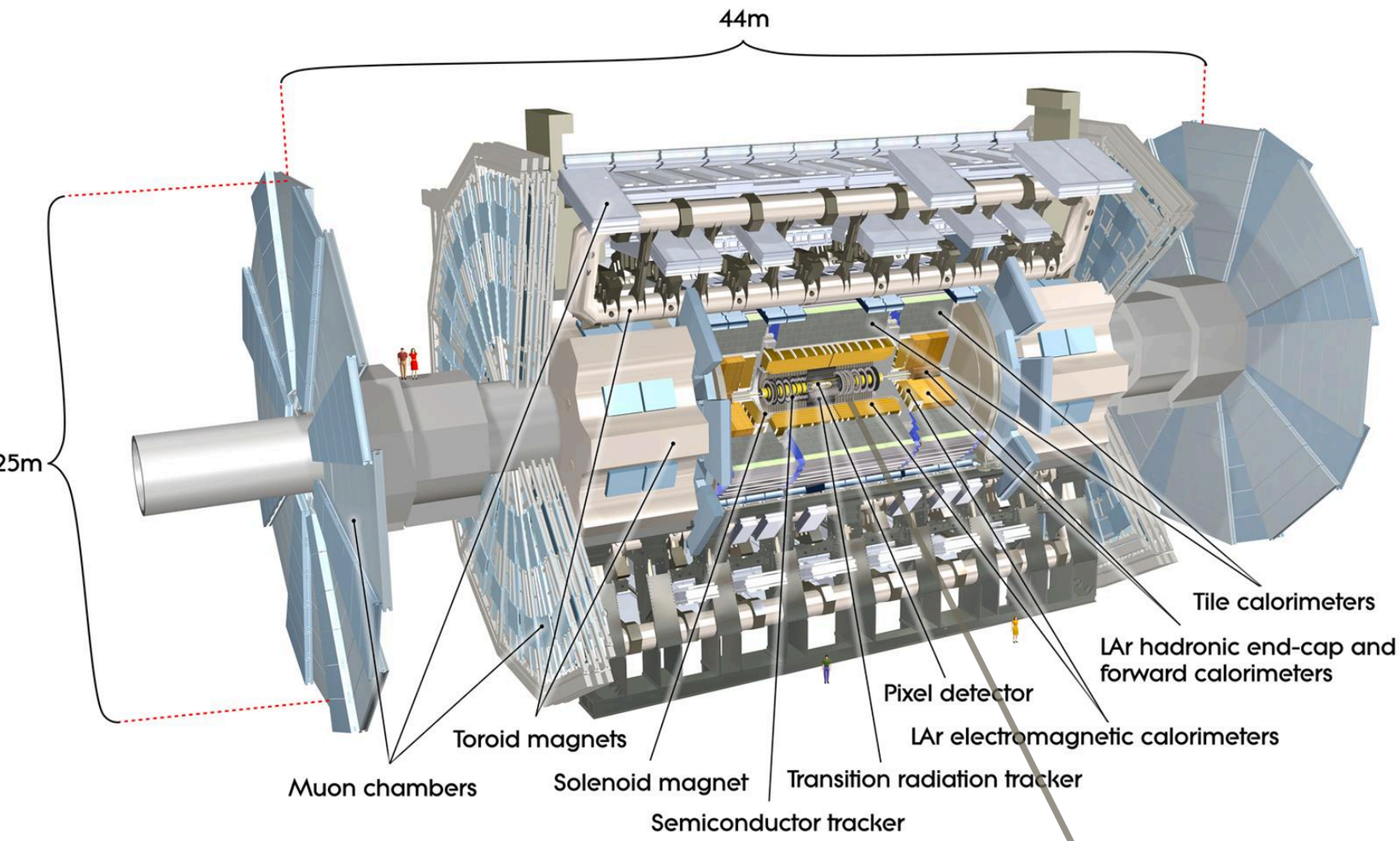
O SISTEMA DE TRIGGER DE PRIMEIRO NÍVEL DO CALORÍMETRO ELETROMAGNÉTICO DE ARGÔNIO LÍQUIDO DO ATLAS PARA A FASE-I DO PROGRAMA DE ATUALIZAÇÃO DO LHC

Workshop em Instrumentação de Física de Altas Energias no Brasil

RENAFAE/CBPF
11 Agosto de 2017
Rio de Janeiro

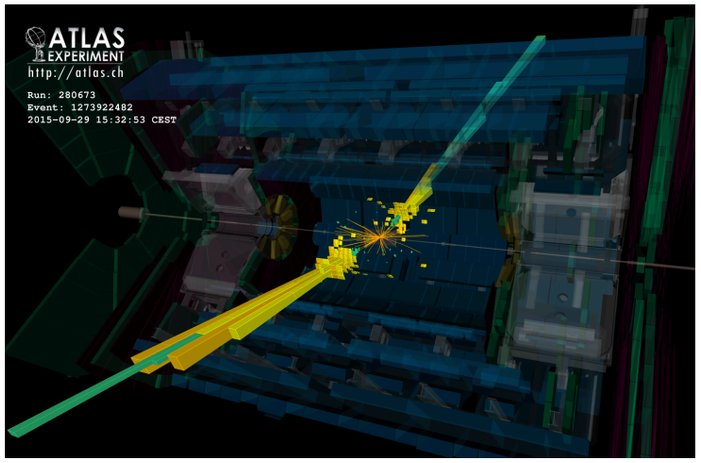
Marco Leite
Universidade de São Paulo

O EXPERIMENTO ATLAS



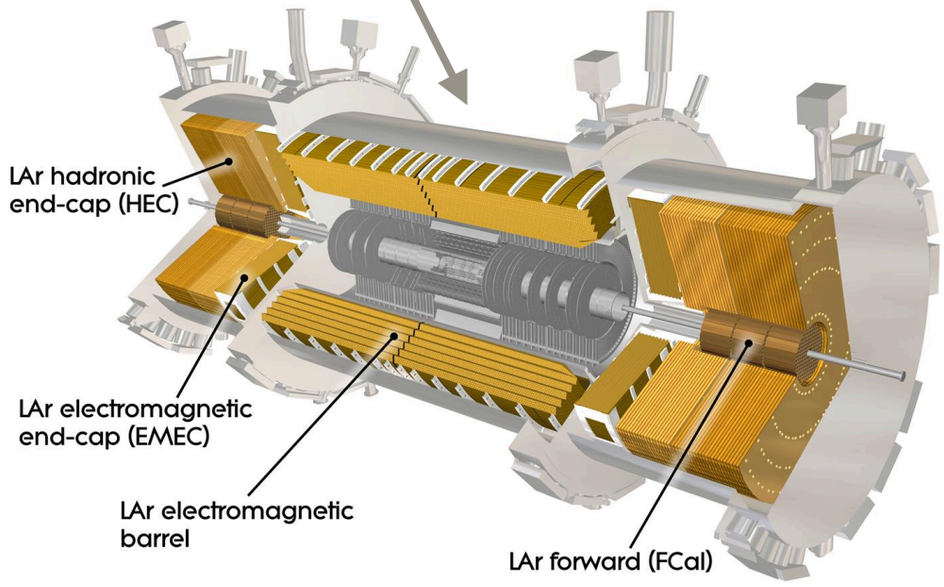
ATLAS

- Um dos 4 grandes experimentos do LHC
- Colaboração internacional
- Sistema de detectores e instrumentação associada de alta precisão, com cobertura azimutal completa e hermético
- Amplo programa de medidas em
  - Medidas de precisão no Modelo Padrão
  - Busca por nova Física além do modelo padrão
  - Física de íons pesados



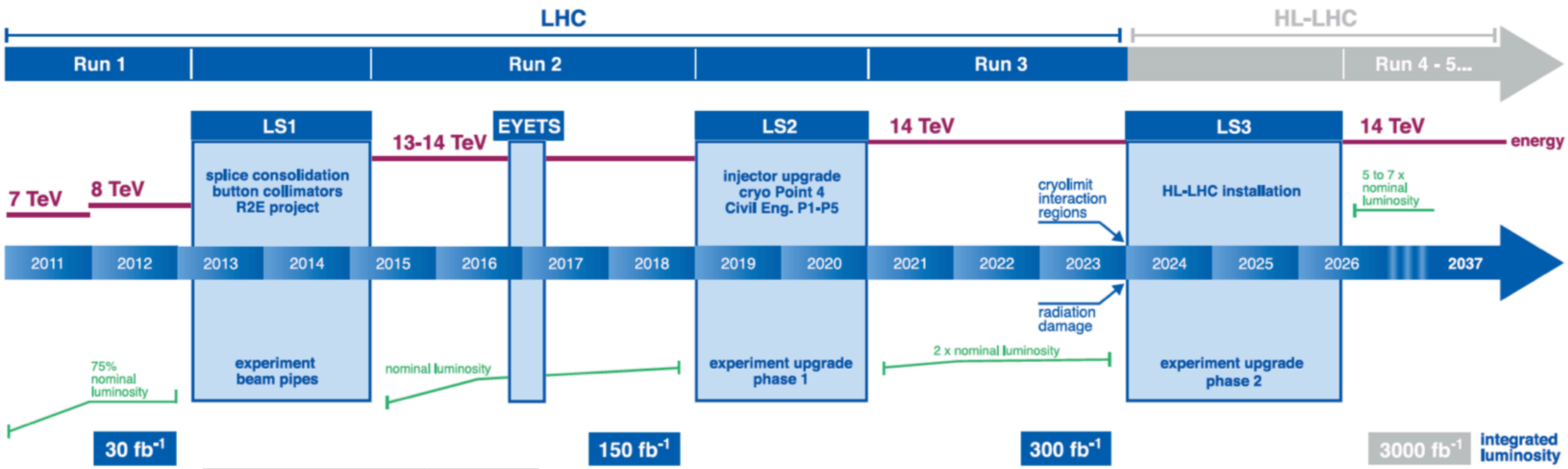
Calorímetro de Argônio Líquido

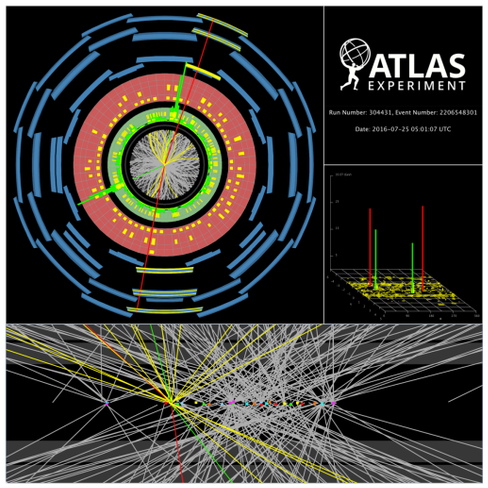
- Sistema de detectores de alta precisão para medida de energia, tempo e posição
- Importante parte do sistema de seleção de eventos
- Fundamental em praticamente todas as medidas do ATLAS

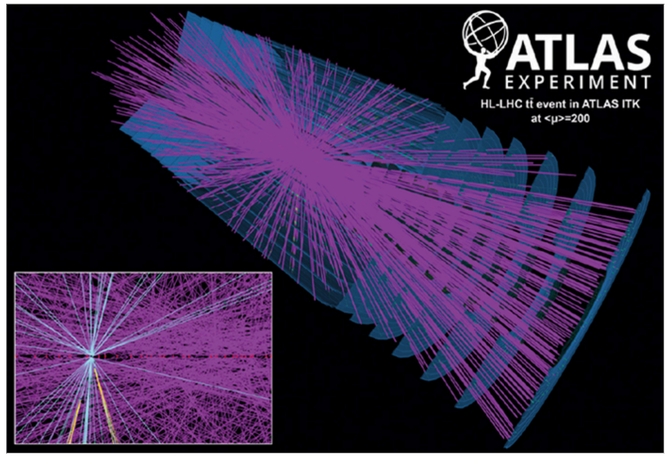


MOTIVAÇÃO

- Os resultados e descobertas feitas desde 2011 têm um papel importante na compreensão das interações fundamentais
- Um extenso programa de Física está em pleno desenvolvimento
- Estudos de precisão e processos raros exigem luminosidades cada vez maiores
- O ATLAS possui um plano de atualização envolvendo 3 etapas (LS1 - LS3) para lidar com a alta luminosidade
- Hoje, exploramos pouco mais 1% (~ 44 1/fb) da luminosidade integrada total projetada até o fim do experimento
- Com o aumento da luminosidade, o número de colisões simultâneas aumenta substancialmente, devendo chegar a mais de 200 colisões por cruzamento de feixe no HL-LHC



