



Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)



Projeto Neutrinos Angra **IV Encontro de Trabalho**

Laudó Barbosa

Campinas, 04 de Dezembro, 2008

() Apresentado no I Workshop RENAFEA - Rio*

Plano de apresentação

- *Histórico*

- Proposta de projeto
- Desenho inicial para o detector
- Interação com Eletronuclear

- *Estado atual*

- Detector para aplicações em salvaguarda nuclear
- Desenhos alternativos
- Instalação de laboratório (*container*) em Angra

Proposta original para o Projeto Angra

Brazilian Journal of Physics, vol. 36, no. 4A, December, 2006

1

Angra dos Reis Reactor Neutrino Oscillation Experiment*

J. C. Anjos, A. F. Barbosa, J. Magnin, A. Schilhtz, R. C. Shellard,¹ A. Bernstein,² N. Bowden,³
W. Fulgione,⁴ E. Kemp, O.L.G. Peres,⁵ H. Nunokawa,⁶ D. Reyna,⁷ and R. Zukanovich Funchal⁸

¹(1) *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rua Dr. Xavier Sigaud 150, Rio de Janeiro, RJ, 22290-180, Brazil*

²(2) *Lawrence Livermore National Laboratory, 7000 East Ave, Livermore, USA*

³(3) *Sandia National Laboratories, CA, 7011 East Ave, Livermore, CA 94550, USA*

⁴(4) *Istituto Nazionale di Astrofisica - Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, Corso Fiume 4, 10100, Torino, Italy*

⁵(5) *Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6165, Campinas, SP, 13083-970, Brazil*

⁶(6) *Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro,
Caixa Postal 38071, Rio de Janeiro, RJ, 22452-970, Brazil*

⁷(7) *Argonne National Laboratory, 9700 S. Cass Avenue, Argonne, IL, 60439, USA*

⁸(8) *Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318 São Paulo, SP, 05315-970, Brazil*

Received on, 2006

We present the status and plans of the Angra Project, a new reactor neutrino oscillation experiment, proposed to be built in Brazil at the Angra dos Reis nuclear complex. This experiment is aimed to measure θ_{13} , the last unknown of the three neutrino mixing angles. We propose a high sensitivity multi-detector experiment, able to reach a sensitivity to antineutrino disappearance down to $\sin^2 2\theta_{13} = 0.006$ in a three years running period, by combining a high luminosity design, very low background from cosmic rays and careful control of systematic errors. We also intend to explore the possibility to use the neutrino detector for purposes of safeguards and non-proliferation of nuclear weapons.

Keywords:

Oscilações de neutrinos

O fluxo observado de neutrinos solares é inferior ao fluxo que é previsto pelo Modelo Solar Padrão

⇒ Segundo o modelo mais eficaz para explicar a diferença entre previsão/observação, há três estados físicos de neutrinos $\nu_i = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$ que compõem os estados dos neutrinos observados $\nu_s = (\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$, segundo a relação:

$$\begin{bmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{bmatrix}$$

$$\nu_i = U\nu_s \leftrightarrow \nu_s = U^+\nu_i$$

Propagação no vácuo:

$$i\frac{d}{dt}\nu_i = H\nu_i \Rightarrow i\frac{d}{dt}U^+\nu_s = HU^+\nu_s \Rightarrow i\frac{d}{dt}\nu_s = UHU^+\nu_s$$

Oscilações de neutrinos

- A matriz UHU^\dagger não é diagonal, portanto os estados observados são superposição (mistura) de estados físicos ‘puros’;
- A equação anterior tem solução oscilatória;
- As oscilações são induzidas por diferenças de massa entre estados puros;
- Podem-se computar as probabilidades de transição entre estados.

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) \sim \sin^2(2\theta_{13})\sin^2(\theta_{23})\sin^2(\Delta m^2 L/4E)$$

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(2\theta_{13})\cos^2(\theta_{23})\sin^2(\Delta m^2 L/4E)$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(2\theta_{23})\cos^4(\theta_{13})\sin^2(\Delta m^2 L/4E)$$

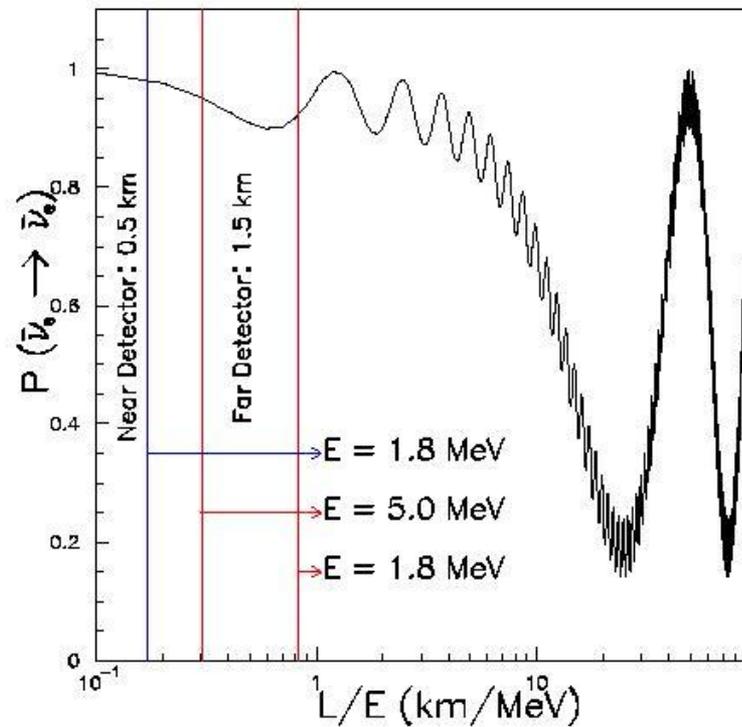
Para o caso de anti-neutrinos de reatores nucleares, a probabilidade de “sobrevivência” do anti-neutrino do elétron é dada por:

