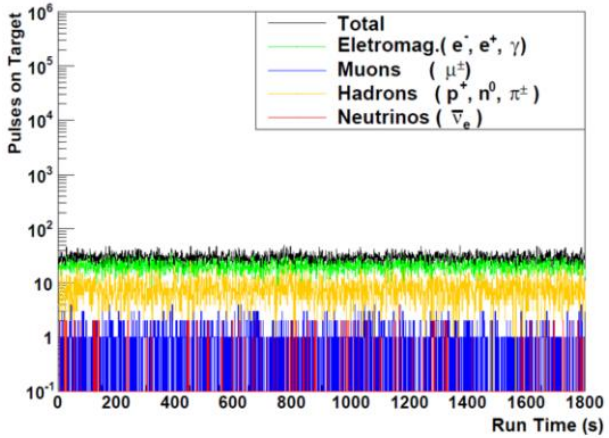


Detector OFF e ON (24h de aquisição)

$N_{OFF} = (201.6 \pm 0.4) \times 10^3$ counts
$N_{ON} = (207.0 \pm 0.4) \times 10^3$ counts
$N_{\nu} = (5.4 \pm 0.6) \times 10^3$ counts

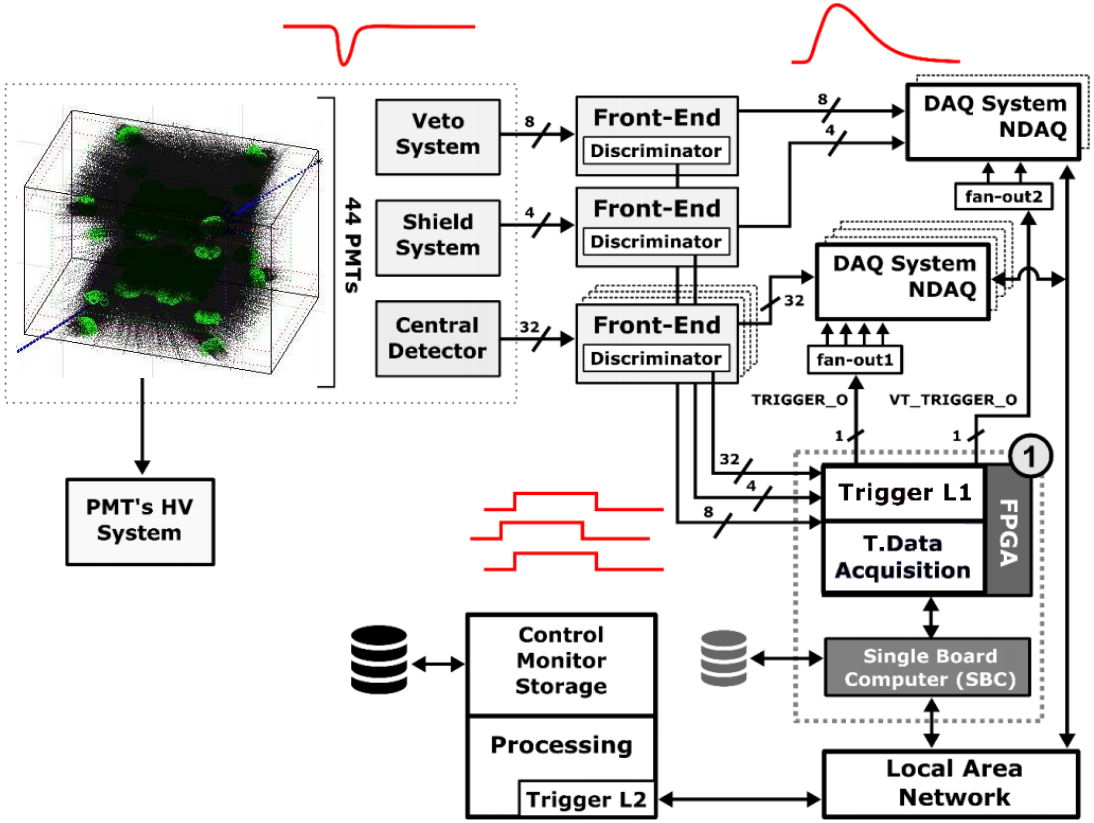
Redução do ruído de fundo com algoritmo de seleção





