

## **RELATÓRIO TÉCNICO FINAL COMPLEMENTAR**

### **PROJETO NEUTRINOS ANGRA: Monitoramento de Reatores Nucleares**

#### **1 – Introdução e Objetivos:**

Nos últimos dez anos houve grandes avanços nas técnicas de detecção de neutrinos que possibilitaram a realização de experiências de grande precisão e que permitiram o surgimento de novas aplicações da física de neutrinos. O fato dos reatores nucleares serem fontes abundantes de neutrinos provenientes da fissão nuclear dos elementos combustíveis possibilita usá-los tanto para o estudo de propriedades fundamentais destas partículas como também para obter informações sobre a queima do combustível nuclear e a evolução de sua composição. O projeto Neutrinos Angra se propõe a explorar esta possibilidade: estudo da aplicação da detecção de neutrinos para monitoramento de reatores nucleares utilizando o reator Angra II no Brasil. O presente projeto está centrado no desenvolvimento de instrumentação científica e realização de um experimento para alcançar este objetivo.

#### **2 – Motivação e Relevância:**

Reatores nucleares são uma intensa fonte de antineutrinos e a potência térmica liberada no processo de fissão dos elementos combustíveis é diretamente relacionada com o fluxo emitido de antineutrinos. Como os antineutrinos interagem muito fracamente com a matéria e escapam do reator sem nenhuma mudança significativa no seu número, a medida do fluxo de antineutrinos pode dar em tempo *quasi-real* informação sobre o *status* do reator (ligado/desligado) e sua potência térmica.

O fato de dispormos do reator nuclear Angra II, no complexo nuclear de Angra dos Reis, nos possibilita fazer Física de Neutrinos no Brasil. O reator Angra II, de 4 GW de potência térmica, equivalente a  $10^{20}$  fissões por segundo, permite obter em um detector com apenas 1 m<sup>3</sup> de material sensível, instalado a uma distância da ordem de 30m do reator, uma taxa de alguns milhares de interações de neutrinos por dia. Utilizando pois o reator nuclear Angra II pretendemos desenvolver técnicas para monitorar reatores nucleares através da medida do fluxo de antineutrinos emitido. Estas técnicas permitem também, em princípio, estimar a composição isotópica do combustível nuclear no final do ciclo de combustível, através da espectroscopia de neutrinos<sup>1</sup>, podendo vir a constituir-se numa nova ferramenta para o uso em salvaguardas nucleares.

O monitoramento de reatores nucleares através de antineutrinos por ser um método que independe de informações repassadas pelo operador da central nuclear e que pode ser feito remotamente e em tempo real, despertou o interesse da Agência Internacional de Energia Atômica para esta técnica. Assim foi criado pela IAEA um painel de especialistas – *Ad Hoc*

---

<sup>1</sup> P. Huber e T. Schwetz, Phys. Rev. D 70, 053011, 2004

*Expert Advisory Working Group on the Use of Antineutrino Detection and Monitoring for Safeguards Purposes* – para assessorar a IAEA no estudo do potencial desta técnica para o uso futuro em salvaguardas nucleares. Dois pesquisadores do projeto Neutrinos Angra fazem parte deste painel (J. Anjos e E. Kemp) cuja última reunião foi em setembro de 2011 na sede da Agência em Viena. Assim o experimento Neutrinos Angra poderá contribuir para o desenvolvimento de uma nova tecnologia e ser uma contribuição do Brasil, como Estado membro, para a IAEA.

### **3 – Desdobramentos Científicos e Tecnológicos:**

Uma atividade experimental na fronteira do conhecimento gera demandas imediatas de capacitação e inovação tecnológica. A construção de detectores do tipo proposto envolve o uso de materiais com propriedades ópticas e mecânicas muito específicas, estruturas com desenho especial, eletrônica para processamento de sinais rápidos, sistemas de aquisição de dados e desenvolvimento de *software* para seu gerenciamento. Após a fase de protótipos, o fornecimento de elementos do detector passa a ser feito pela indústria nacional, atendendo as especificações requeridas para o bom desempenho do experimento e esta parceria acaba gerando *know how* que pode ser incorporado pela indústria, criando um processo de inovação tecnológica.

Devemos mencionar também como produto final, o domínio, pela comunidade científica nacional, das técnicas empregadas na detecção de neutrinos, até agora inexistentes no país. Além disso, o experimento de Angra possibilita agregar um grupo nacional de cientistas com competência reconhecida na área, realizando uma atividade experimental de ponta em um laboratório localizado no nosso próprio país.