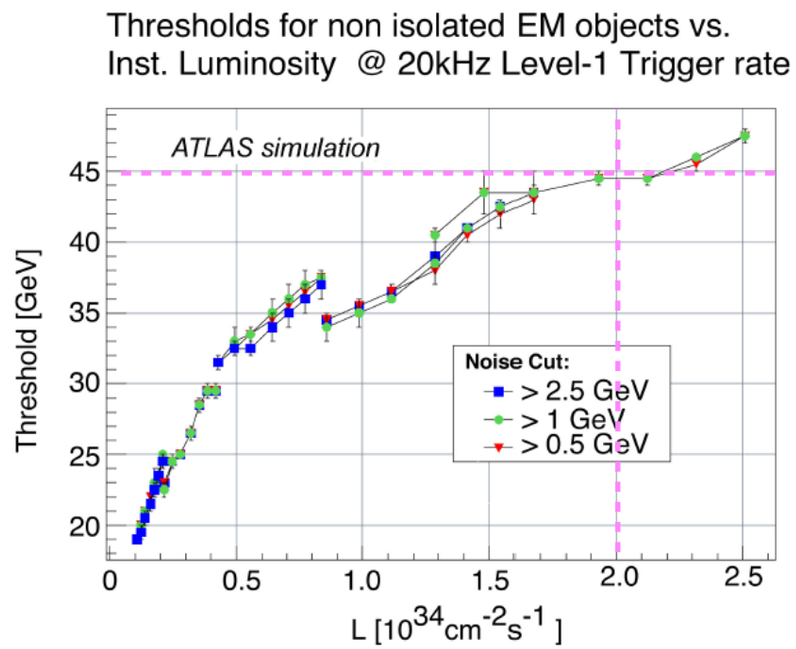


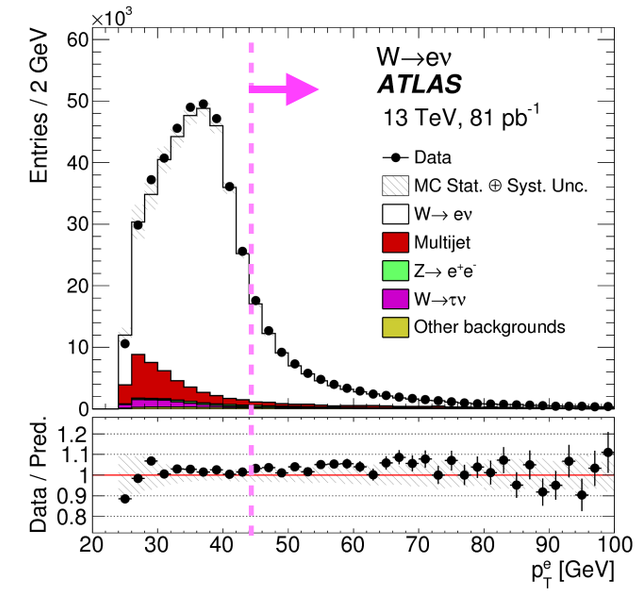


TRIGGER ELETROMAGNÉTICO EM ALTA LUMINOSIDADE

Problema

- Como manter o desempenho e taxa controlada do trigger EM durante a Fase-I,II ?
- Luminosidade 2~3 10^{34} cm^{-2} s^{-1} , μ=80~200
- Fundo principal : jatos de baixo pT
- Seleção de objetos depende da preservação do limiar baixo em pT
- Taxa do trigger EM deve ser < 20 kHz

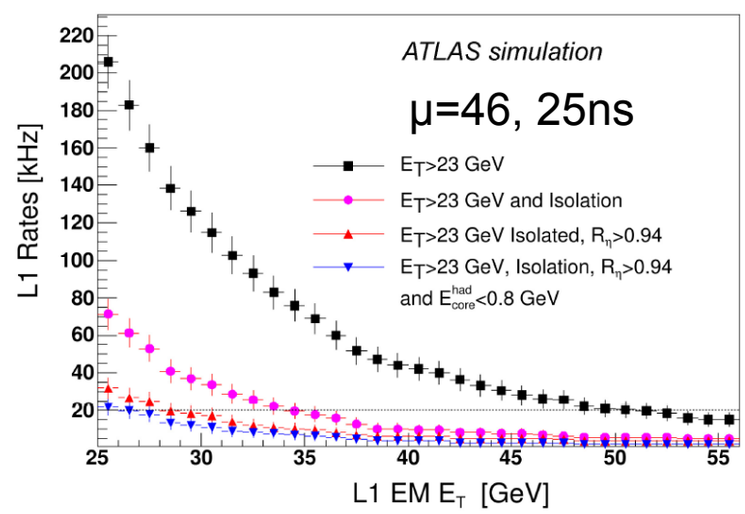


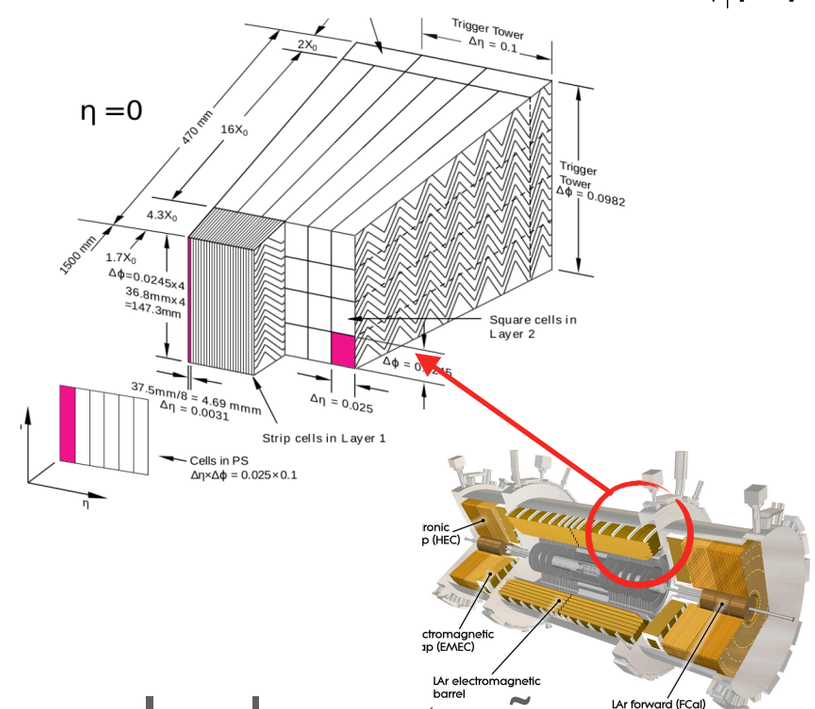


Solução

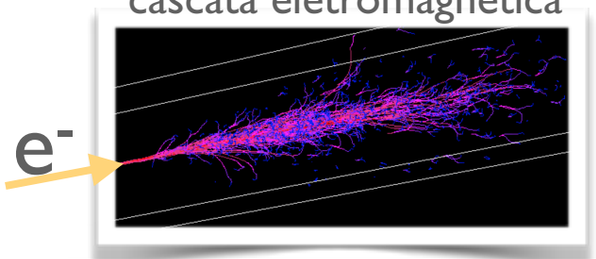
- Empregar os discriminantes baseados na forma da cascata eletromagnética
- utilizados nos níveis mais altos de trigger /offline (Rη por exemplo)

$$R_\eta = E_{3\times2}/E_{7\times2}$$





cascata eletromagnética



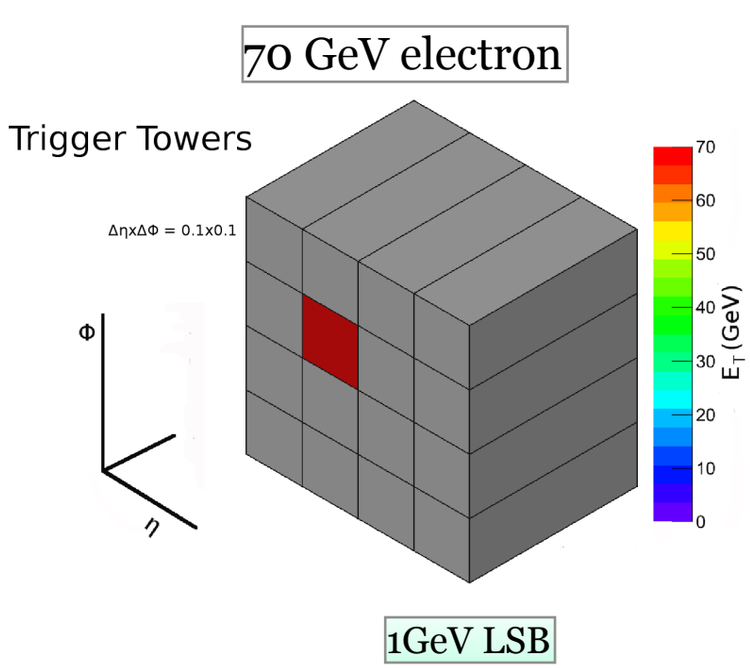
Requerimentos

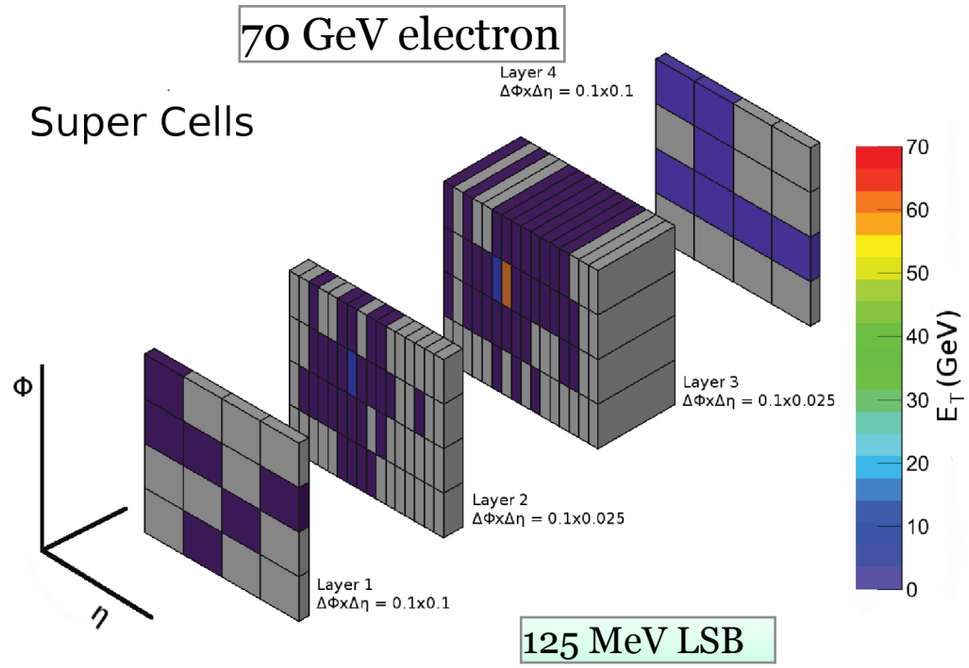
- Informação da energia por camada do calorímetro
- maior segmentação transversal