Instrumentação eletrônica: Visão Geral

- Componentes principais:
  - 44 PMTs
  - 44 canais de HV
  - 6 Módulos de front-end
  - 6 Módulos NDAQ
  - 1 SBC (VME-LAN)
  - 1 Módulo de Trigger L1
  - Sistema *Slow Control*

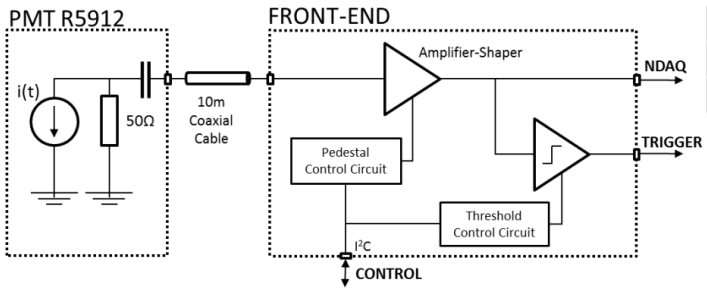


2 Dissertações 2 artigos de congresso 1 artigo de revista
+ caracterização PMT

Jinst — Published by IOP Publishing for Sissa Medialab
Received: March 1, 2016
Revised: June 7, 2016
Accepted: June 20, 2016
Published: July 21, 2016
Front-end Design and Characterization for the ν-Angra Nuclear Reactor Monitoring Detector

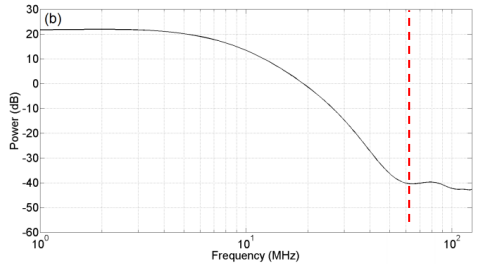
Instrumentação eletrônica: Front-end

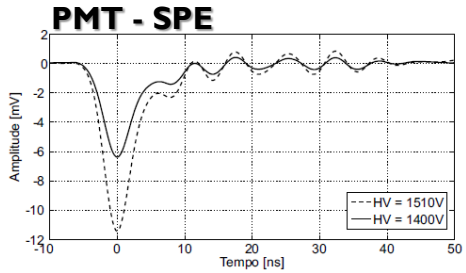
- Parceria pesquisadores *(concepção, desenho elétrico e layout)* empresa privada *(fabricação dos módulos)*.
  - Saída analógica (8 canais)
  - Saída digital (8 canais)

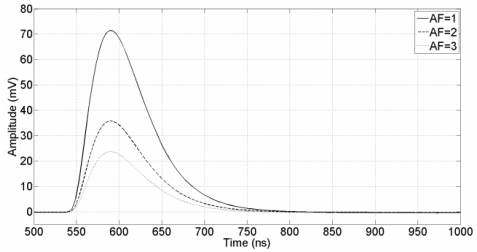


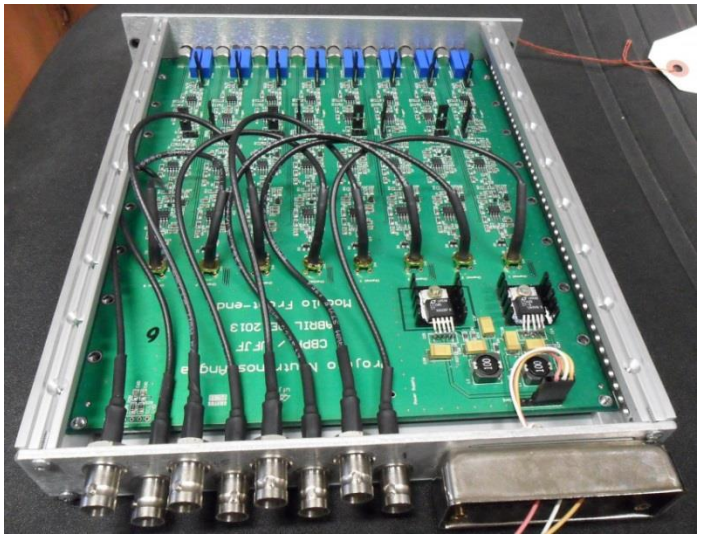
Sampling rate	125 MHz
Dynamic Range	-1 to 1 Volts
Number of bits	10 bits