#### **1. Equipe envolvida: pesquisadores, estudantes e colaboradores:**

O experimento Neutrinos-ANGRA é conduzido por uma colaboração dinâmica de cientistas e colaboradores de várias instituições nacionais com competência reconhecida na área de física de neutrinos e na área de instrumentação nuclear (CBPF, PUC-RJ, UNICAMP, UFABC, UFBA, UEFS, UFJF, UNIFAL) e conta também com a participação de alguns laboratórios estrangeiros<sup>2</sup>.

#### **Pesquisadores e Colaboradores**

<b>Pesquisadores participantes e</b>	<b>Colaboradores</b>
João Carlos C. dos Anjos - (coord.CBPF)	Gabriel Azzi (CBPF)
Ernesto Kemp - (Unicamp)	Paulo Cesar Farias (UEFS)
Ademarlaudo França Barbosa (CBPF)	Luciano Manhães Andrade Filho (UFJF)
Herman Pessoa Lima Júnior (CBPF)	Arídio Shiappacassa (CEFET-RJ)
Marcelo A. Leigui de Oliveira (UFABC)	Rogério Machado da Silva (UFRRJ)
Pietro Chimenti (UFABC)	Fernando Barcellos de Sousa (CBPF)
Iuri Muniz Pepe (UFBA)	Luis Villasenor (Univ. Michoachan, Mex)
Germano Pinto Guedes (UEFS)	Edgar Linares (Univ. Guanajuato, Mex.)
Hiroshi Nunokawa (PUC-RJ)	Ricardo Galvão (USP)
Mario Vaz da Silva Filho (UFRJ, CBPF)	Hélio da Motta (CBPF)

#### **Formação de Recursos Humanos**

Com a aprovação do projeto pela FINEP e liberação dos recursos em 2008/2009, iniciamos o design do detector e o desenvolvimento e teste dos sistemas de detecção. Foi gerado assim um

<sup>2</sup> Ver lista de participantes no projeto detalhado, anexado a este documento.

grande potencial de formação de estudantes, sobretudo na área experimental e de instrumentação científica.

Anderson Corrêa Schilithz (dout. CBPF)	Gustavo Simões (Inic. Científica, CBPF)
André Oliveira (mestrado, CBPF)	Valdir Salustino (Inic. Cient. CBPF)
Fernando de Sousa (mestrado Prof. CBPF)	Rafael G. Gama (mestrado prof. CBPF)
Thiago J. Castro Bezerra (Dout. UNICAMP)	Tiago Lima Rodrigues (Inic. Cient., CBPF)
Luis Fernando Gonzalez (Dout UNICAMP)	Thamys Abrahão (Inic. Cient. CBPF)
Wallace Raposo Ferreira (mest. prof. CBPF)	Marcelo J. Nascimento Souza (Dout. CBPF)
Arídio Schiapacassa (mestrado prof. CBPF)	Márcio Gonçalves Nunes (mestrado CBPF)
Hugo Falcon (Dout., Univ. Mich., México)	Lenilson Moreira Araujo (IME, RJ)

### **O experimento ANGRA e a colaboração com a ELETRONUCLEAR:**

A construção do experimento no complexo nuclear de Angra dos Reis foi feita de forma gradativa. Essa abordagem permitiu que as atividades experimentais fossem menos impactantes sobre as operações de rotina na usina e, também, que se iniciasse de forma rápida a tomada inicial de dados e identificação do background local, para que o experimento, na sua configuração definitiva, alcance seu melhor desempenho.

Tivemos desde o início do projeto o apoio da ELETRONUCLEAR, empresa que construiu e que opera os reatores nucleares e que é sensível ao problema de salvaguardas nucleares. Em 2008 e 2009 fizemos várias visitas à usina e à sede da empresa no Rio de Janeiro e tivemos diversas reuniões com equipes técnicas ligadas à operação da usina, já que na área nuclear os projetos têm que ser minuciosamente descritos e aprovados pela área de segurança, de forma que não tenham impacto relevante sobre o funcionamento da usina, mesmo em caso de algum acidente. Uma proposta de convênio entre a Eletronuclear, o CBPF e a UNICAMP e que fixa a forma de colaboração e atuação dentro do complexo nuclear foi aprovada no que concerne aos aspectos técnicos e submetida aos setores jurídicos das três instituições.

Na proposta inicial do projeto Angra o detector de neutrinos seria composto por um tanque de aço inoxidável com  $1,0 \times 1,0 \times 1,5 \text{ m}^3$ , preenchido com cintilador líquido, cuja composição é uma base de hidrocarbonetos adicionado de compostos luminescentes (100 ppm) e Gadolínio (150 ppm). A possibilidade de implantação de um laboratório subterrâneo também foi discutida com engenheiros da Eletronuclear. Entretanto devido às normas de segurança, a construção de um laboratório subterrâneo e o uso de cintilador líquido próximo ao reator não foram autorizados e tivemos que adotar no final de 2009 um novo *design* bastante desafiador: um detector Cherenkov a água (dopada com um sal de Gadolínio) colocado na superfície, dentro de um contêiner comercial.