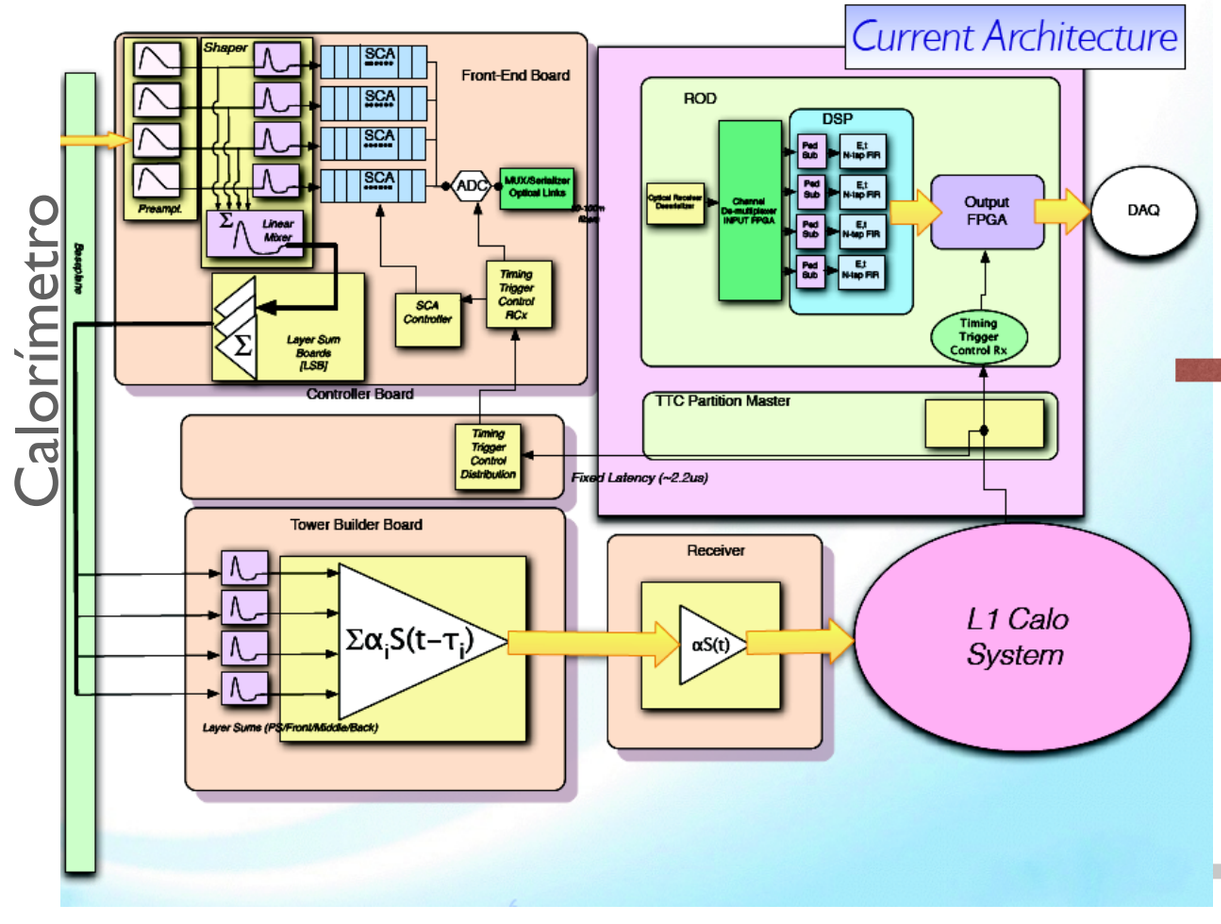
Implementação

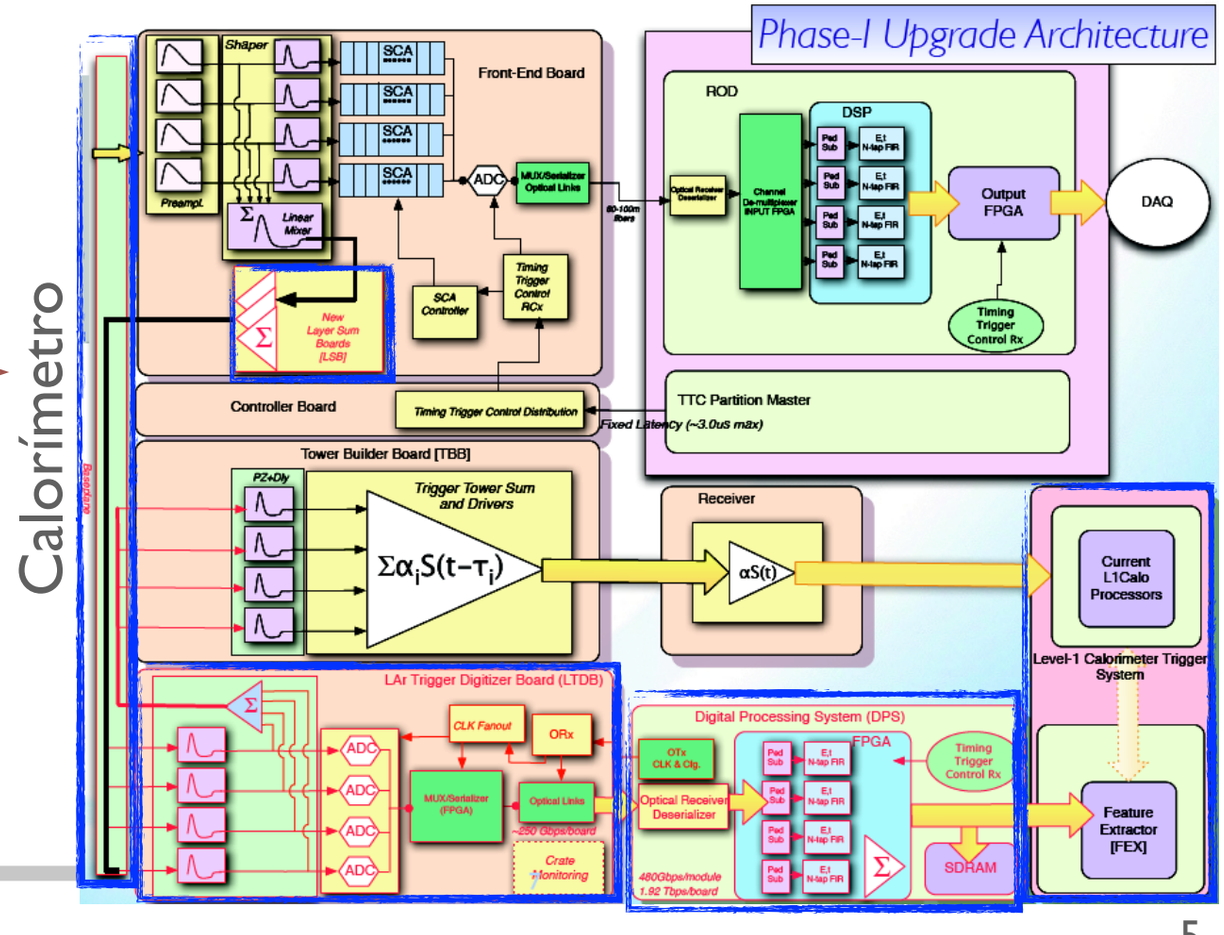
- Aumentar a segmentação das torres de trigger do nível 1, formando uma "super-célula"
- Enviar essa informação já digitalizada para o processamento

TRIGGER DIGITAL ALTAMENTE SEGMENTADO





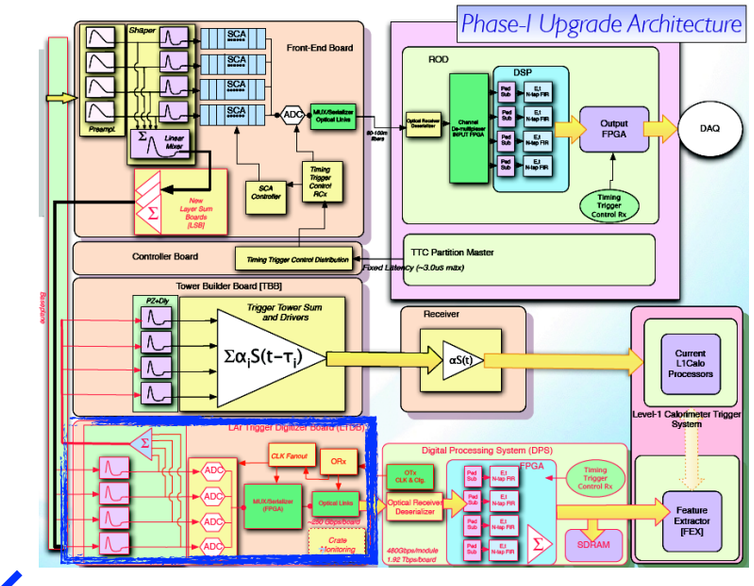


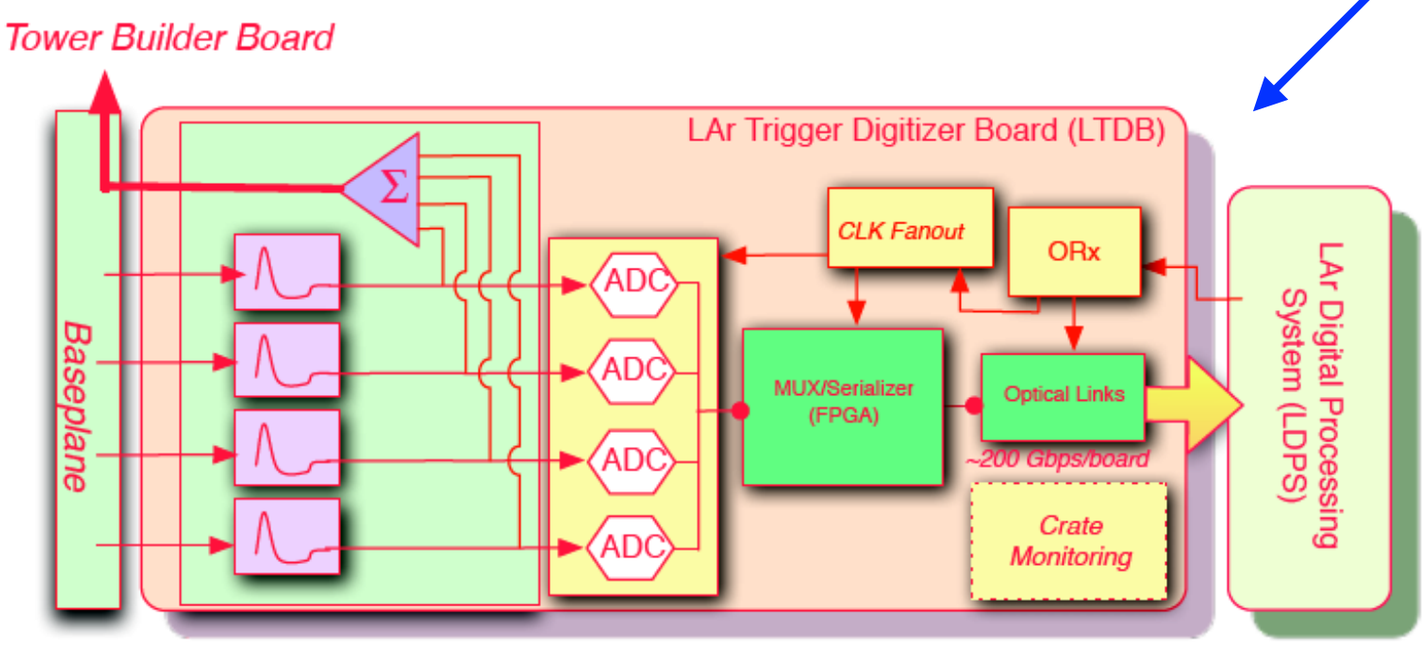


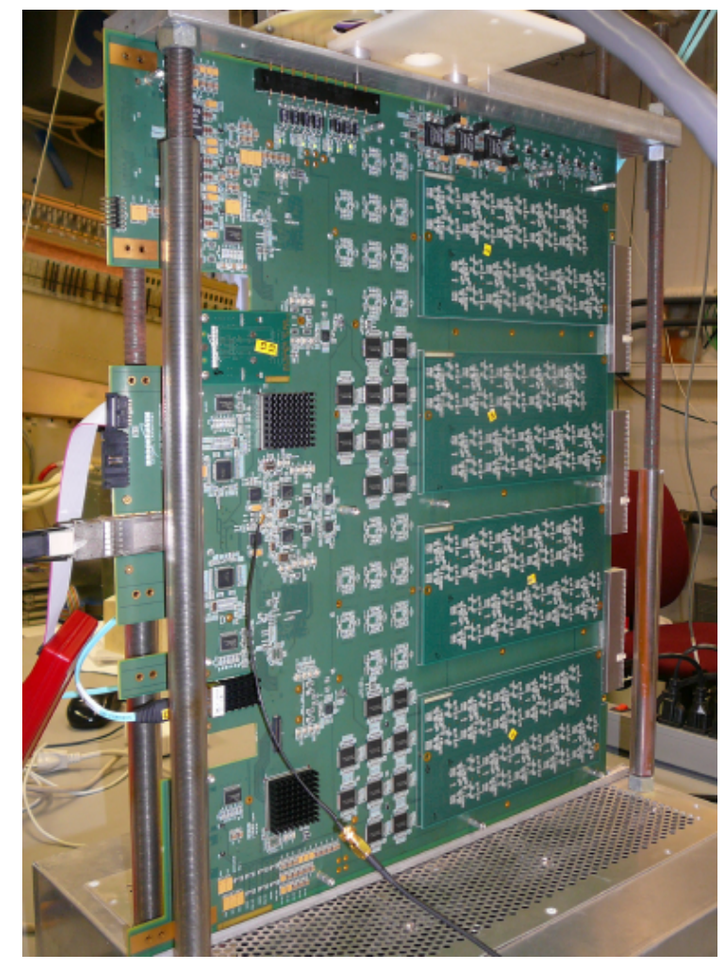
LIQUID ARGON DIGITIZER TRIGGER BOARD (LTDB)

LTDB

- Implementa a nova segmentação para o trigger
- Digitalização do sinal de nível 1 do trigger agora ocorre na eletrônica de FE
- **Digitalização é um aspecto chave do sistema**
- Continua a enviar as somas analógicas das células para o sistema atual de trigger
- 320 canais (super-células) por placa
- Timing, Clock
- Controle e monitoramento
- 40 links ópticos de 12Gb/s cada por placa
- Total de 124 placas para todo o calorímetro







ESTUDOS DA INTEGRIDADE DO SISTEMA ATUAL

Requerimentos (I)

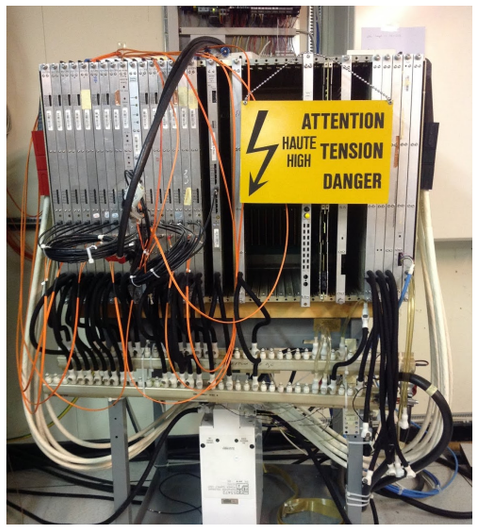
- O LTDB não deve interferir na integridade do sistema de processamento de sinais/ digitalização das células individuais do calorímetro
- Deve preservar as características do trigger de nível 1 atual (linearidade, isolamento)
  - O sistema convencional de trigger continua operando normalmente até o fim da Fase-I

Figuras de mérito

- Ruído total por célula do calorímetro
- Ruído coerente
- Cross-talk

Arranjo

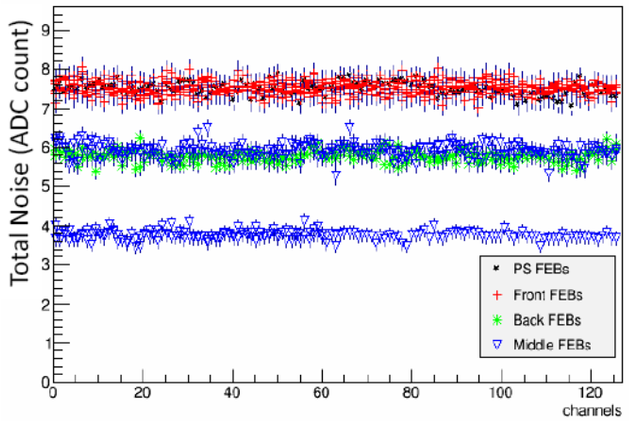
- Medidas em condições controladas no CERN
- Equivalente a região $\Delta\eta \times \Delta\phi = 1.52 \times 0.1$