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) \approx 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2\left(\frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E}\right) - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2\left(\frac{\Delta m_{12}^2 L}{4E}\right)$$

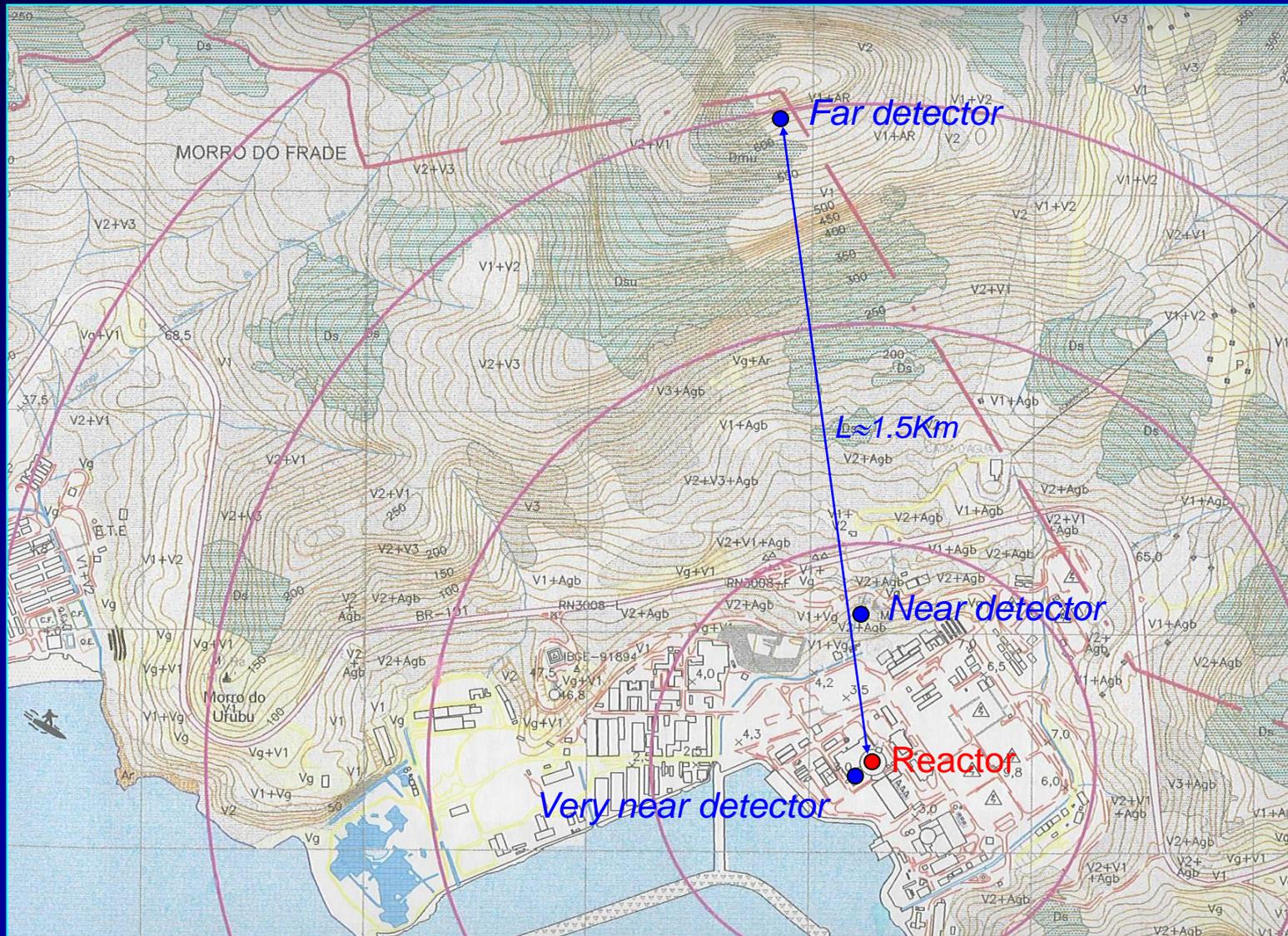
L = distância de propagação

Oscilação de anti-neutrinos no Projeto Angra

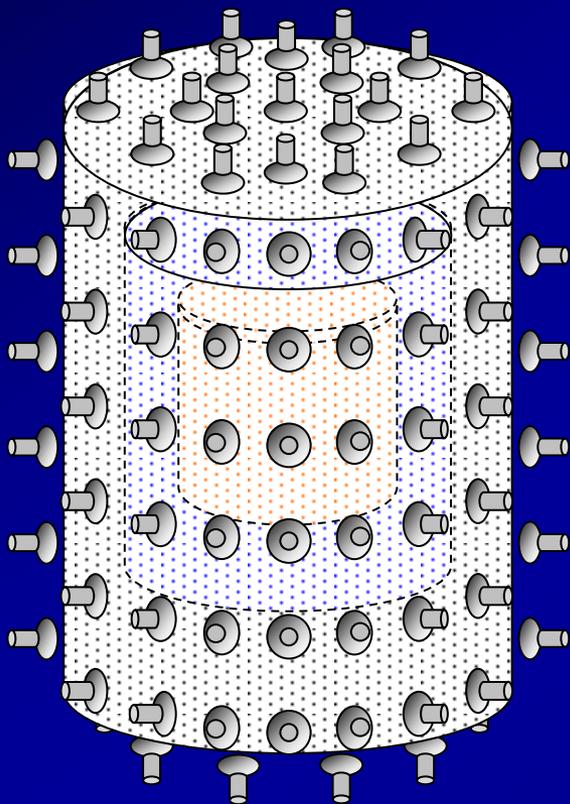
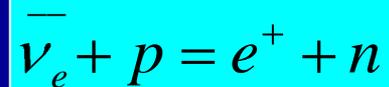
Brazilian Journal of Physics, vol. 36, no. 4A, December, 2006