Este novo detector incorporou características que estão em acordo com o *design* recomendado no Relatório final do “Workshop sobre Detecção de Antineutrinos para Aplicações em Salvaguardas” realizado em outubro de 2008 na sede da Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA em Viena: o detector deve ser facilmente instalável e ter um tamanho reduzido. O grande desafio será controlar o alto nível de ruído induzido por raios cósmicos ao nível do mar.

No final de 2008 obtivemos a autorização da Eletronuclear para a colocação do contêiner junto à parede externa da cúpula do reator Angra II, a cerca de 30 m do núcleo do reator. Após o processo de licitação e compra, um contêiner foi instalado no local (figura 1) e dentro dele um detector Cherenkov a água para iniciar medidas de background. O sistema todo tem processamento de sinais e aquisição de dados automáticos, gerenciados por um

microcomputador. Em 2009 e 2010 realizamos medidas de fluxo de múons cósmicos, principal fonte de *background* existente, e estabelecemos os procedimentos para a aquisição de dados e o monitoramento remoto do detector Cherenkov via conexão internet com o CBPF.



23/09/2008

container: 1st laboratory in Angra

Figura 1: Contêiner do projeto Neutrinos Angra instalado junto à parede externa da cúpula do reator Angra II, a cerca de 30m do núcleo, e onde serão instalados detectores para medidas de *background* e um detector Cherenkov a água para detecção de neutrinos.

Como dissemos anteriormente, como o contêiner está na superfície, o principal desafio para a detecção de neutrinos será reduzir a níveis aceitáveis o *background* induzido por raios cósmicos: eletromagnético (gamas, elétrons e pósitrons), múons e nêutrons produzidos pelo processo de espalçamento de múons em núcleos. Estimativas preliminares obtidas por simulação indicam um fluxo de nêutrons de 4Hz no detector central (após blindagem) e um fluxo de múons da ordem de 400Hz. Foram desenvolvidas técnicas de análise dos dados para supressão deste *background*.

O design adotado é composto de três subsistemas: i) um detector central, baseado na técnica de Cherenkov à água; ii) um veto de múons, composto de tiras de cintilador plástico extrudado e fibras óticas do tipo WLS lidas por fotomultiplicadoras; e iii) uma blindagem externa de 30 cm de água, e uma interna de mais 20 cm de água, para proteger a região do alvo do ruído de nêutrons induzidos por raios cósmicos e pela radioatividade natural externa. Mostramos na figura 2 um desenho do detector central enfatizando a blindagem interna e a distribuição das 40 fotomultiplicadoras Hamamatsu R5912 distribuídas dentro e em volta do tanque central. As dimensões do tanque definem um alvo de volume  $\sim 1,3 \text{ m}^3$ , que darão uma taxa de interação de neutrinos da ordem de  $4.8 \times 10^3$  eventos por dia, considerando a distância de  $\sim 30 \text{ m}$  do núcleo do reator, e 4 GW de potência térmica. O tanque central é preenchido com uma mistura de água e uma pequena porcentagem ( $\sim 0,3\%$ ) de Cloreto de Gadolínio. A adição do composto de Gadolínio permite reduzir o tempo médio para a captura dos nêutrons para cerca de  $18 \mu\text{s}$  e ao mesmo tempo aumentar a energia depositada na captura dos nêutrons devido a energia mais alta dos gamas produzidos na des-excitação do Gadolínio (8MeV) em comparação com os produzidos na reação nêutron-próton (2,4MeV).

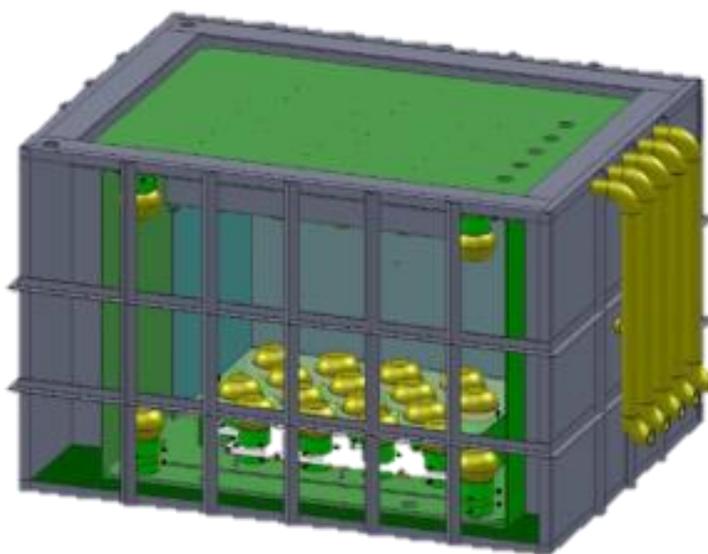


Figura 2: Detector Cherenkov à água onde podemos ver a região central do alvo, a blindagem interna, e a distribuição das fotomultiplicadoras no detector.