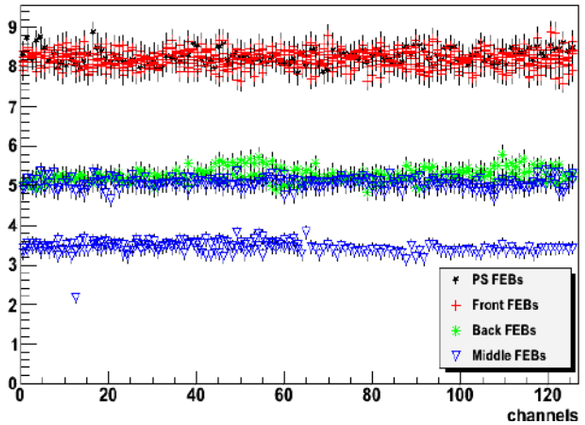


Configuração original

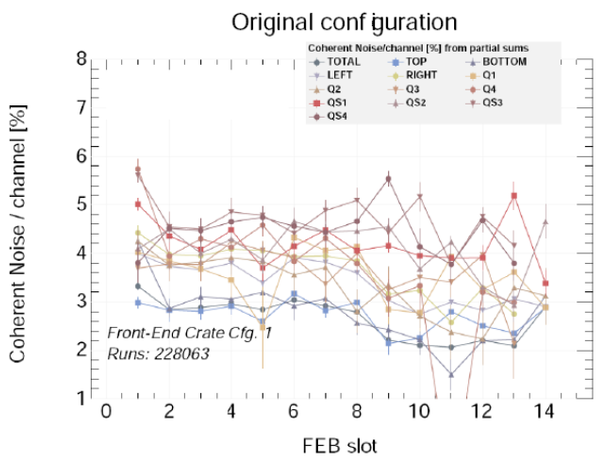
Configuração LTDB

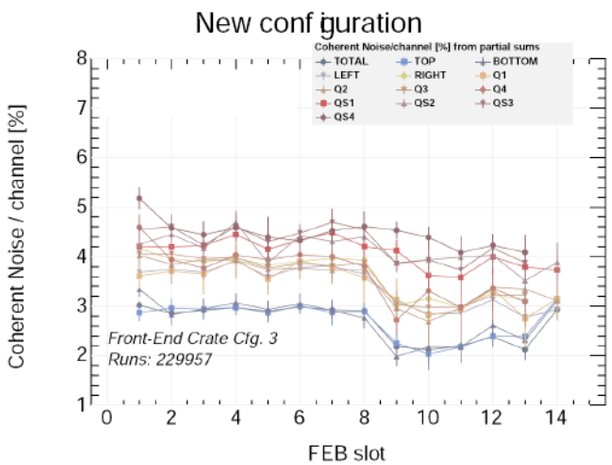
Ruído total



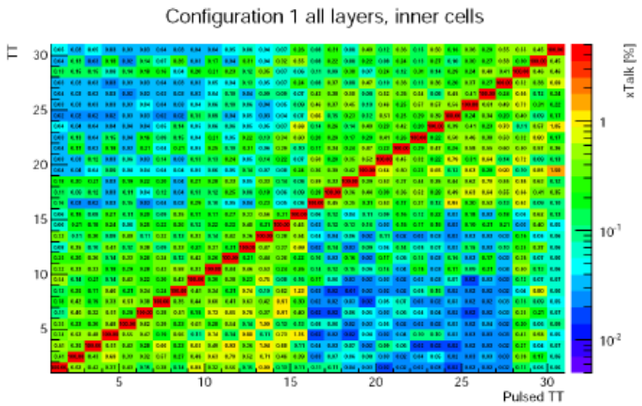


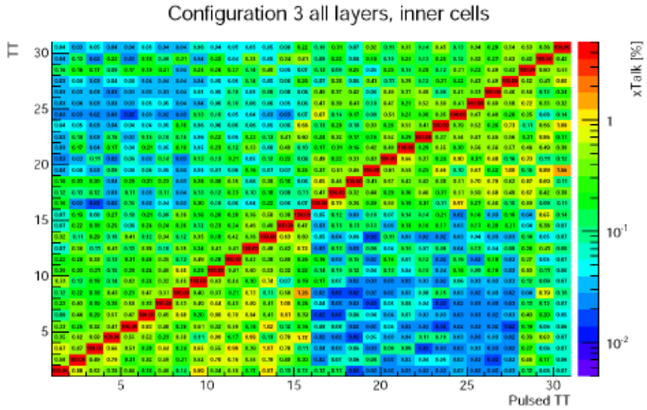
Ruído coerente





Cross-talk

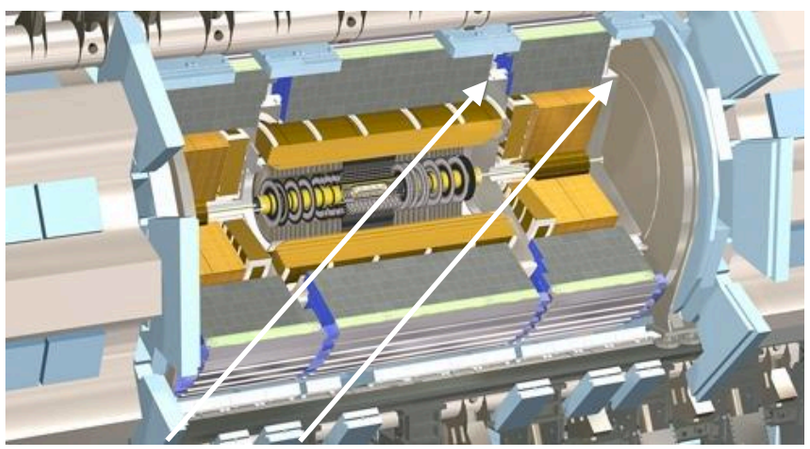


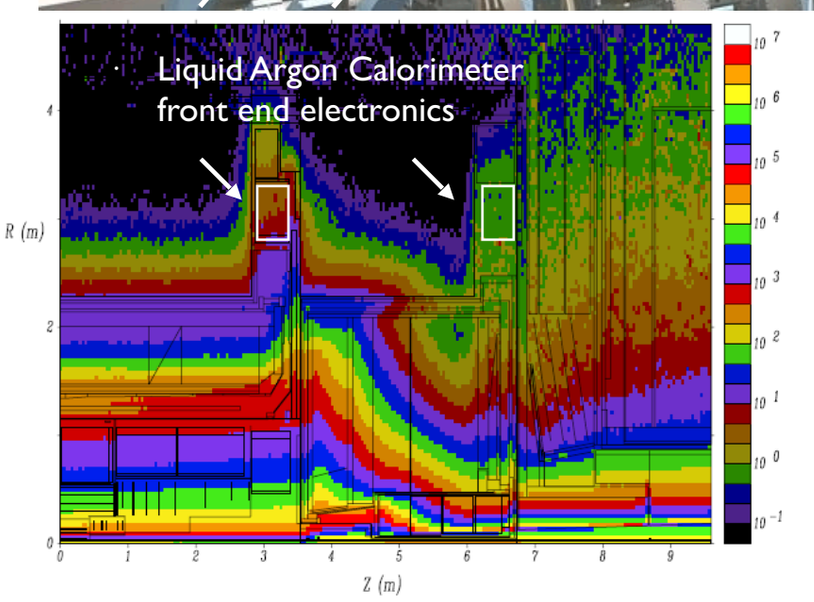


O EFEITO DA RADIAÇÃO NA ELETRÔNICA

Requerimentos (I)

- A eletrônica instalada durante a Fase-I deve sobreviver até 2037
- Efeito da radiação na eletrônica deve ser avaliado/compreendido
- Todos os dispositivos devem passar por um processo de validação quanto:
  - efeitos da dose total de ionização absorvida (TID)
  - efeitos de partículas carregadas/nêutrons
    - Single Event Effect
    - Single Event Upset

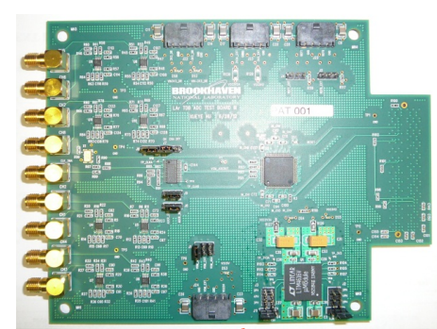


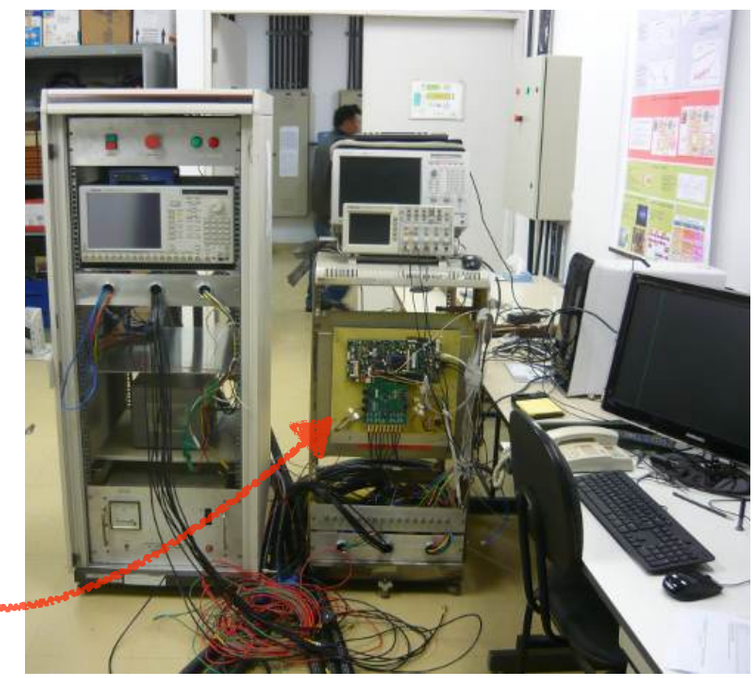


- Total Ionization Dose (TiD) in 1 year, in Gy/year, for nominal luminosity ($L = 10^{34}\ cm^{-2}\ s^{-1}$)

Efeito da radiação nos digitalizadores

- Digitalizadores (ADC) são uma parte crítica
- Uma placa de teste foi desenvolvida para irradiação do ADC (12 bits/ 40 Ms/s, 8 canais)
- Sistema de aquisição e controle para a caracterização desenvolvido e instalado na USP
- Monitoramento das tensões e correntes de alimentação, referências de tensão e integridade do sinal digitalizado

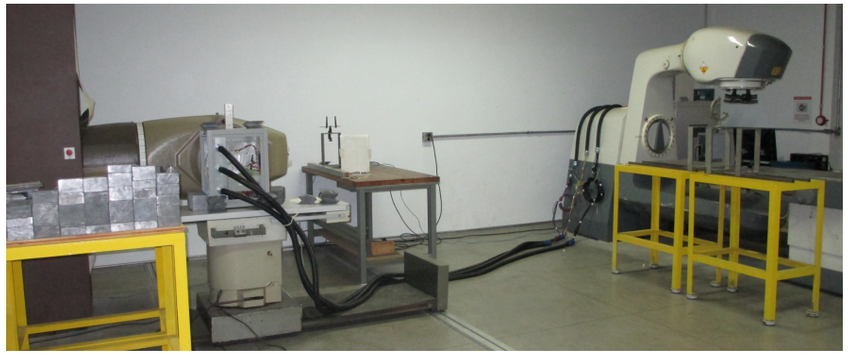


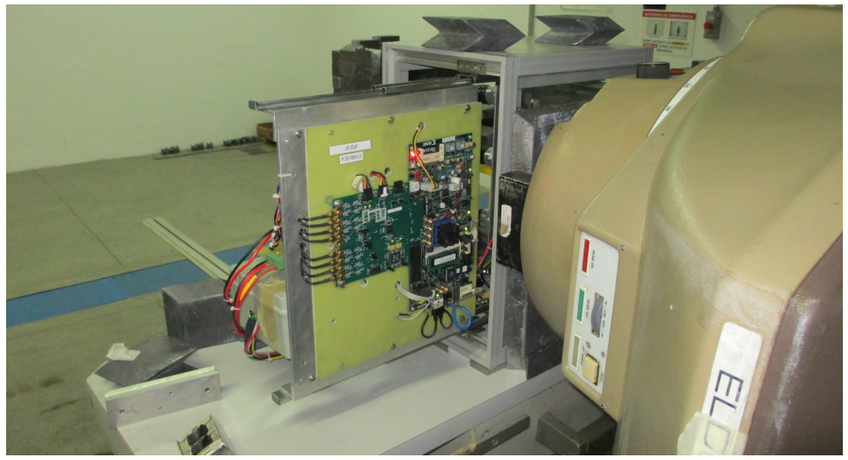


O EFEITO DA RADIAÇÃO NA ELETRÔNICA

Irradiação com gamas

- Sistema foi transportado para o irradiador gama (^{60}Co, 12.6 Gy/h) do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) em São José dos Campos
- Dois períodos de irradiação com diferentes taxas de dose, num total de aproximadamente 45 dias de irradiação
- Resultados permitiram qualificar o digitalizador para ser instalado no protótipo do LTDB