Proposta original para o Projeto Angra



Desenho tentativo para o *near detector*

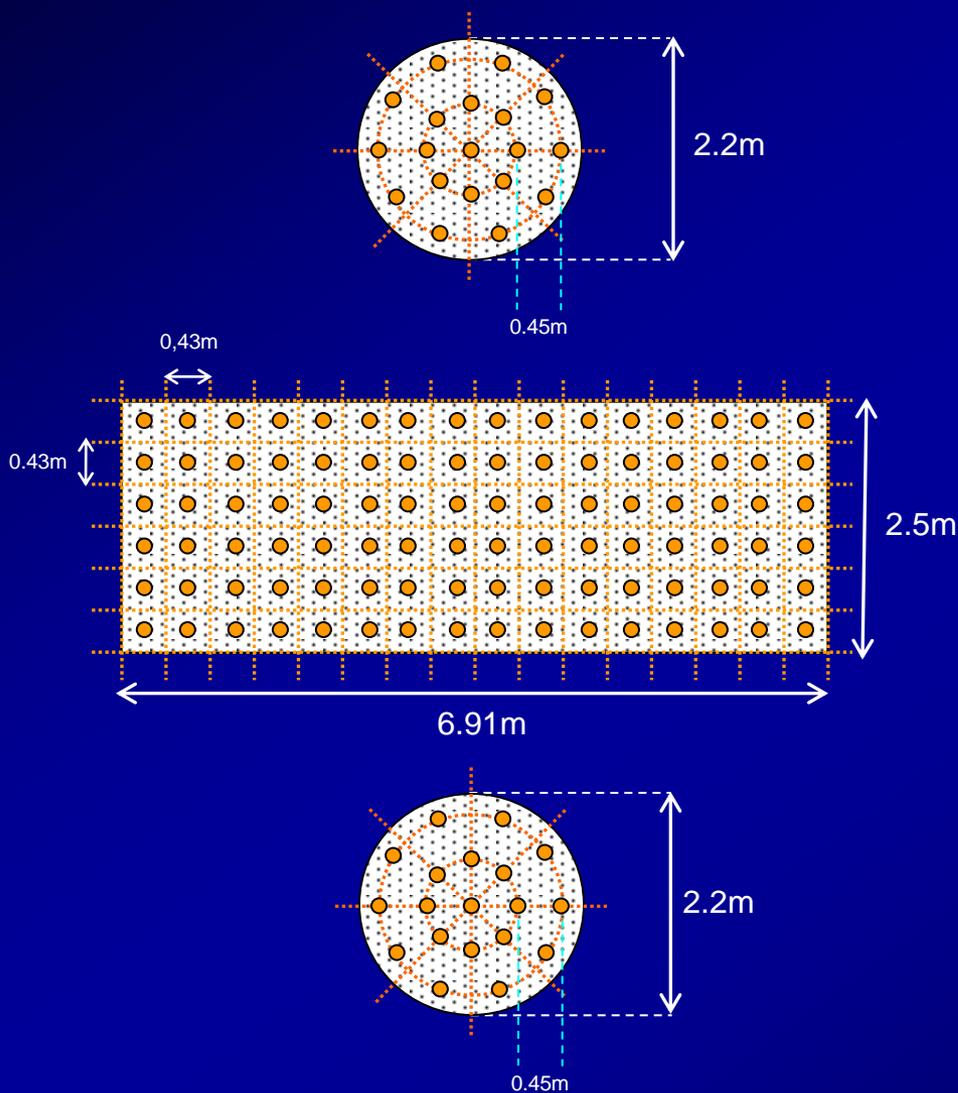


-  Alvo [5 ton.]
(Cintilador líquido + $\approx 0.1\%$ Gadolínio)
-  *Gamma catcher*
(Cintilador líquido)
-  *Buffer*
(Óleo mineral)

(*) O *far detector* deve ser uma reprodução do *near detector* em maior escala

Desenho tentativo para o *very near detector*

Cobertura de PMTs



$$\begin{aligned} \text{Área total} &= S_{\text{side}} + S_{\text{top}} + S_{\text{bottom}} \\ &\approx (17.28 + 3.8 + 3.8) \approx 24.88 \text{m}^2 \end{aligned}$$