## 6. Principais atividades executadas:

Passaremos agora a relatar as atividades desenvolvidas e o cumprimento das metas acordadas com a FINEP

## 7. Plano de Trabalho: Metas Físicas e relatório de execução:

### 1. Instalação de sala experimental em contêiner comercial em local próximo ao reator:

Atividade Técnica: compra e adequação de contêiner comercial

Indicador físico de execução: contêiner instalado

Mês início: 1                      Mês fim: 3

Esta atividade foi concluída com sucesso já em 2008 embora com atraso devido a demora em se obter da Eletronuclear autorização para colocação do contêiner próximo ao reator Angra II. (ver figura 1). Em 2011 foi colocado um novo contêiner maior (12 metros de comprimento e mais alto), tendo o primeiro ficado como laboratório de apoio local. Esta medida foi necessária para podermos aumentar a blindagem aos raios cósmicos. Por outro lado a existência de uma área útil bem maior possibilitou a inclusão de mais um experimento dentro do contêiner, como veremos mais tarde.



Figura 3: Novo contêiner de 40' (12 metros) do tipo "High Cube" instalado junto ao reator Angra II.

## 2. Instalação de linha de transmissão de dados via internet com conexão Angra-CBPF:

Atividade Técnica: compra de material e instalação da conexão

Indicador físico de execução: conectividade com internet e transmissão de dados

Mês início: 3                      Mês fim: 5

Esta atividade foi concluída com sucesso embora com atraso devido a demora em se obter da Eletronuclear autorização para colocação do contêiner próximo ao reator Angra II. Houve também demora na instalação do cabo de fibra ótica que faz a conexão do computador que fica no contêiner com a rede internet da Eletronuclear. Esta conexão teve que ser executada por técnicos da própria Eletronuclear. Atualmente a conexão remota com o CBPF está ativa.

## 3. Instalação de detector Cherenkov para medida de fluxo de múons:

Atividade Técnica: compra de material (fotomultiplicadora, cintilador plástico, conectores e fibras ópticas) e integração

Indicador físico de execução: telescópio funcionando em Angra

Mês início: 3                      Mês fim: 5



Figura 4: Fotomultiplicadoras e base de polietileno para fixação das 16 PMT da base do detector.

Esta atividade foi concluída com sucesso embora com atraso devido a demora em se obter da Eletronuclear autorização para colocação do contêiner próximo ao reator Angra II. Atualmente o detector Cherenkov está operacional e o sistema de aquisição de dados foi aperfeiçoado recentemente.

#### 4. **Prospecção do terreno a varias profundidades e medida de *background* devido a radioatividade natural:**

Atividade Técnica: prospecção do terreno, construção de detector e perfuração de “bore holes”

Indicador físico de execução: medidas de radioatividade natural do solo realizada

Mês início: 4

Mês fim: 9

Foram realizadas na UNICAMP medidas de radioatividade natural em amostras de material (rocha e areia) colhidas nas escavações que estão sendo realizadas para a construção do reator Angra III. Como pode ser observado na figura 3 para energias superiores a 2 MeV o nível de contagem é da ordem 0,001 Hz tanto para a rocha (em preto) quanto para a areia (em vermelho). Isto indica que este tipo de ruído será desprezível para o experimento.

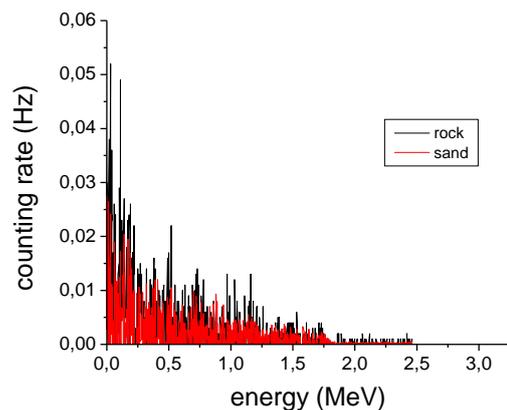


Figura 5: amostras de rocha e areia e níveis de radioatividade encontrados

A prospecção do terreno não foi realizada, pois o local cedido inicialmente pela Eletronuclear é na superfície, ao lado da cúpula de concreto que circunda o núcleo do reator. Embora um detector na superfície esteja sujeito a um ruído de raios cósmicos muito maior e necessite de uma blindagem adicional, por outro lado pode ser colocado a uma distância mais próxima ao núcleo do reator, o que aumenta o fluxo de neutrinos que atravessam o detector. O local inicialmente previsto estava a 60m do reator enquanto que o novo local está a cerca de 30m, quadruplicando o número de eventos esperado em relação ao local anterior.