Spectral Response	300 to 650 nm
Quantum Efficiency at 390 nm	22%
Dark Count (after 15 hours in the dark)	4 kHz
Anode Pulse Rise Time	3.8 ns
Typical pulse widths (FWHM)	5 ns



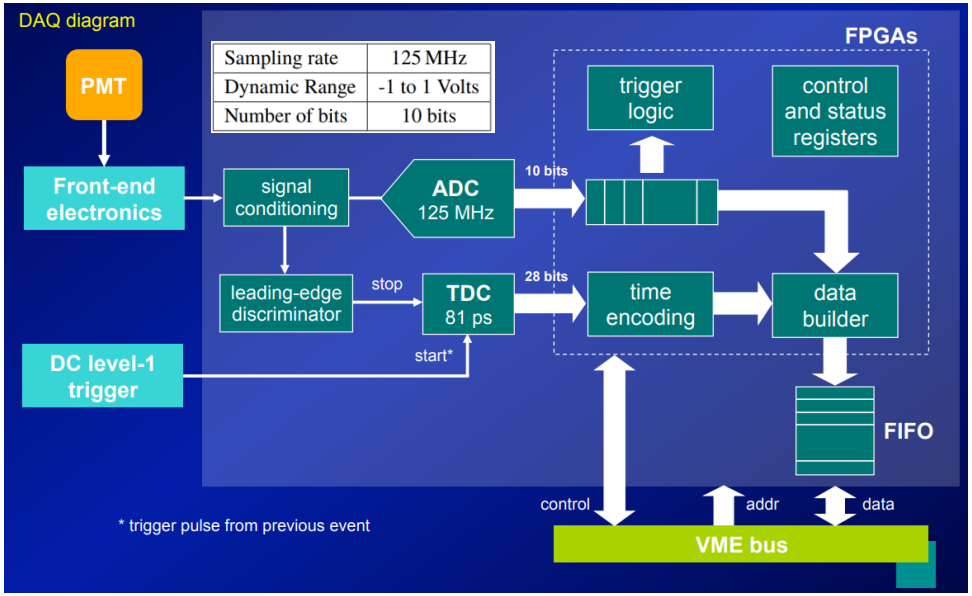






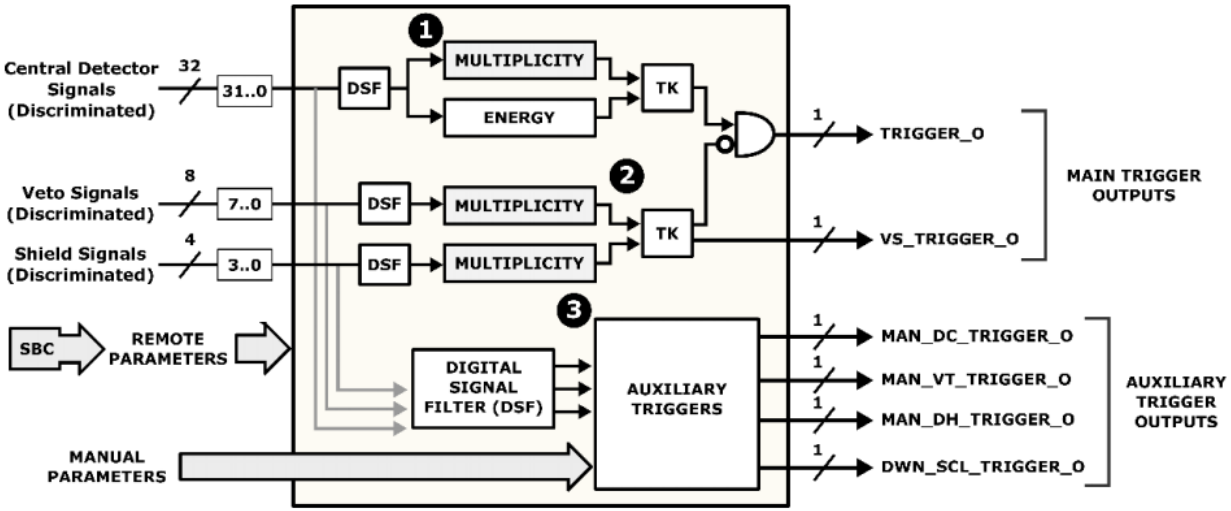
Instrumentação eletrônica: NDAQ

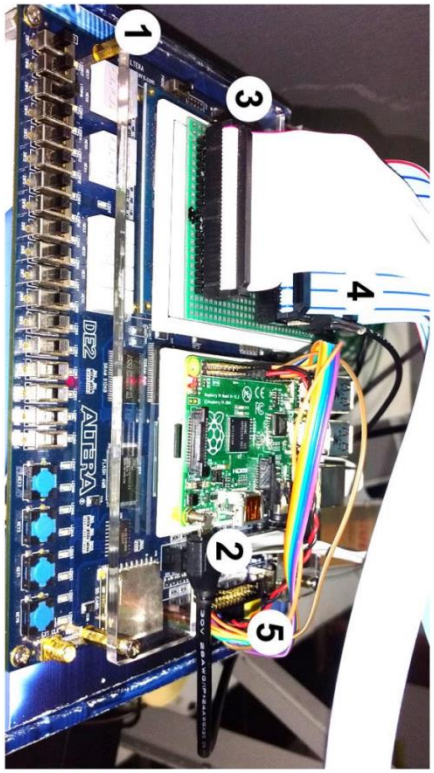
- Parceria pesquisadores *(concepção, desenho elétrico e projeto do firmware)* empresa privada *(layout e fabricação dos módulos)*.