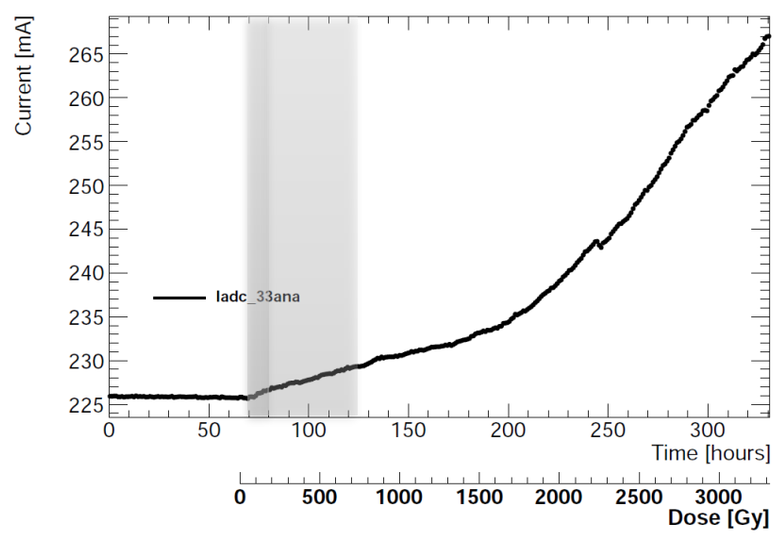


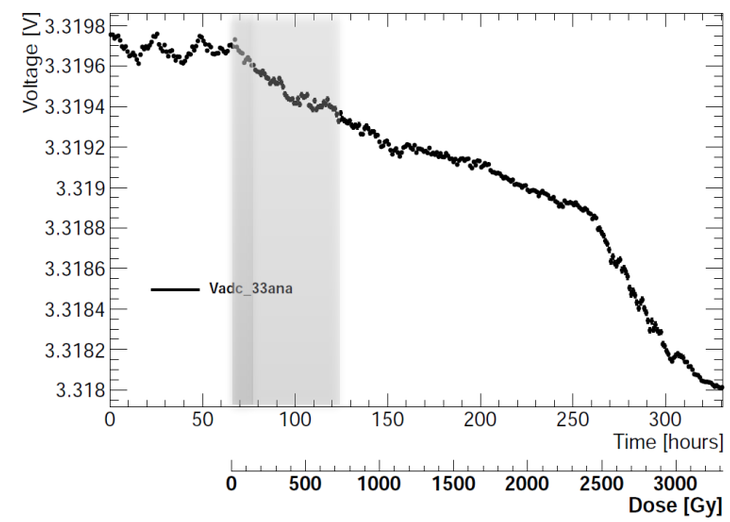


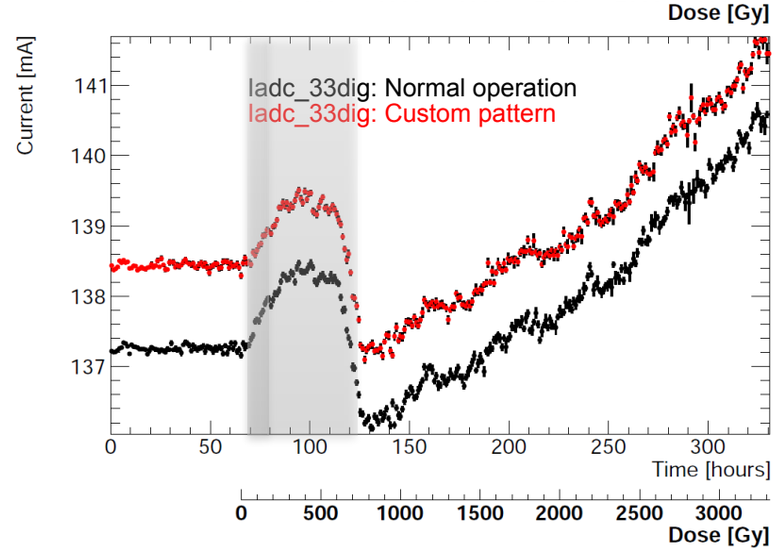
Resultados

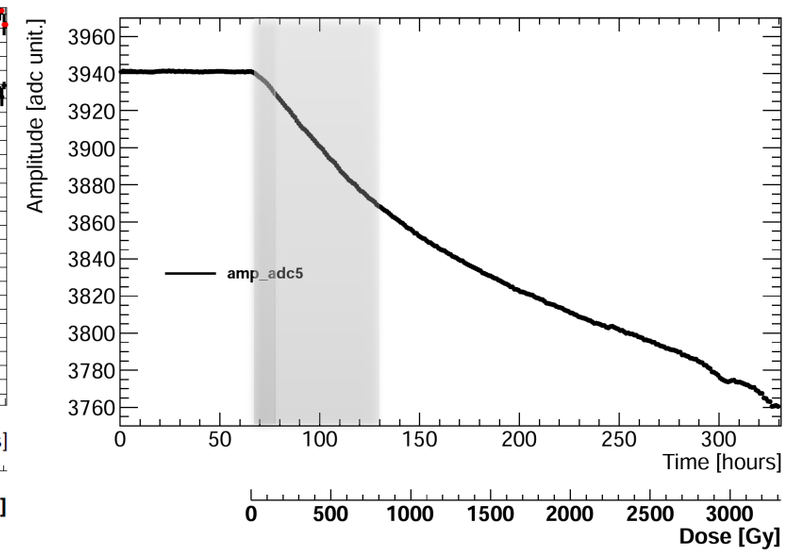
- ADC permaneceu funcional até uma dose 4x superior ao limite de segurança
- A pequena variação no ganho é compensada através da calibração eletrônica do calorímetro

3000 fb-1 | Fator de segurança



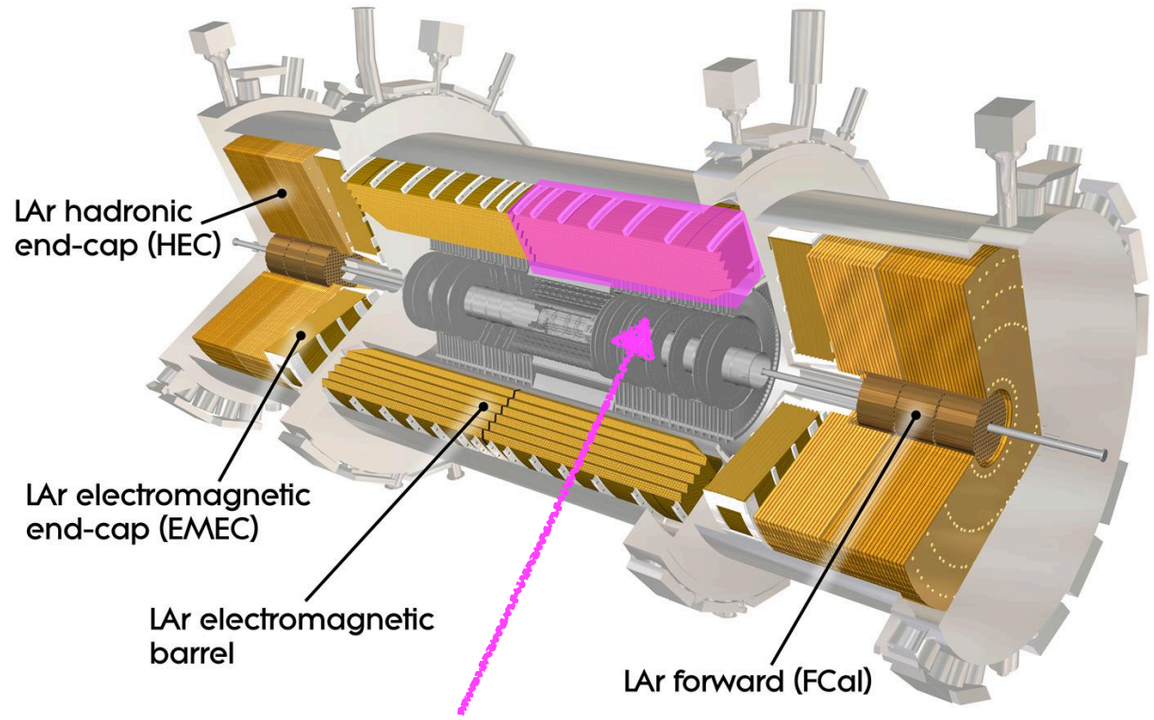




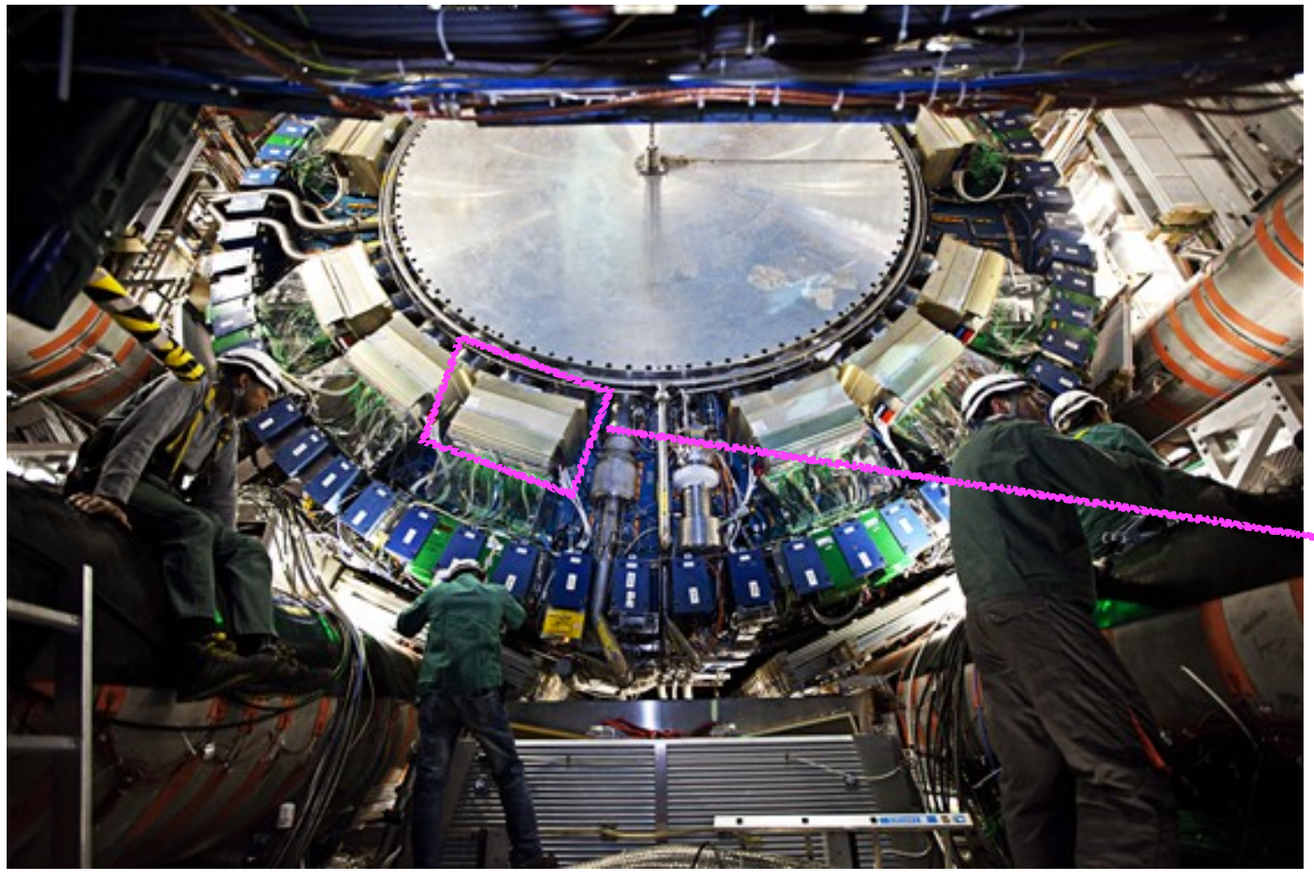


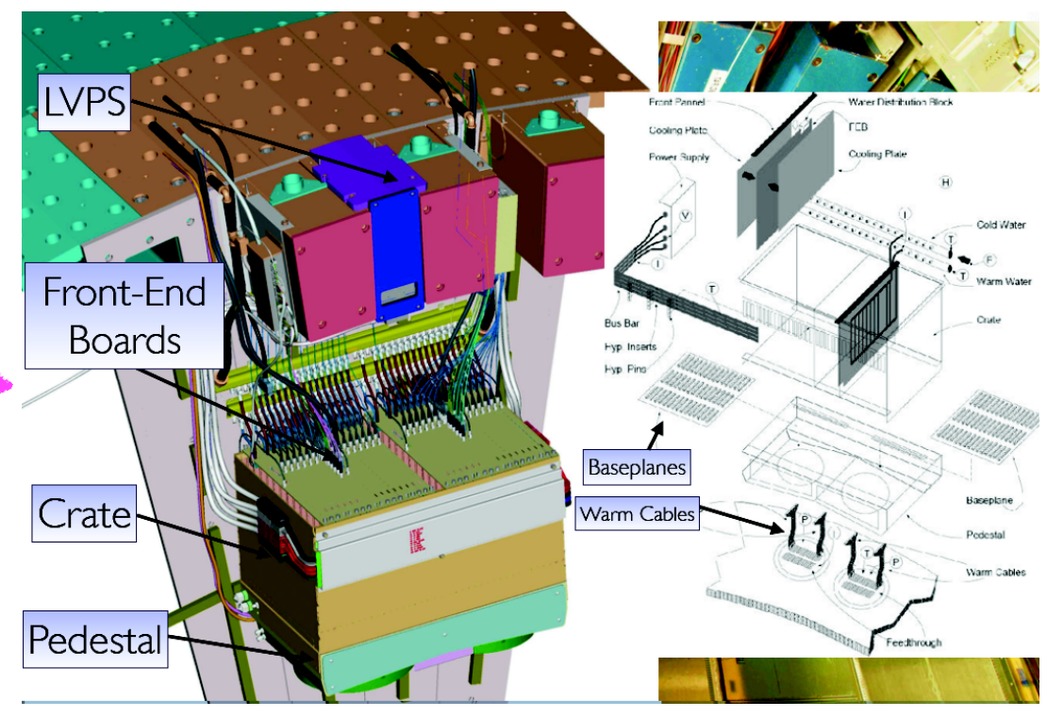
INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO DO LTDB NO CALORÍMETRO