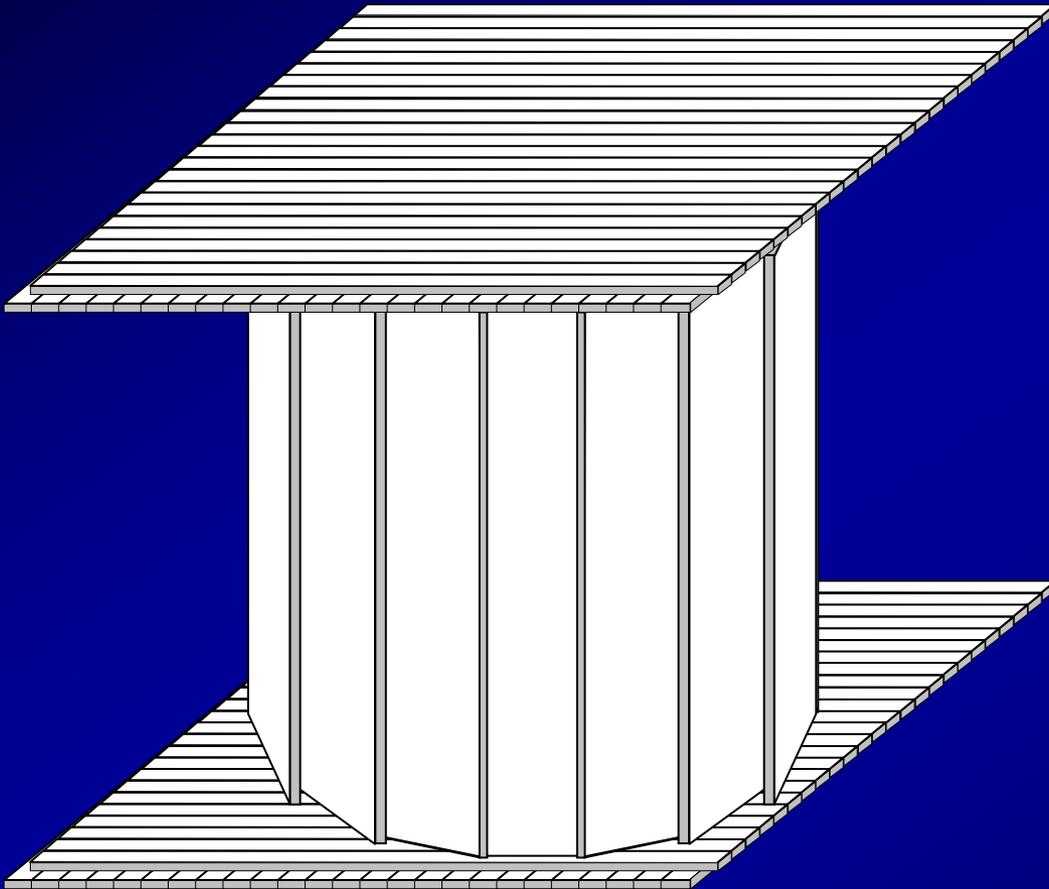
$$20\% \text{ de cobertura} \Rightarrow 4.98 \text{m}^2$$

$$\text{Área do fotocatodo} = 0.038 \text{m}^2$$

$$\# \text{ PMTs} = 4.98 / 0.038 \approx 131$$

128 PMTs implementadas
no desenho ao lado

O sistema de veto



- Fluxo de partículas cósmicas verticais através do detector na superfície ≈ 2000 muons/s;

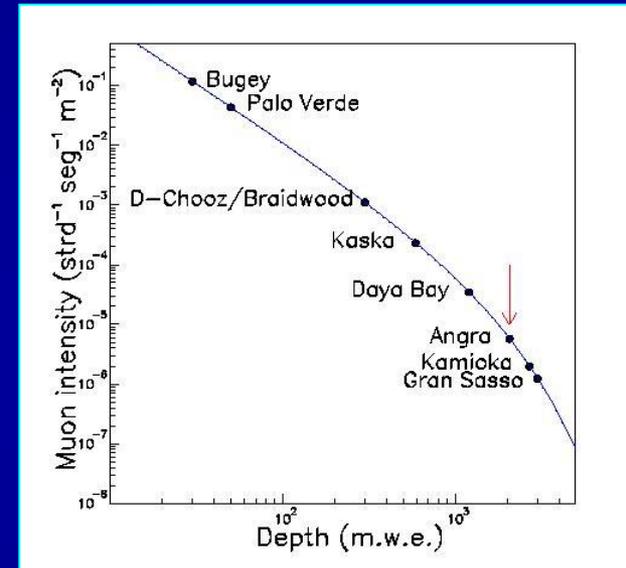
- Numa janela de $150\mu\text{s} \Rightarrow 0.3$ partículas cósmicas detectadas;

- Perda em eficiência $> 30\%$ devido ao veto, para janela de $150\mu\text{s}$ ($\approx 5\sigma$ para emissão de nêutron no decaimento beta-inverso).

\Rightarrow Detector deve ser blindado para melhorar eficiência e relação sinal/ruído

Cintiladores em arranjo x&y previstos para calibração em energia com múons verticais

Proposta original para o Projeto Angra



Espera-se que o Projeto Neutrinos-Angra forneça uma medida do ângulo de mistura θ_{13} com sensibilidade aproximadamente uma ordem de grandeza superior à dos experimentos atuais

Para isto é necessário, além do fluxo de recursos materiais e humanos:

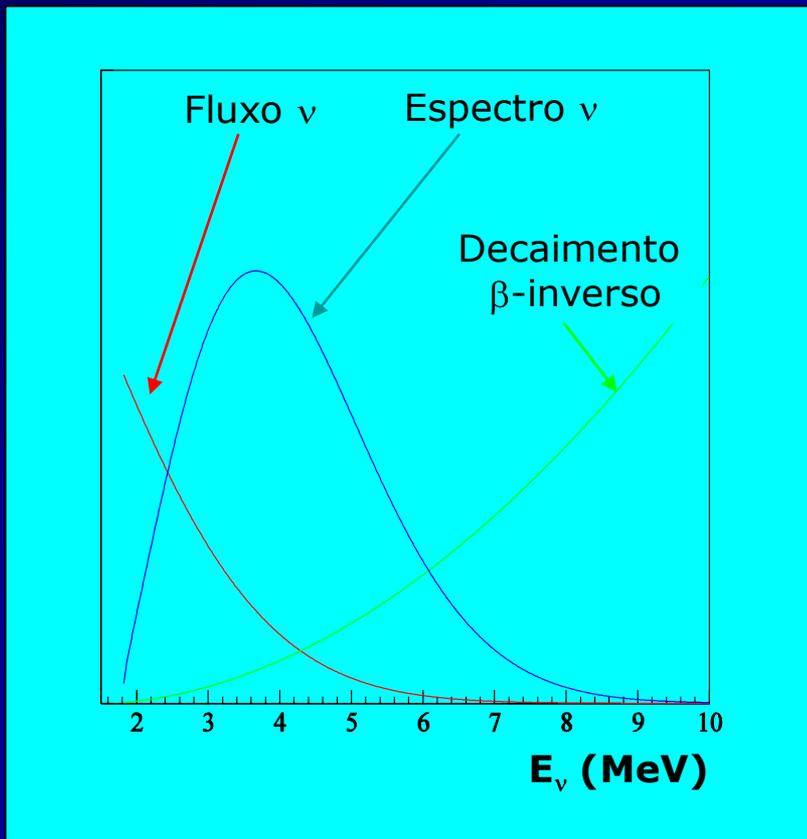
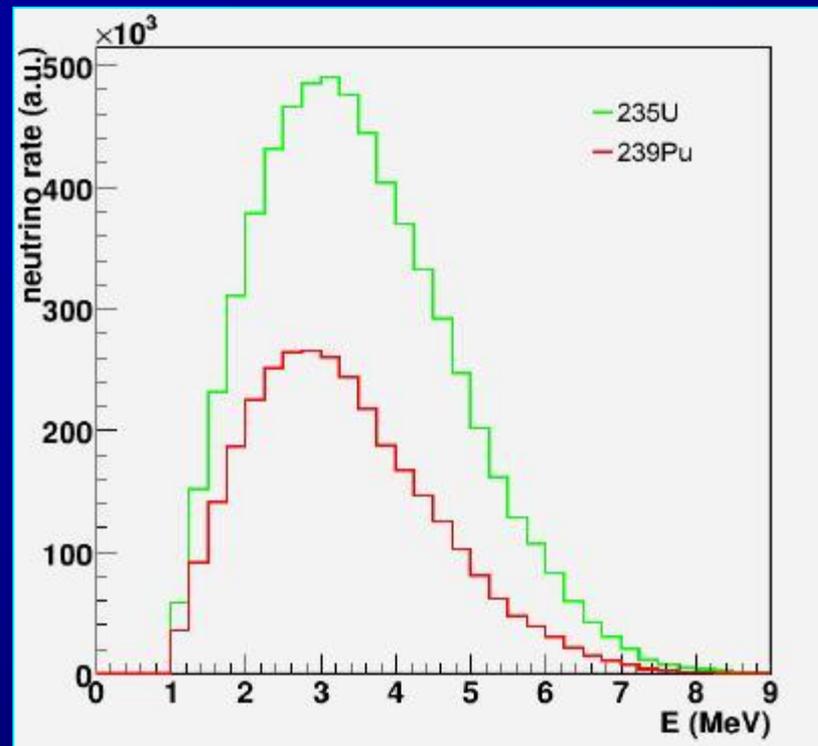
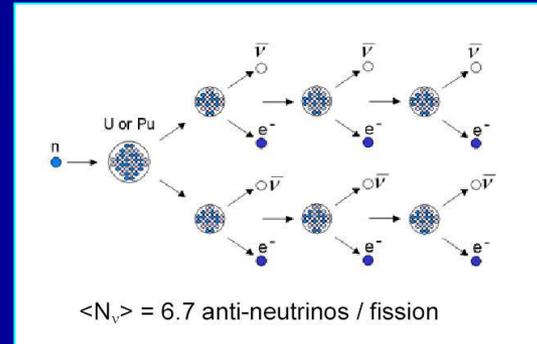
- Absorver a *expertise* de experimentos anteriores e atuais;
- Manter boas relações com a Eletronuclear.

Interação com a Eletronuclear

- Convênio formal (CBPF-Unicamp-Eletronuclear) já elaborado e tramitado pelas assessorias jurídicas dos partícipes. Deve ser assinado no futuro próximo;
 - Pessoal da Eletronuclear tem-nos apoiado no estudo de viabilidade de construção civil nas imediações da usina;
- Boa convivência e atitude colaborativa por parte dos administradores de Angra II, onde estamos instalando o *very near detector*.



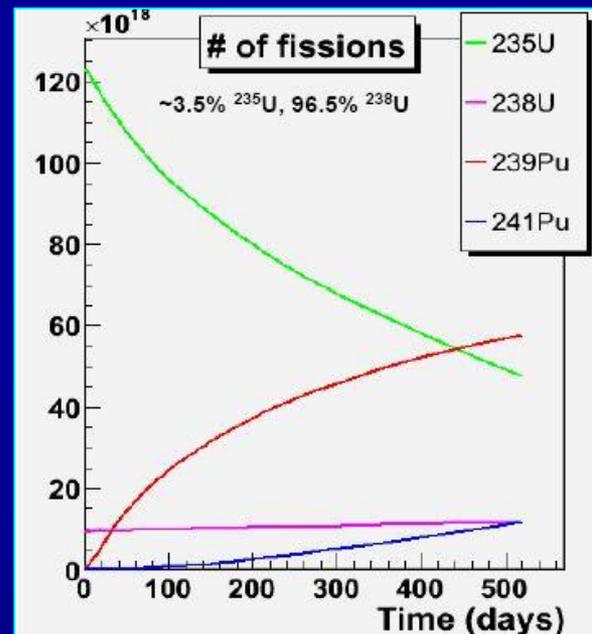
Espectro em energia para anti-neutrinos de reatores nucleares