  - Conversão A/D (8 canais X 125MHz / 10 bits)
  - Conversão Tempo-Digital (8 canais X 82ps)
  - Processamento digital em FPGA
  - Comunicação VME



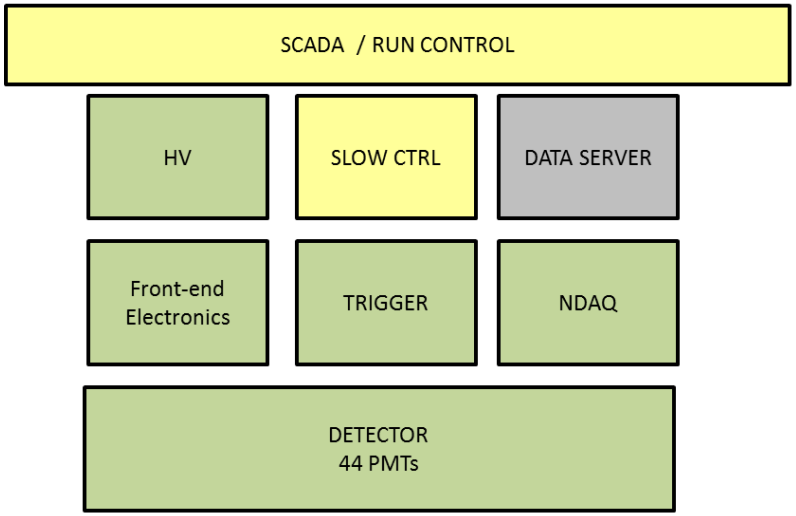
Instrumentação eletrônica: Trigger L1

- Algoritmo desenvolvido para um kit FPGA
  - Raspberry-Pi para programação e controle remoto do módulo
  - Decisões baseadas em Multiplicidade e Energia