- Durante o Long Shutdown I um dos bastidores da eletrônica de front-end foi modificada para receber dois protótipos do LTDB ($\Delta\eta \times \Delta\phi = 1.52 \times 0.2$)
- O sistema convencional de trigger continua operando normalmanete
- Um sistema de aquisição paralelo foi instalado para a leitura dos LTDBs
- O sistema está tomando dados desde o início do RUN-2 (05/2015)



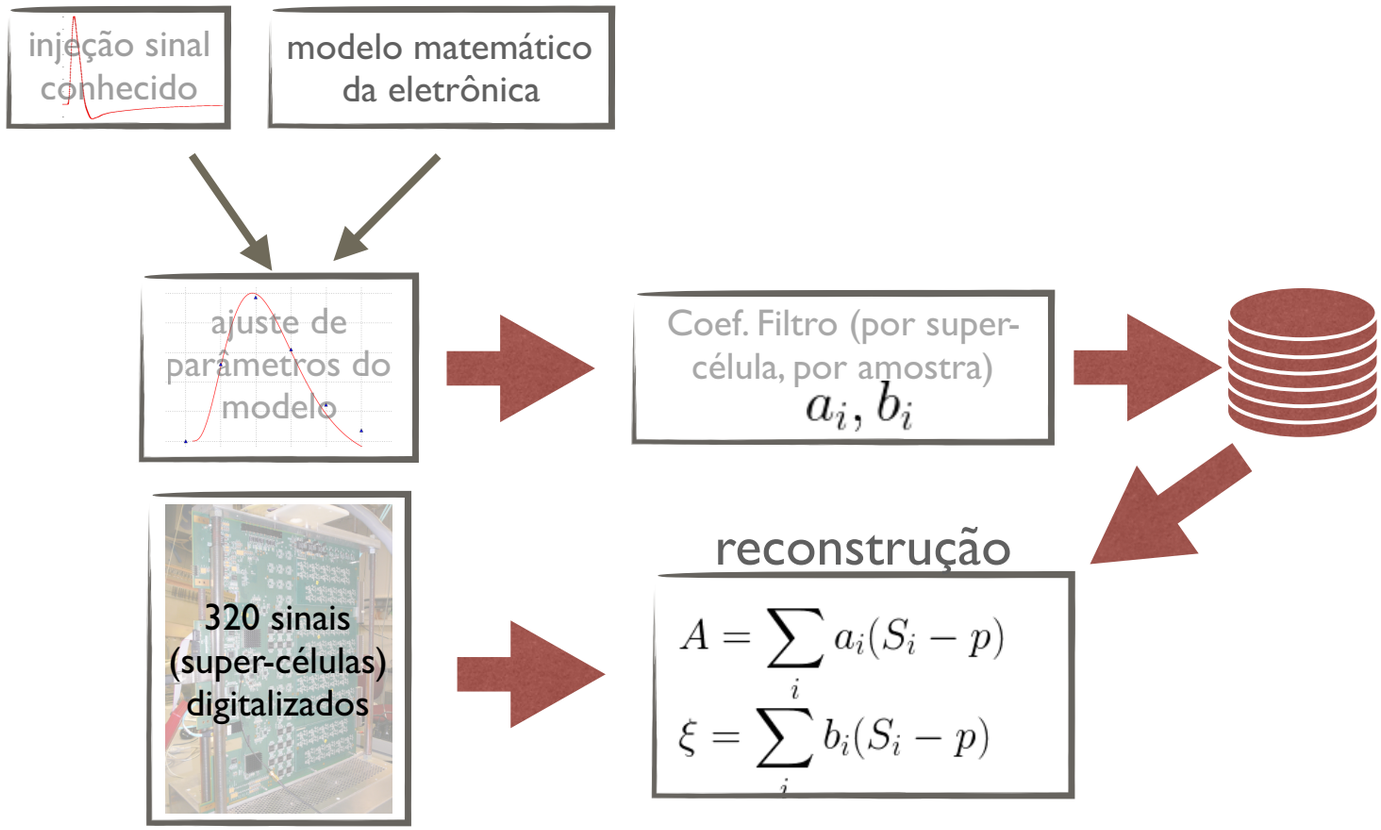
região do barril do calorímetro equipada com os protótipos do LTDB



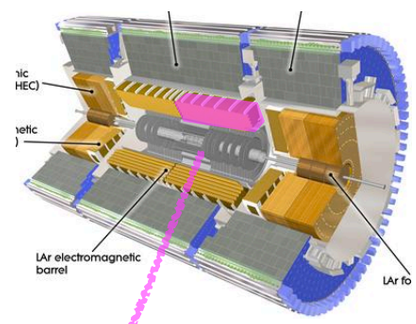


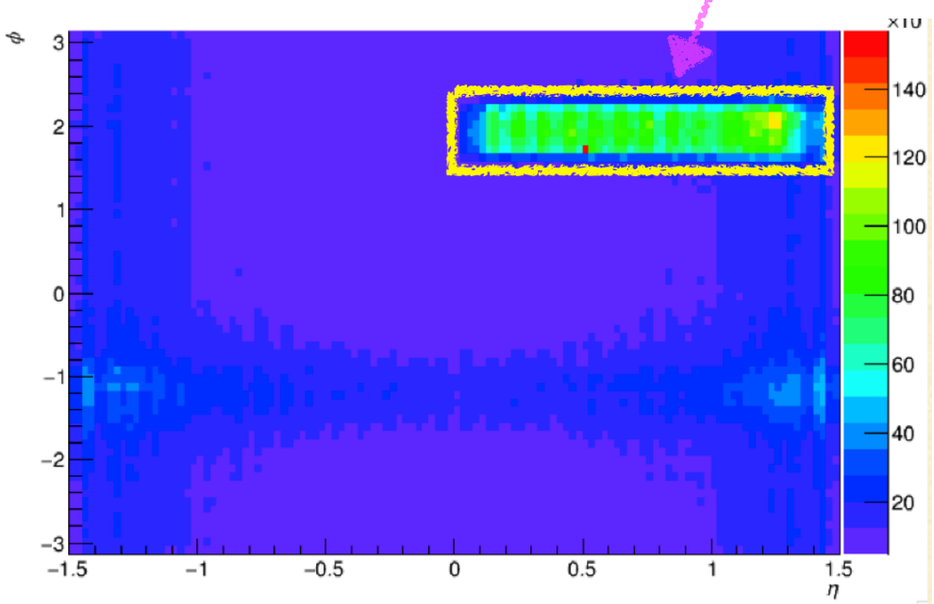
RECONSTRUÇÃO DE SINAIS NO LTDB

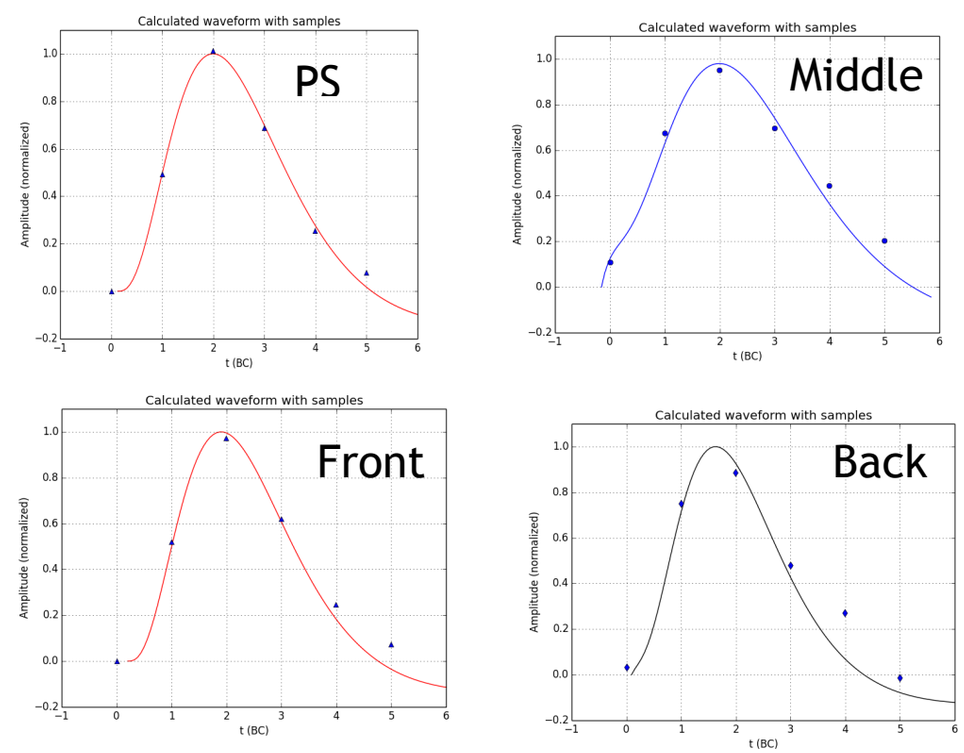
- Reconstrução da Energia, tempo a partir do sinal digitalizado de cada super-célula
- Reconstrução baseada na estimativa utilizando o método de filtragem ótima (OFC)
- Coeficientes do OFC extraídos de dados de calibração utilizando um modelo para a forma de onda de cada super-célula, levando em conta a capacitância e a reflexões nas linhas de transmissão e o número médio de colisões simultâneas



- Eventos de interesse na região coberta pelo protótipo são sinalizados por um trigger topológico dedicado



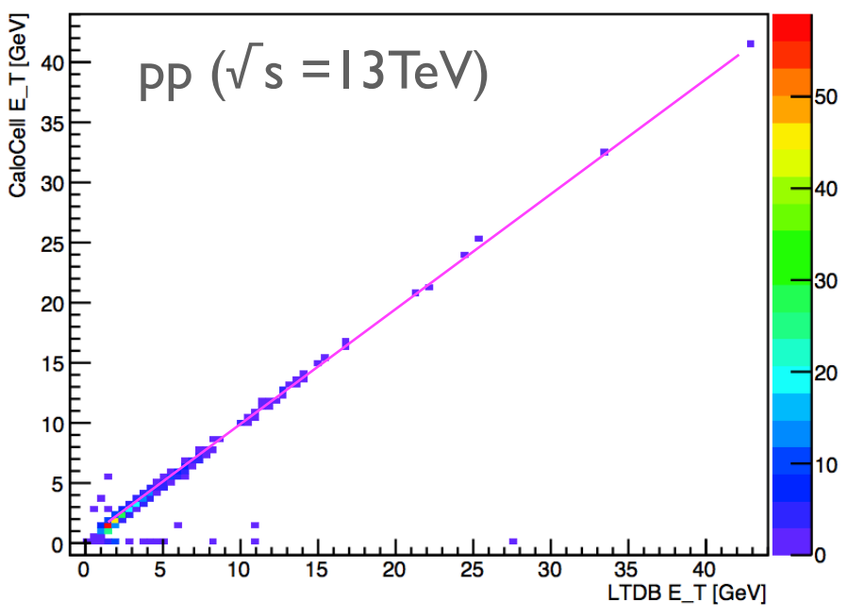


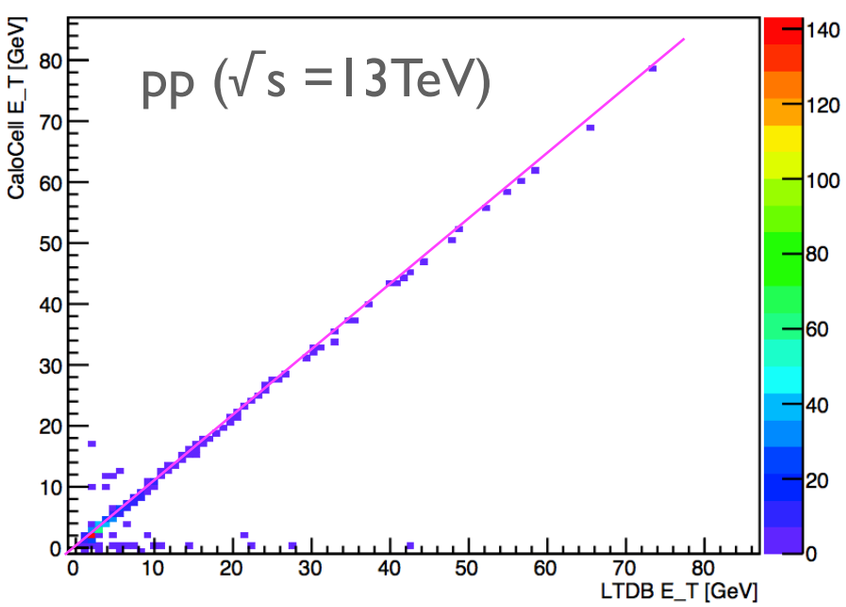


RECONSTRUÇÃO DE SINAIS NO LTDB

Energia

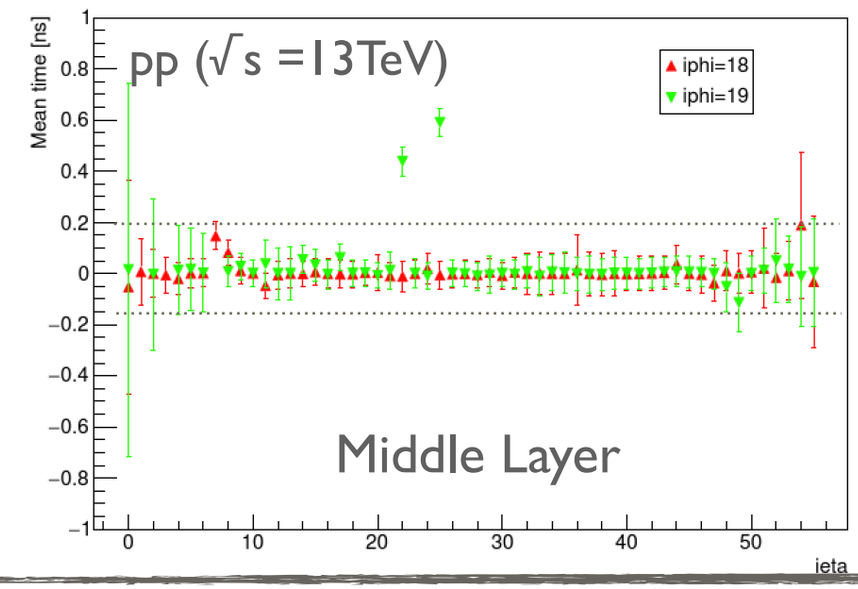
- Energia reconstruída correlacionada com o sistema de aquisição principal do ATLAS
- Excelente correlação em todas as super-células