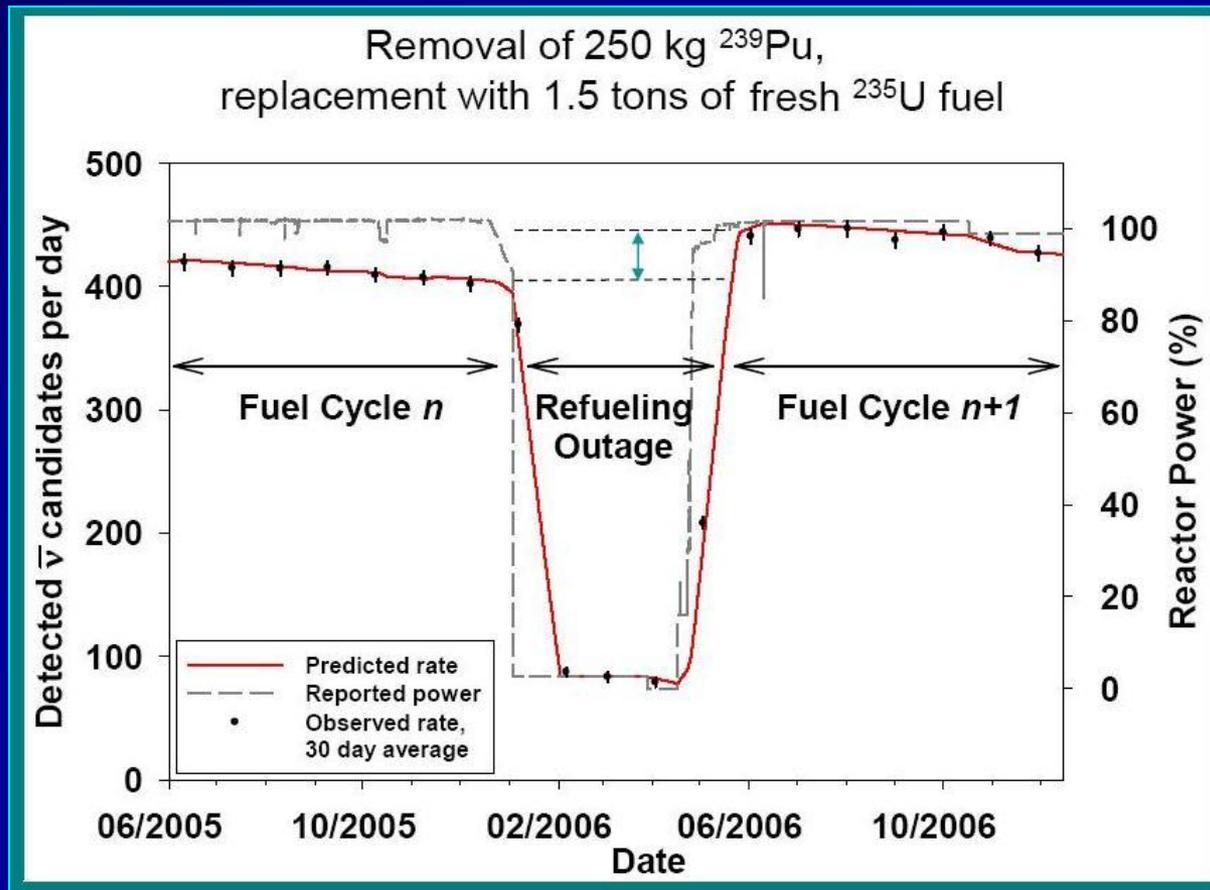
O fluxo de anti-neutrinos é proporcional à potência térmica do reator
(em Angra II, fluxo total $> 10^{20}\text{s}^{-1}$)

$$N_{\bar{\nu}} = \gamma [1 + k(t)] P_{th}$$

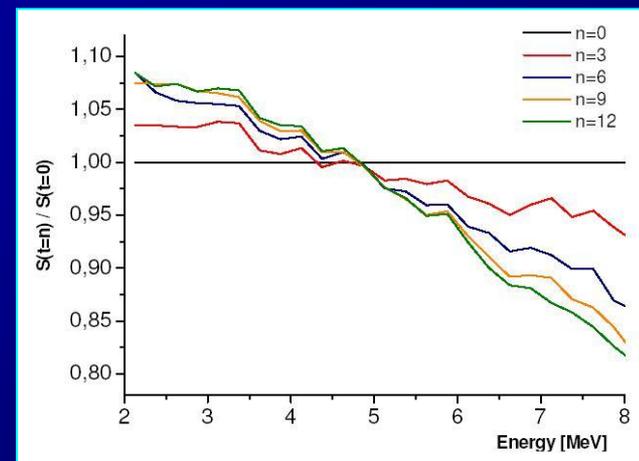
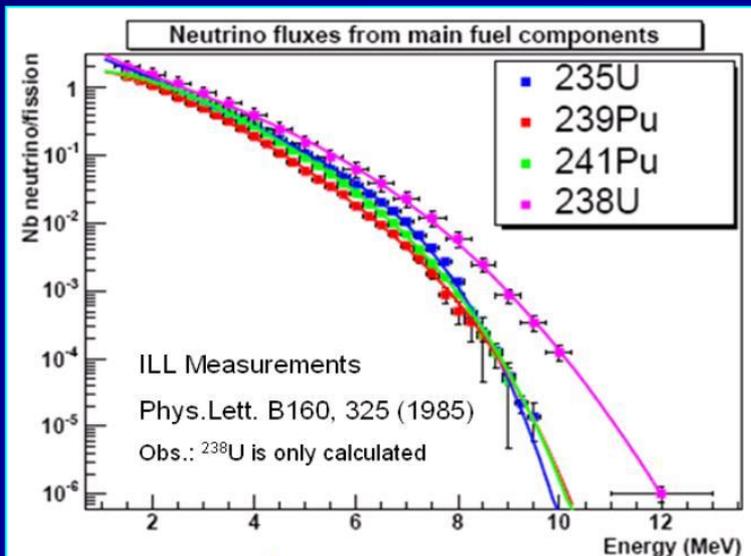
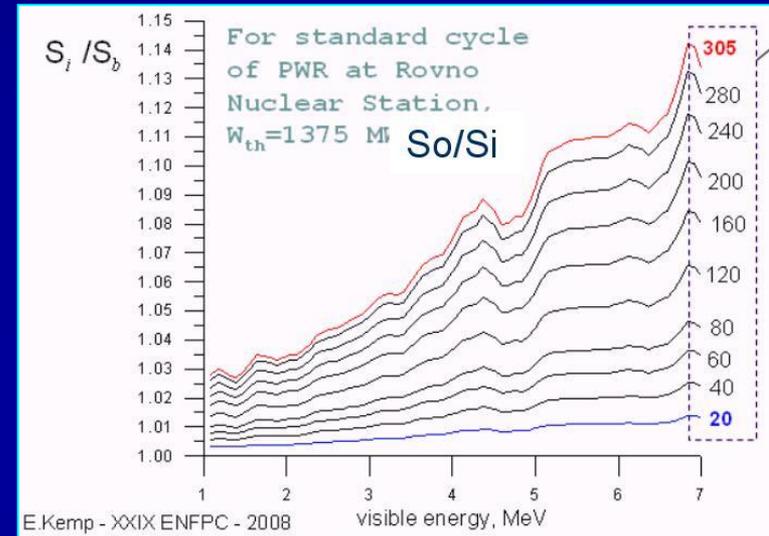
O fluxo depende também da composição do combustível, que se altera durante o processo de *burn-up* [$k(t)$]