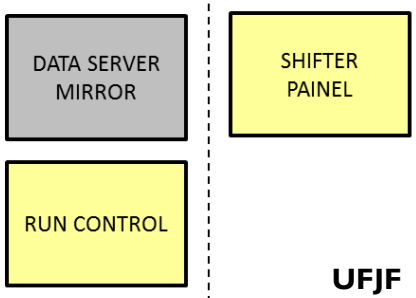




Instrumentação eletrônica: Slow Control



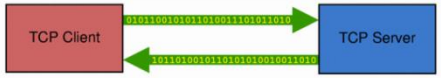
ANGRA



CBPF

UFJF
UFBA
UEFS
UNICAMP
UEL
CBPF

Modelo Servidor-Cliente e Maquina de Estado



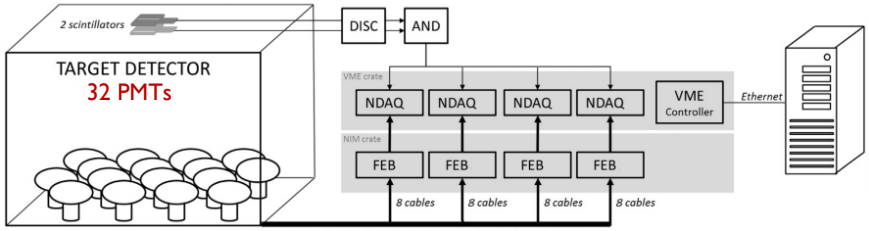
1. Connect to server
2. Event-1 : Send data
3. Event-2 : Receive data
4. repeat

1. Start listening on a port
2. Event-1 :Incoming connection
3. Event-2 :accept connection
4. Event-3 :
   a. Receive data from client,
   b. Process this data
   c. Send this as response

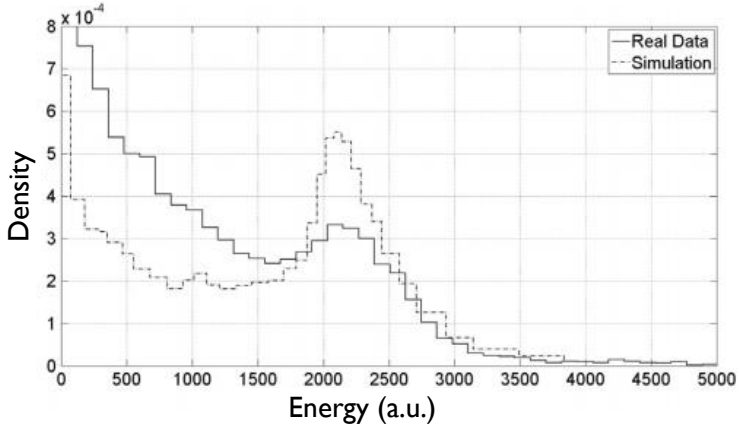
Contents lists available at ScienceDirect
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A
journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima
Readout electronics validation and target detector assessment for the Neutrinos Angra experiment

Teste e Caracterização do ALVO

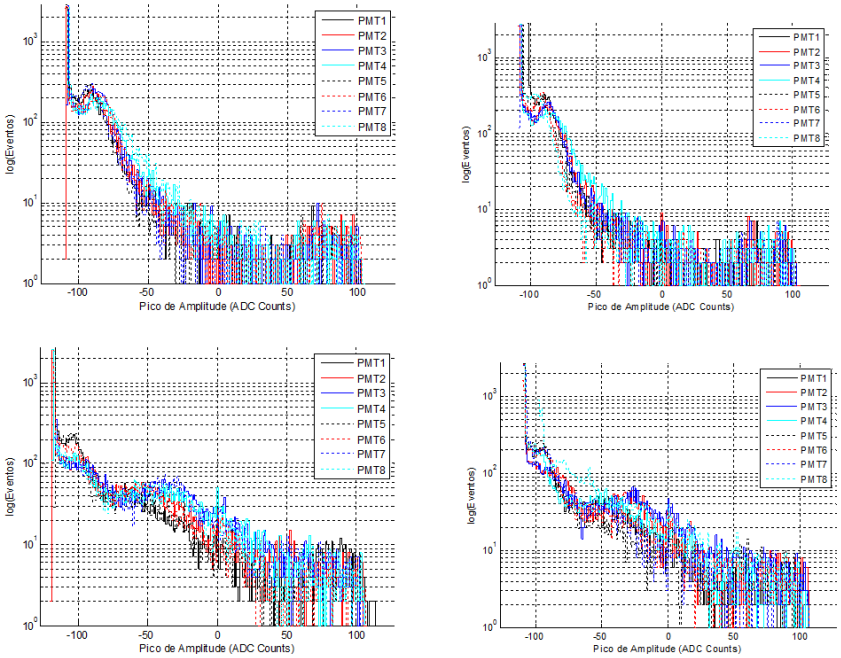
- Todos os canais funcionando corretamente
- Espectro da aquisição coerente com simulação de múons