Para a Agência Internacional de Energia Atômica a colocação de um detector de neutrinos em um contêiner é mais atraente do ponto de vista de salvaguardas por ser mais simples de ser realizada. A recomendação da agência é no sentido de se buscar um detector facilmente “*deployable*” (montável) o que corrobora a solução adotada em comum acordo com a Eletronuclear.

A possibilidade de construção de um laboratório subterrâneo poderá ser adotada no futuro para usinas novas como Angra III, com a previsão de uma sala subterrânea incluída no projeto de construção do reator.

## 5. Construção de detector de três volumes:

Atividade Técnica: compra de componentes e construção de detectores

Indicador físico: detector construído e instalado

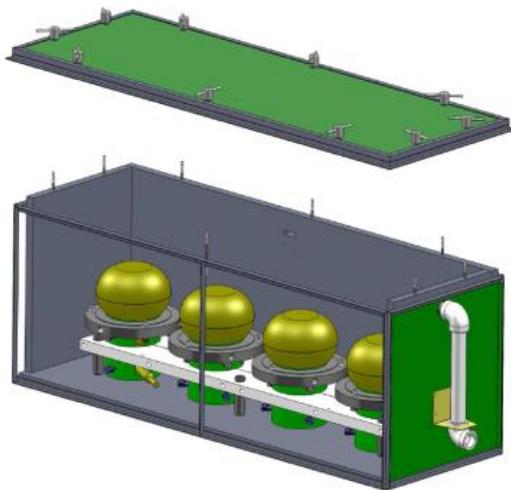
Mês início: 12

Mês fim: 22

Com a impossibilidade de se usar cintilador líquido próximo ao reator por questões de segurança, já que se trata de material inflamável, tivemos que redimensionar o detector e adotar a técnica Cherenkov à água. Esta mudança provocou um atraso na construção do detector final e necessidade de extensões do projeto.

Foi construído um protótipo do detector, para 4 PMTs, para validar a proposta.

Este detector é mostrado na figura abaixo, sendo utilizado no laboratório do CBPF.



rgama@cbpf.br

Figura 6: protótipo de tanque com 4 PMTs

Este protótipo possibilitou também realizar testes com as PMTs como medida do ganho, contagem de escuro (ruído eletrônico) e medida da carga depositada por um único fotoelétron. Esta medida é de extrema importância, pois permite estimar a energia depositada num evento. Na figura 7 abaixo mostramos a relação pico-vale medida para o *single photoelectron*

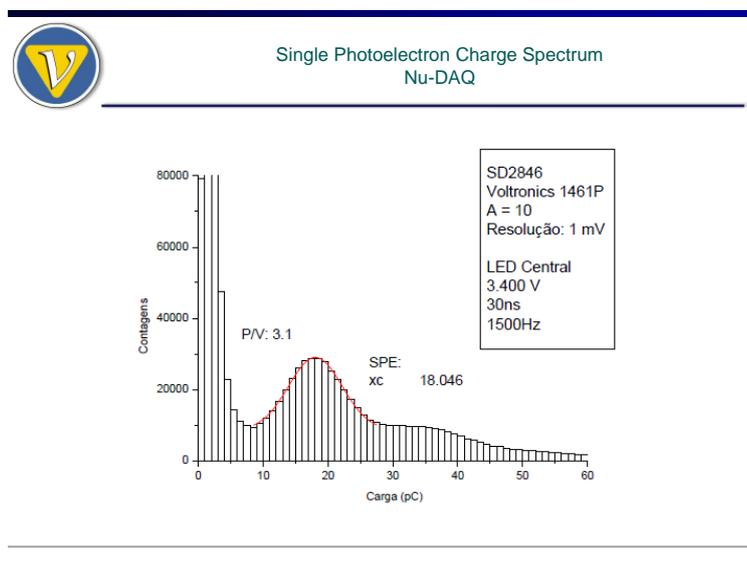


Figura 7: relação pico-vale para o “single-photoelectron”

Foi contratado um projetista para desenho do detector em CAD mecânico. O projeto foi concluído em janeiro de 2012 e os componentes do detector central foram construídos.

Mostramos na figura 8, abaixo, o tanque central e os tanques de blindagem superior e inferior sendo descarregados no CBPF onde estão sendo realizados testes e calibrações.



Figura 8: tanques do detector central chegando ao CBPF para exercício de montagem e calibrações.