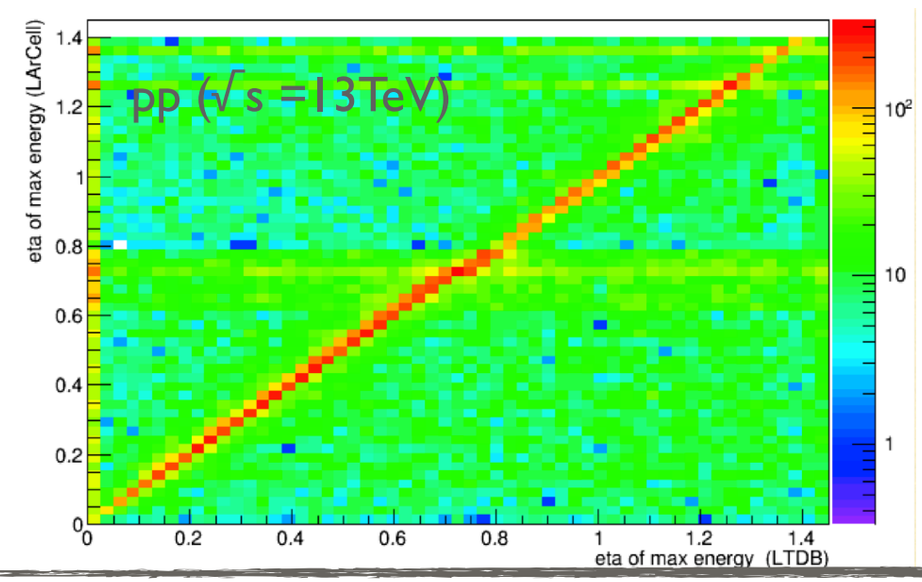
Tempo

- Tempo reconstruído com excelente resolução (~400 ps) por super-célula



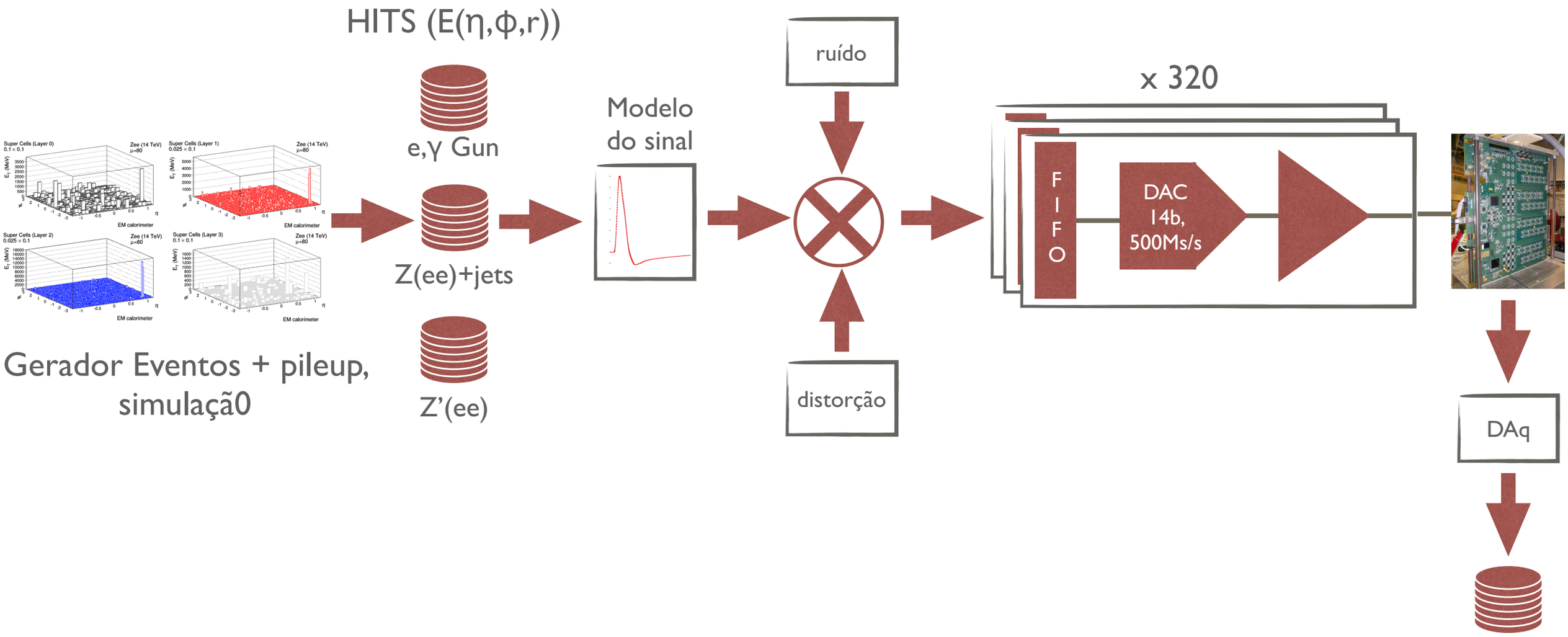
Posição

- Correlação da posição medida com o LTDB e as células do calorímetro



SISTEMA DE INJEÇÃO DE SINAIS

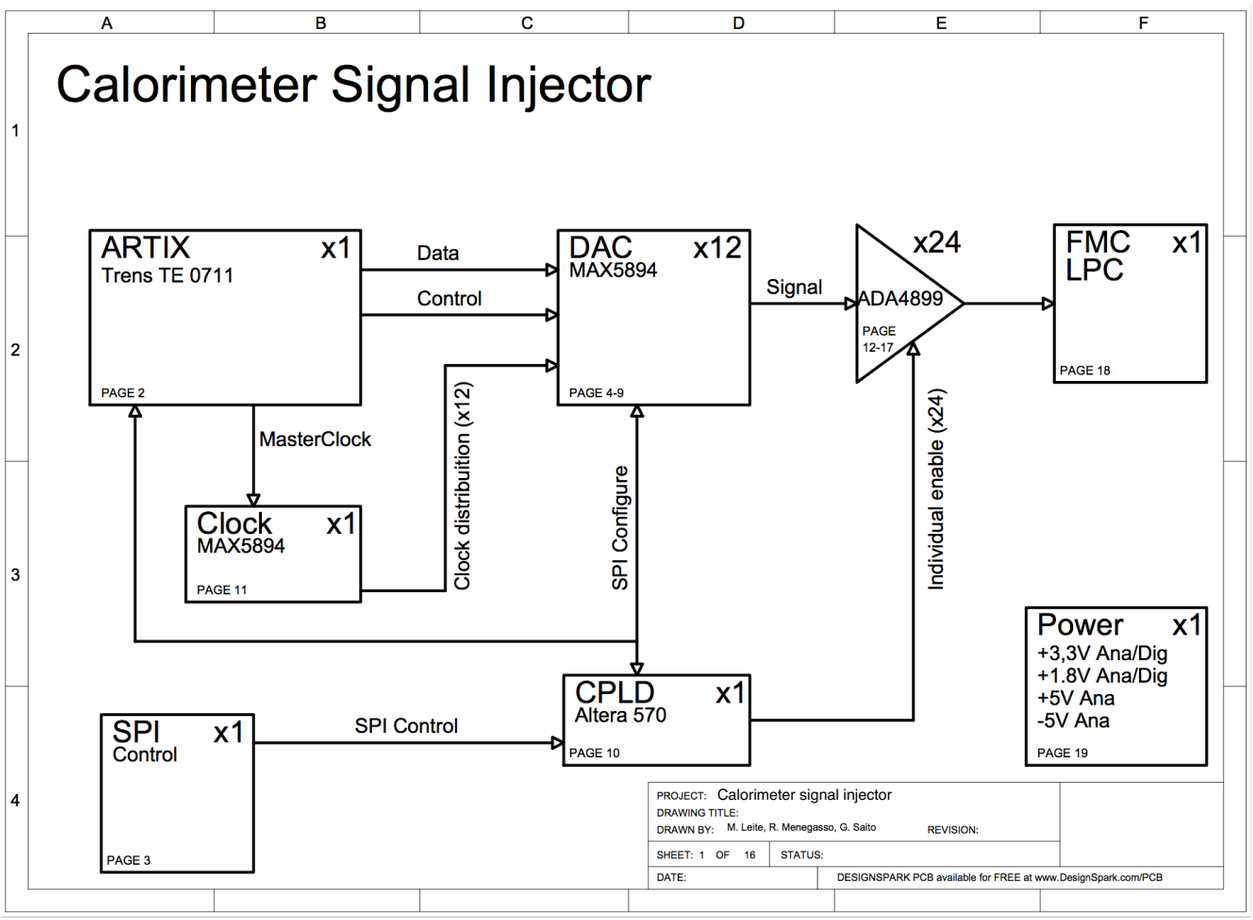
- Estudo da reconstrução é uma tarefa crítica
- A simulação reproduz a distribuição de energia para fenômenos reais mas …
- Muitos efeitos de segunda ordem não podem ser simulados (resolução temporal, distorção …)
- Vários estudos são limitados pelo número de eventos, condições de controle
- Desenvolvimento de novos métodos para processamento de sinal e algoritmos necessitam de um sistema flexível de desenvolvimento



SISTEMA DE INJEÇÃO DE SINAIS

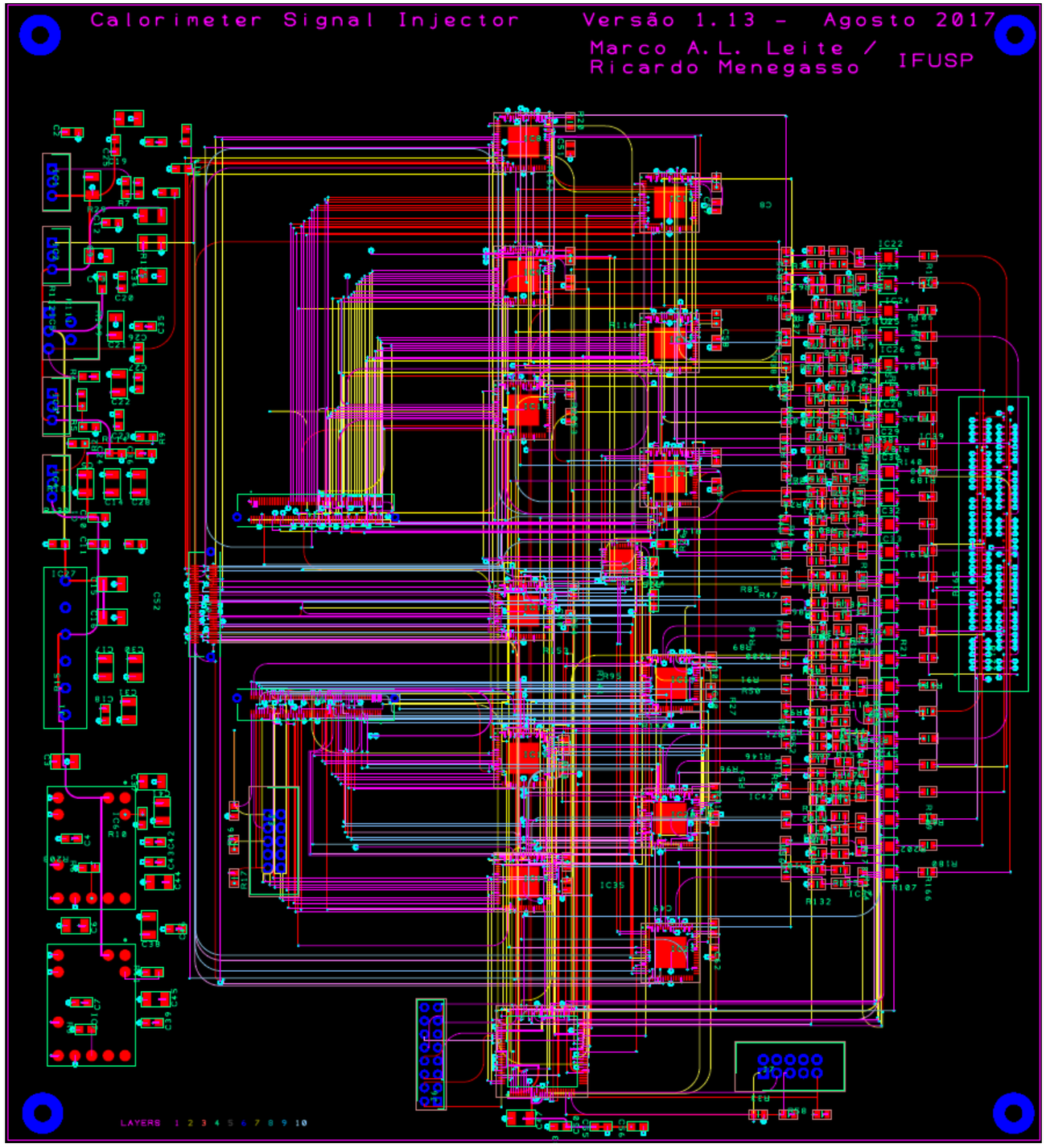
Viabilidade

- 24 canais de DAC (24 x 14b, 500 Ms/s)
  - ☑ Esquematico e escolha dos componentes
  - ☑ Layout preliminar
  - ☐ Firmware FPGA