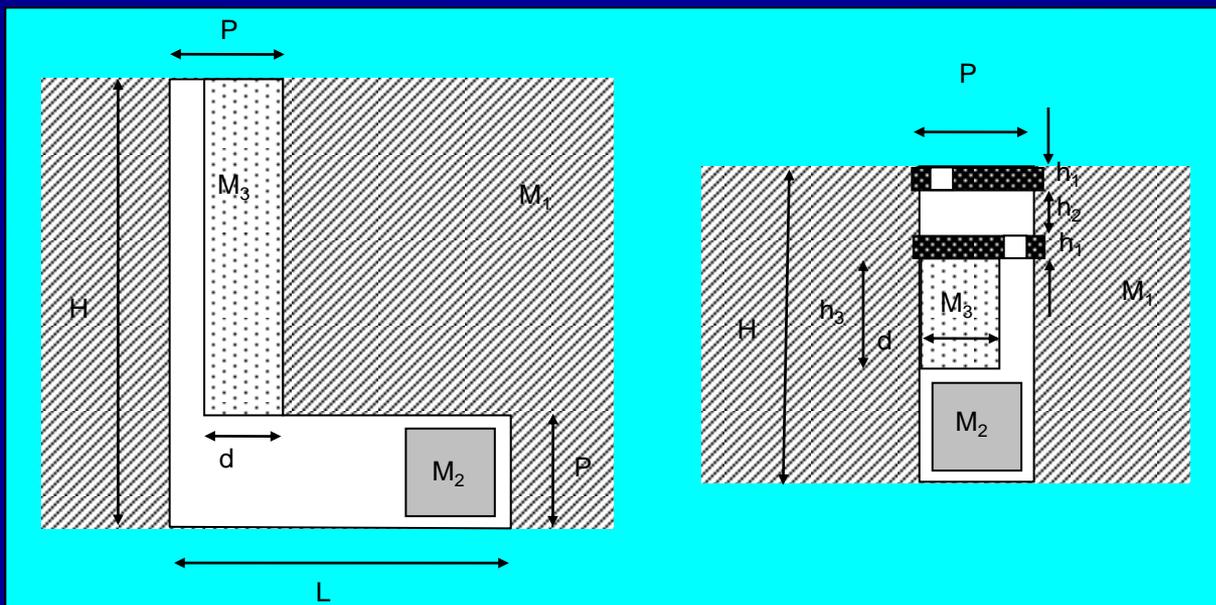
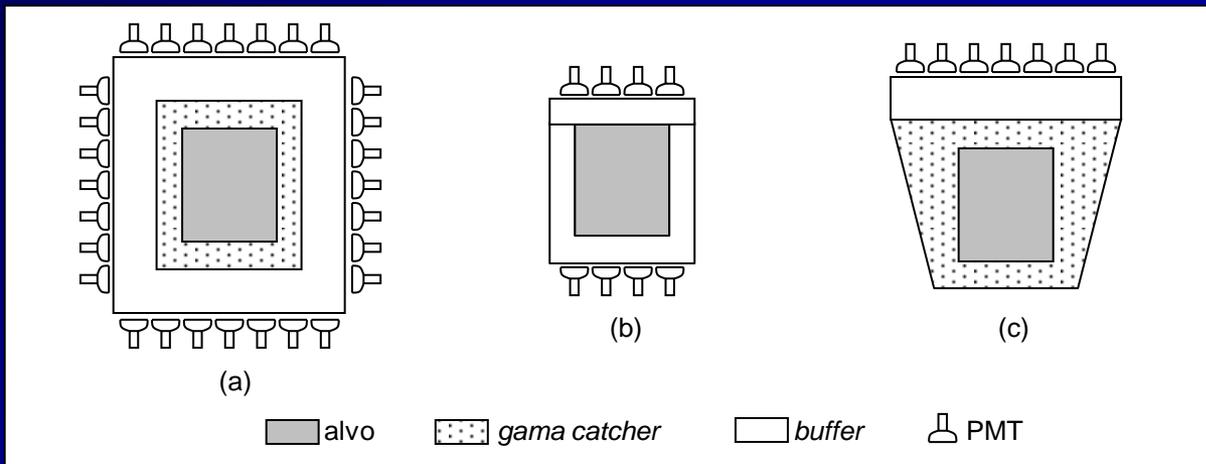


Resultado recente (2008) de San Onofre (SANDS)



- Cada componente do combustível emite um fluxo particular de anti-neutrinos;
 - A fração dos componentes se altera durante a queima do combustível;
- ⇒ O espectro em energia evolui com o tempo, indicando a composição.