## 6. Desenvolvimento do sistema de aquisição de dados:

Atividades Técnicas:

1- desenvolvimento do projeto e construção de protótipo

Indicador físico: protótipo testado e design aprovado

Mês início: 1                      Mês fim: 10

Esta atividade foi concluída com sucesso. Primeiramente foi projetado o módulo de aquisição conforme diagrama mostrado na figura 9. Foram produzidos três módulos protótipos que foram testados e caracterizados. Foi necessário corrigir alguns erros de menor importância no design e uma nova versão do protótipo foi construída. Um módulo protótipo pode ser visto na figura 10.

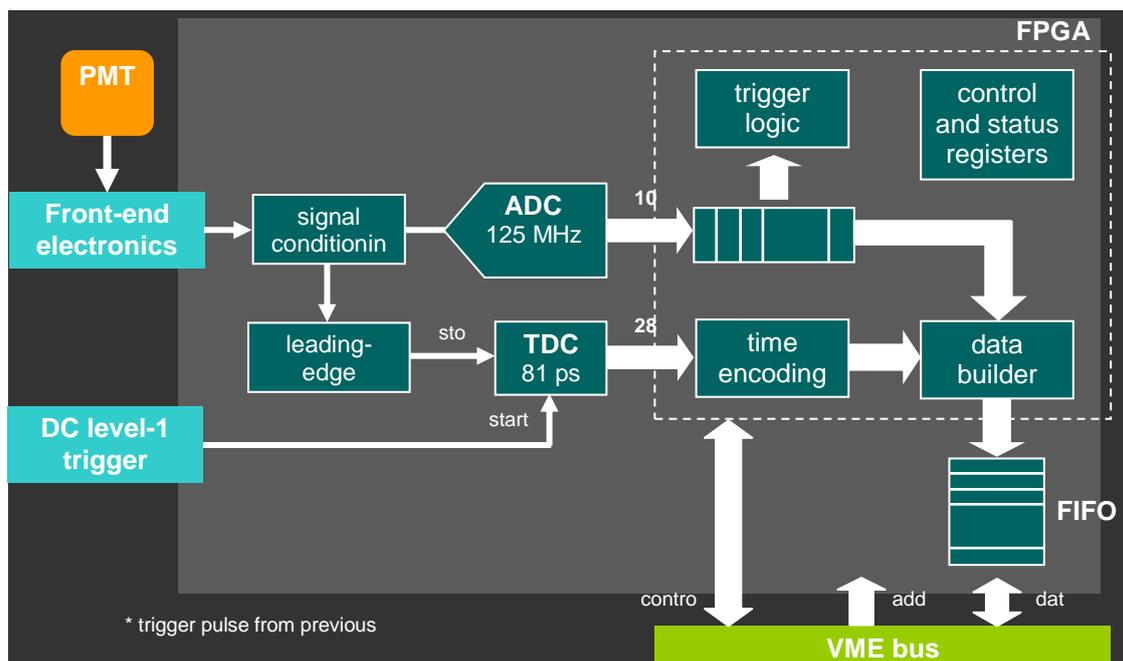


Figura 9: diagrama lógico do módulo de aquisição de dados



Figura 10: módulo protótipo da eletrônica de *aquisição de dados*, que fornece carga e tempo da chegada do sinal em cada fotomultiplicadora.

## 2- encomenda e produção de módulos eletrônicos

Indicador Físico: módulos entregues por indústria fabricante

Mês início: 10

Mês fim: 16

Após o funcionamento do protótipo, o módulo final com 8 canais foi desenhado no CBPF, produzido e montado pela empresa CADservice, localizada em Campinas/SP. Tanto o protótipo como o módulo final foram concebidos no CBPF por pesquisadores da equipe executora. O *firmware* e o *software* para controle e leitura dos dados foram desenvolvidos no CBPF e na UNICAMP, tendo sido concluídos em julho de 2012.

Mostramos na Figura 11 o módulo final, com 8 canais, da eletrônica de aquisição de dados e um crate VME com 14 módulos fabricados inseridos totalizando 112 canais.