ALVO - Espectro de múons

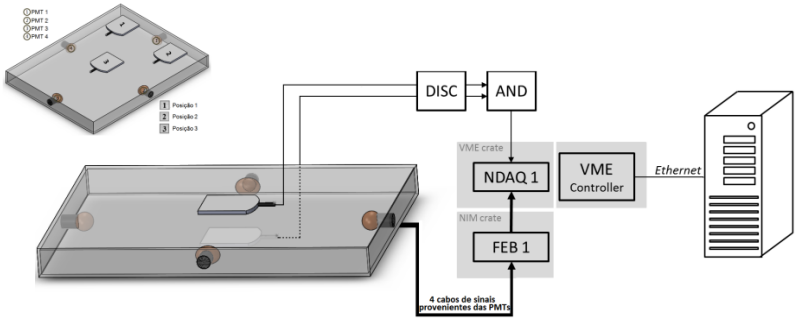


ALVO - Distribuição de energia / PMT



Teste e Caracterização do VETO

VETO TAMPAS - Eficiência



SUPERIOR

Eficiência(%) pelo Número de PMTs disparadas

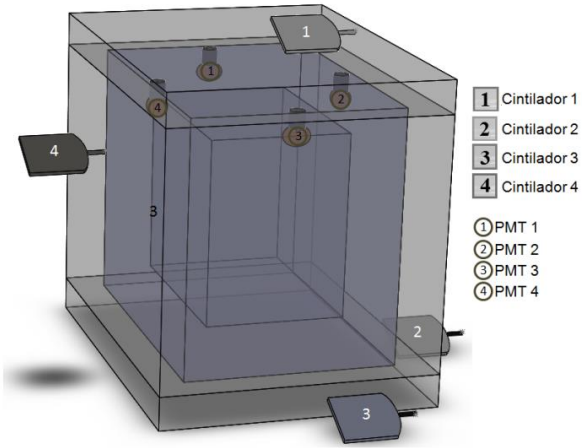
N^o PMTs	Posição 1	Posição 2	Posição 3
≥ 1	$99,72 \pm^{0,09}_{0,12}$	$99,65 \pm^{0,11}_{0,14}$	$99,49 \pm^{0,13}_{0,16}$
≥ 2	$98,34 \pm^{0,24}_{0,27}$	$99,25 \pm^{0,16}_{0,19}$	$99,27 \pm^{0,16}_{0,19}$
≥ 3	$78,04 \pm^{0,81}_{0,82}$	$78,45 \pm^{0,80}_{0,82}$	$95,96 \pm^{0,38}_{0,40}$
$=4$	$30,44 \pm^{0,91}_{0,90}$	$26,63 \pm^{0,88}_{0,87}$	$70,06 \pm^{0,90}_{0,91}$

INFERIOR

Eficiência(%) pelo Número de PMTs disparadas

N^o PMTs	Posição 1	Posição 2	Posição 3
≥ 1	$99,74 \pm^{0,09}_{0,12}$	$99,67 \pm^{0,10}_{0,13}$	$99,73 \pm^{0,09}_{0,12}$
≥ 2	$98,96 \pm^{0,19}_{0,22}$	$98,97 \pm^{0,19}_{0,22}$	$99,62 \pm^{0,11}_{0,14}$
≥ 3	$87,82 \pm^{0,63}_{0,66}$	$87,38 \pm^{0,64}_{0,67}$	$99,35 \pm^{0,15}_{0,18}$
$=4$	$46,28 \pm^{0,98}_{0,98}$	$45,04 \pm^{0,98}_{0,98}$	$93,54 \pm^{0,47}_{0,50}$