Estudo de viabilidade solicitado à Eletronuclear

- M_1 : solo ao redor da usina;
- M_2 : volume ocupado pelo detector + sistema de veto;
- M_3 : volume preenchido com material retirado na escavação do poço.
- H : profundidade do poço;
- P : diâmetro do poço;
- d : diâmetro do volume de preenchimento;
- L : largura de túnel;
- h_1 : espessura da lâmina de material absorvedor;
- h_2 : altura da cavidade entre os dois absorvedores;
- h_3 : altura do volume de preenchimento.

	Arquitetura (a)		Arquitetura (b)		comentário
	Configuração I	Configuração II	Configuração I	Configuração II	
H	20m	12.5m	20m	12.5m	Supondo densidade 2 para o solo 0.5m livre em torno do detector
P	5.5m	5.5m	3.5m	3.5m	
d	4m	4m	2m	2m	
L	12m	-	10m	-	
h_1	-	1m	-	1m	densidade do material ≈ 7
h_2	-	2m	-	2m	
h_3	15m	7.5m	15m	7.5m	

Instalação de laboratório (*container*) em Angra



Em Novembro/2008 foi instalado um tanque detector de raios cósmicos por emissão de radiação Cerenkov



OBJETIVOS PRINCIPAIS

- monitorar radiação ambiente
- testar módulos de processamento de sinal
- testar software de aquisição de dados
- implementar comunicação remota

Instalação de laboratório (*container*) em Angra

Instrumentação atualmente instalada no *container*

- Tanque com aproximadamente 800Kg de água desmineralizada de excelente qualidade, produzida pela própria Eletronuclear;
 - Eletrônica de *front-end* para amplificação e configuração de sinal gerado por partículas ionizantes e captados por um tubo fotomultiplicador;
 - Circuito medidor de taxa de contagem (*ratemeter*);
 - Circuito medidor de temperatura ambiente;
 - Módulo de Processamento de Dados via porta USB (4 canais para conversão analógico-digital)
 - *Software* para aquisição de dados desenvolvido em Root

Instalação de laboratório (*container*) em Angra

Capturas da tela de apresentação do software

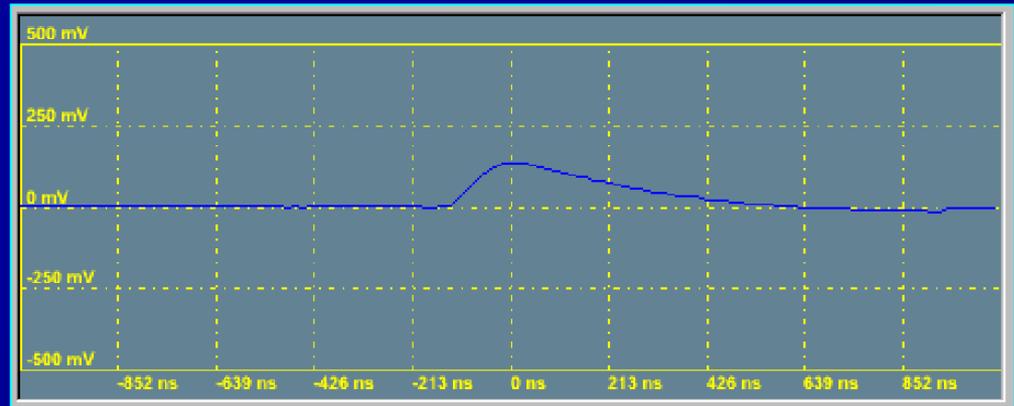
DAQ Status

Toggle waveform view

Event (#)	Charge (pC)
25	442.257263
Time (s)	Count Rate (1/s)
18	-30.125000
Baseline (mV)	Temperature (C)
-4.921260	4.179905
Amplitude (mV)	Preset Counts
67.913383	10000

Pause Run

Quit

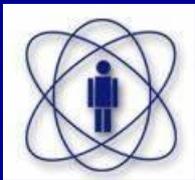


Observações Finais

- **O Projeto Neutrinos-Angra tem uma proposta avançada para realização de pesquisa de fronteira em Física no Brasil;**
- **A implementação da proposta original exige um empreendimento por parte da comunidade científica nacional e também colaboração internacional;**
- **A fase atual do projeto aponta para a construção de um detector de anti-neutrinos de grande interesse científico e tecnológico, com aplicação direta no controle da não-proliferação de armas nucleares;**
- **A boa receptividade da Eletronuclear tem sido e é fundamental para a condução do projeto.**

Observações Finais

- **02 workshops internacionais já foram realizados (2005, 2007);**
 - **04 Encontros Nacionais (03 no Rio, 01 na Unicamp);**
- **> 20 participantes, entre pesquisadores, tecnologistas, post-docs, mestrandos, estudantes de graduação;**
- **Grupos atuando em diversos temas (eletrônica de *front-end*, integração, cintilador, sistema de veto, aquisição de dados, simulação, análise, divulgação, instalação etc.);**
- **Vários projetos aprovados (04 Universais, post-doc CNPq, FAPERJ, FINEP)**



CBPF



Unicamp



PUC-RJ



UFABC



USP



UEFS



UFBA