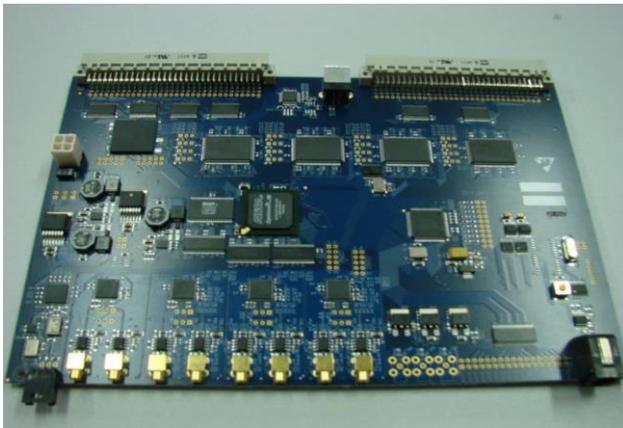


Figura 11: módulo final NDAQ, com 8 canais (ADC e TDC), e crate VME com 14 módulos finais NDAQ

O projeto e a construção do módulo da eletrônica de *front-end* ficou a cargo do grupo de engenharia elétrica da Universidade de Juiz de Fora que participa da colaboração Angra. Este módulo recebe o sinal analógico das fotomultiplicadoras e o condiciona antes de enviar para o módulo de aquisição de dados que irá digitalizar o sinal. Na figura 12 vemos o módulo da eletrônica de *front end* na sua versão final (8 canais) e ao lado o *layout* de como o sistema de aquisição de dados será configurado.

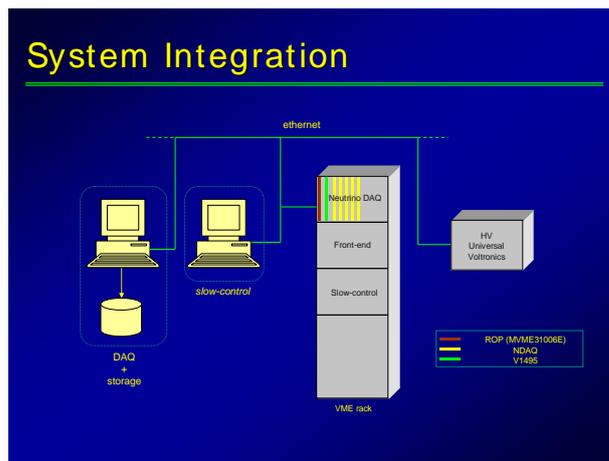


Figura 12: eletrônica de *front-end* e configuração do sistema de aquisição de dados

## 6. Instalação e comissionamento dos detectores:

Atividade Técnica: instalação e integração dos detectores

Indicador físico: comissionamento e detectores

Mês início: 18                      Mês fim: 24

A instalação e comissionamento do detector em Angra está em fase de execução, pois resolvemos testar e calibrar o detector no laboratório do CBPF antes de levá-lo para a central nuclear. Esta decisão visa minimizar o tempo de instalação em Angra, pois há uma enorme dificuldade em se trabalhar na central nuclear por muito tempo. A entrada é restrita a um número mínimo de pessoas e há necessidade de uma escolta permanente. A entrada de material também é controlada e cada item deve ser aprovado. Assim sendo resolvemos fazer uma primeira montagem no CBPF para otimizar o procedimento e também realizar aí as calibrações com LEDs e fontes radioativas, diminuindo o tempo de instalação em Angra e o impacto na rotina da central nuclear.

Mostramos na figura 12, abaixo, o início da montagem, no CBPF, do tanque de blindagem superior, que servirá como veto de múons ativo e das fotomultiplicadoras do tanque alvo.



Figura 12: início da montagem e dos testes no CBPF com o tanque de blindagem superior (veto ativo) e das fotomultiplicadoras da base do detector que servirá como alvo para as interações de neutrinos.

Na figura 13 mostramos a montagem do tanque alvo dentro do tanque de blindagem e os primeiros testes do sistema de aquisição de dados. Para estes testes o detector alvo foi instrumentado com as 16 fotomultiplicadoras da base e cheio de água ultra-pura. Inicialmente não houve adição de Cloreto de Gadolínio. Com esta configuração foi possível medir o background local, essencialmente composto por múons de origem cosmológica.

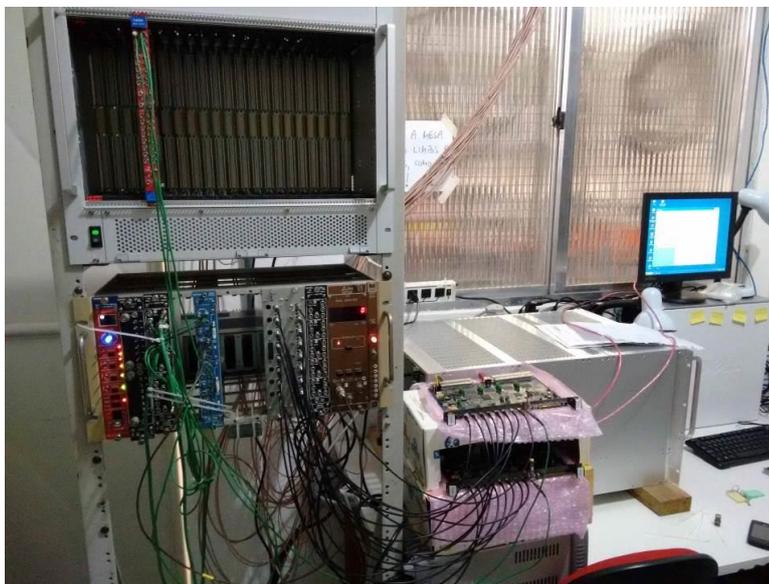


Figura 13: Teste de montagem do tanque alvo dentro do tanque de blindagem. e primeiros testes do sistema de aquisição de dados utilizando a eletrônica de front-end e os módulos de aquisição NuDAQ..