22 cm

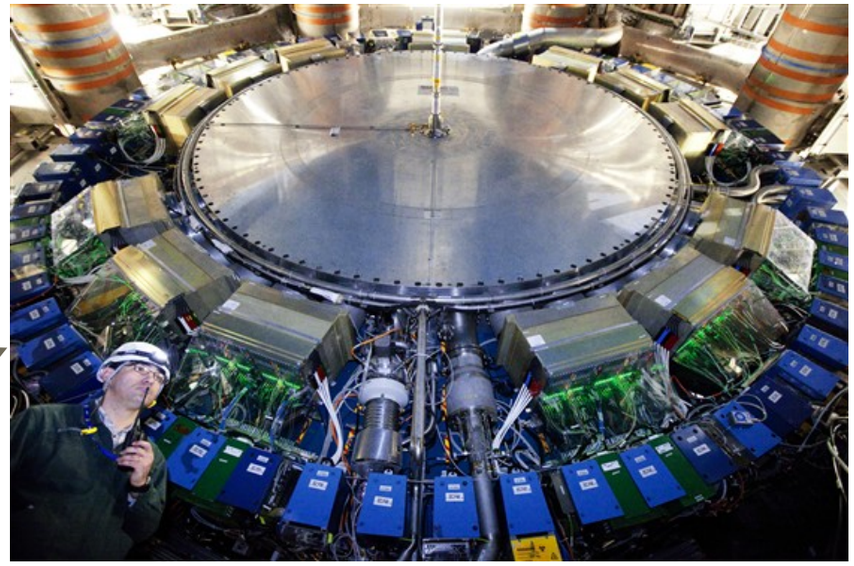
25 cm

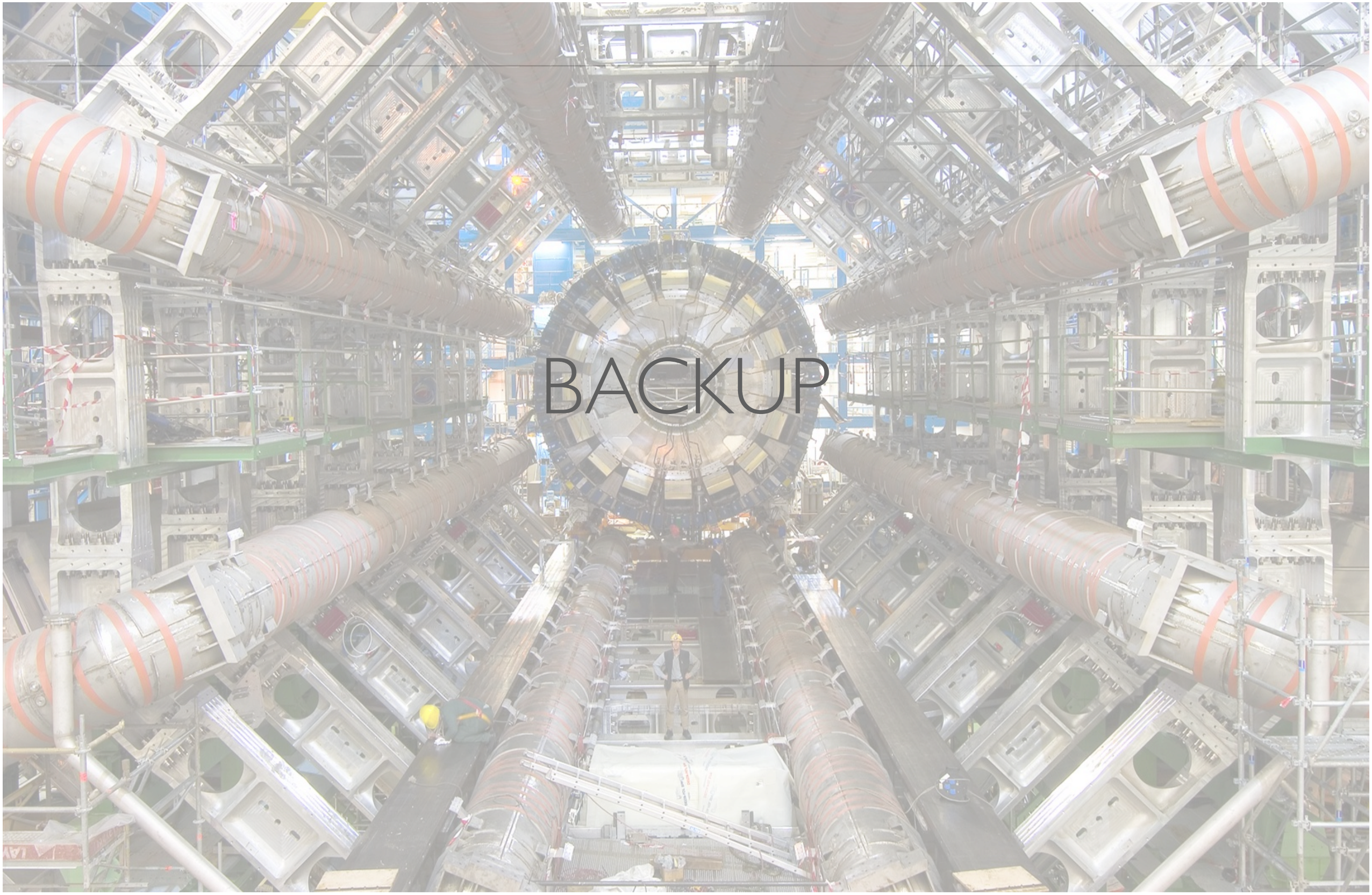


COMENTÁRIOS FINAIS

- Experimentos do LHC são a fronteira da Física de Altas Energias
- Estado da arte em eletrônica, computação
- Resultados aqui apresentados representam os esforços de várias instituições
- Projetos de **LONGO PRAZO** !!
- Infra-estrutura e know-how desenvolvido tem alto potencial de aproveitamento em áreas estratégicas (e.g. testes de radiação em componentes eletrônicos)
- Em 2019, tem início a segunda longa parada (LS2) do LHC e dos experimentos para a atualização dos detectores e sistemas associados
  - Toda eletrônica de *front end* do calorímetro de Argônio líquido deverá ser removida, adaptada e reinstalada
  - **Manpower dedicado/especializado**
- Desenvolvimento de hardware esbarra em várias dificuldades :
  - Importação de material de consumo
  - Prazos
  - disponibilidade/interesse dos distribuidores
  - Infra-estrutura para prototipagem (PCB, montagem)
  - Infra-estrutura para produção (frequentemente é necessário mais de um fornecedor)
  - Fixação de profissionais

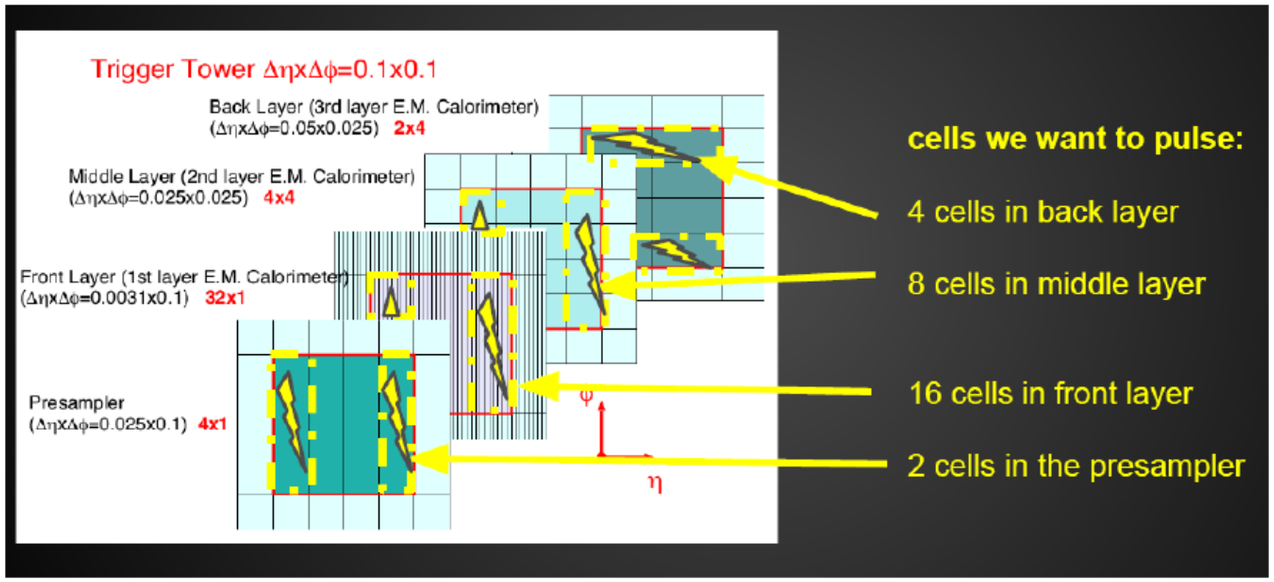
x4 (x8)

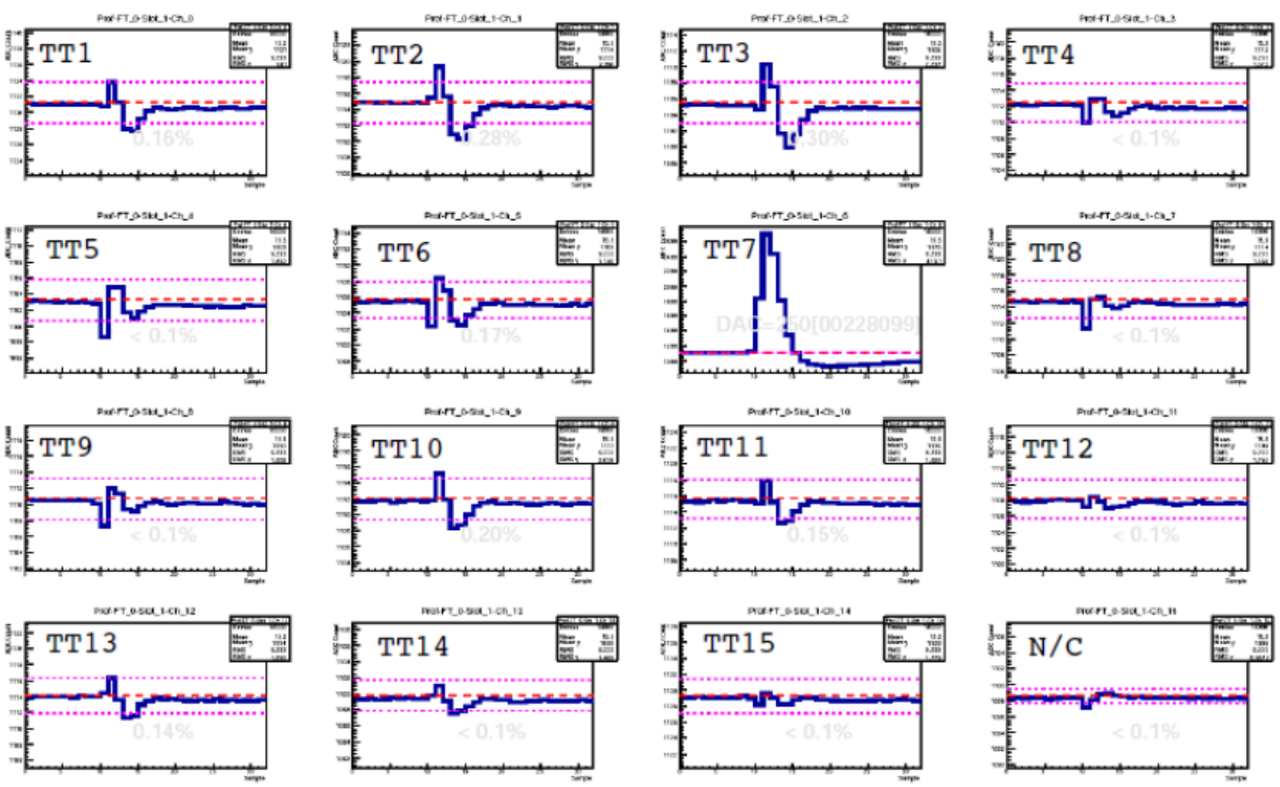




BACKUP

CROSS TALK





Peak-to-peak / Injected pulse

Pattern	All inner	All outer	Presamp.	Front	Middle	Back
Current	0.218	0.221	0.284	1.125	0.262	0.481
New	0.231	0.232	0.307	1.120	0.311	0.527
New (LTDB Dig. OFF)	0.231	0.233	0.309	1.120	0.311	0.525

Peak sampling / injected pulse

Pattern	All inner	All outer	Presamp.	Front	Middle	Back
Current	0.120	0.119	0.254	0.329	0.088	0.205
New	0.123	0.121	0.151	0.268	0.122	0.217
New (LTDB Dig. OFF)	0.124	0.122	0.160	0.278	0.122	0.215