VETO LATERAL - Eficiência



Eficiência(%) pelo Número de PMTs disparadas

N^o PMTs	Posição 1	Posição 2	Posição 3
≥ 1	$97,20 \pm^{0,44}_{0,50}$	$97,45 \pm^{0,30}_{0,33}$	$94,22 \pm^{0,62}_{0,67}$
≥ 2	$94,18 \pm^{0,63}_{0,69}$	$93,78 \pm^{0,47}_{0,49}$	$93,01 \pm^{0,68}_{0,73}$
≥ 3	$64,27 \pm^{1,33}_{1,35}$	$68,40 \pm^{0,91}_{0,92}$	$89,67 \pm^{0,82}_{0,87}$
$=4$	$13,57 \pm^{0,98}_{0,94}$	$14,78 \pm^{0,71}_{0,69}$	$69,90 \pm^{1,25}_{1,28}$

Transferência para Angra II

- Responsável: Iuri M. Pepe - UFBA

- **1 mês para completar a transferência**
  - **21/ago – 01/set (2 semanas)**
    - desmontagem do detector (as 3 partes) no CBPF e condicionamento dos sensores e partes pra transporte;
  - **04/set – 15/set (2 semanas)**
    - transporte para a usina de Angra II, montagem da infraestrutura externa de apoio ao contêiner, montagem do detector no exterior do contêiner, instalação do detector completo no interior do contêiner.

Perspectivas futuras

- Preenchimento dos três volumes com água ultrapura + Gd (out/2017)
- Instalação e comissioning do HV, FEE, DAQ, Trigger, ECS no contêiner (set-out/2017)
- Calibrações iniciais do detector (nov-dez/2017)
- Primeiros runs de física (jan-fev/2018)

2018 - FÍSICA APLICADA NO SETOR DE NEUTRINOS COM TECNOLOGIA BRASILEIRA

Publicações 2015-2017

- **Artigo revista**
  - Front-end Design and Characterization for the ν-Angra Nuclear Reactor Monitoring Detector, JINST, 2016.
  - Readout electronics validation and target detector assessment for the Neutrinos Angra experiment, NIM-A, 2016.
- **Artigo congresso**
  - A cosmic rays based method to detect and correct PMT gain variations for the ν-Angra veto system, INSCIT, 2017.
  - BLUE Estimator applied to Energy Measurement for the ν-Angra Experiment, INSCIT, 2017.
  - Sistema online de seleção de eventos no detector Neutrinos Angra, CBA, 2016.
  - A FPGA-Based Trigger and DAQ System for ν-Angra Detector, 6th Workshop on Circuits and Systems Design, 2016.
  - Proposta de Sistema de Trigger de Primeiro Nível para o Detector ν-Angra, SBF - Encontro de Física, 2016.
  - Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) for the ν-Angra Experiment., SBF - Encontro de Física, 2016.
  - Avaliação do Sistema de Veto para o Experimento Neutrinos Angra, CBA, 2016.
  - The Neutrinos Angra Project Data Acquisition System and latest results, SBF - Encontro de Física, 2016.
  - Neutrinos Angra Experiment: Detector Status, SBF - Encontro de Física, 2016.
  - Using Neutrinos to Monitor Nuclear Reactors: the ν-Angra Experiment, Simulation and Detector Status, Nuclear and Particle Physics Proceedings, 2015.
- **Dissertações e Teses**
  - Tony Dornelas, Estudo, desenvolvimento e análise da instrumentação do experimento ν-Angra, UFJF, 2015 (**Dissertação**).
  - João M. S. Souza, Sistema digital de seleção online de eventos para o detector ν-Angra, UFBA, 2016 (**Dissertação**).
  - Marcelo Paschoal, Calibração e Análise dos primeiros dados adquiridos ao lado do Reator de Angra II para o Experimento ν-Angra, UFJF, em andamento, (**Tese**).