Como vemos a última meta do projeto – instalação e comissionamento dos detectores – está em fase de execução.

## 7. Impacto na Rede Nacional de Pesquisa, Desdobramentos e Considerações Finais

Após os experimentos com emulsões nucleares na década de 60 este deverá ser um dos primeiros experimentos em Física de Partículas a ser construído e operado no Brasil. Normalmente experiências nesta área requerem a construção de grandes aceleradores de partículas, de custo muito elevado, como os existentes no CERN (Suíça) e no FERMILAB (Estados Unidos), impossibilitando a realização de tais projetos em nosso país. No caso presente estamos aproveitando um investimento de bilhões de dólares já realizado pelo governo brasileiro na construção do complexo nuclear de Angra dos Reis para impulsionar a Física Experimental de Neutrinos no Brasil. Um experimento como o Neutrinos Angra além de seu potencial científico e tecnológico impulsionará e incentivará a comunidade brasileira ligada a esta área da ciência, fortalecendo trabalhos de caráter interdisciplinar e promovendo uma interação com a indústria nacional para a fabricação dos componentes eletrônicos e outros sistemas.

A implantação de um laboratório de neutrinos junto ao reator Angra II graças ao presente projeto FINEP possibilitou também novas parcerias internacionais do Brasil (CBPF e UFRJ) com o Fermilab (USA), UNAM (México), Universidade de Zurich (Suíça), Universidade Nacional del Sur (Argentina), Universidade Nacional de Assunção (Paraguai)

através do experimento CONNIE (Coherent Neutrino Nucleus Interaction Experiment), que começou a ser montado em setembro de 2014 no laboratório em Angra e que investiga a possibilidade de uso de CCDs como detectores de neutrinos.

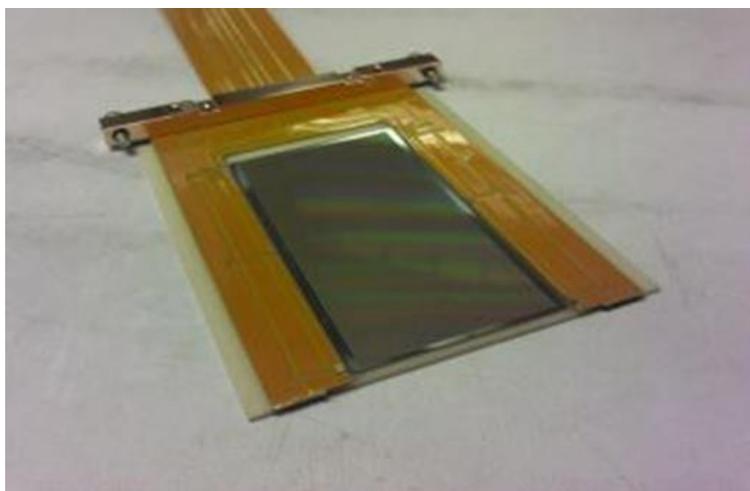


Figura 14: CCD do experimento CONNIE e sua montagem no laboratório de neutrinos em Angra

O experimento CONNIE foi aprovado pelo Fermilab em abril 2014 dentro do programa Laboratory Directed Research & Development – LDRD ( <http://ldrd.fnal.gov/> ) destinado a apoiar projetos cientificamente criativos, de alto risco e alta recompensa, para a demonstração de novas idéias, conceitos técnicos e novos instrumentos ou detectores. Foi um dos sete projetos aprovados este ano entre cinquenta concorrentes. O experimento CONNIE dedicado ao estudo do espalhamento coerente de neutrinos em núcleos atômicos caso seja bem sucedido fará a primeira observação desta interação prevista no modelo padrão mas ainda não observada experimentalmente e será pioneiro no uso de *Charged Coupled Devices* – CCDs como detectores de neutrinos, resultando numa inovação tecnológica importante e possibilitando a redução, para algumas aplicações, do tamanho dos detectores de neutrinos. Nada disto seria possível sem o apoio recebido da FINEP.

Informações mais detalhadas sobre o projeto ANGRA podem ser encontradas no link abaixo:

<http://lsd.cbpf.br/neutrinos/>