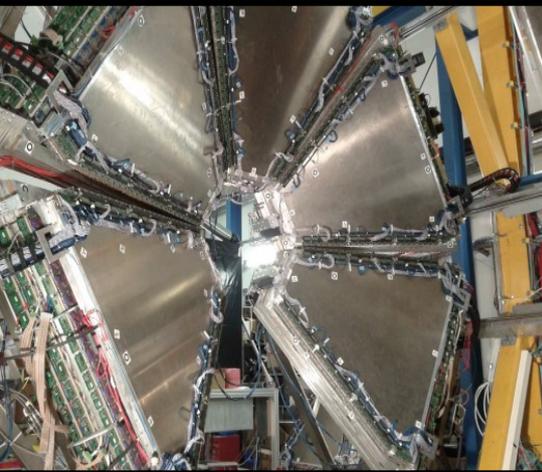


# RPC. Detetores versáteis de partículas

Alberto Blanco

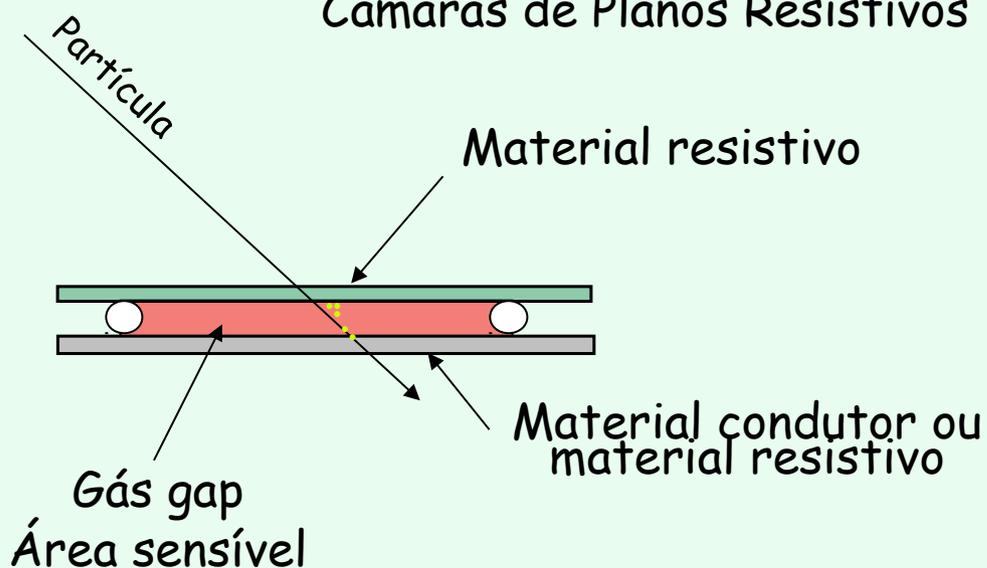
Em nome do grupo RPC R&D do LIP-Coimbra



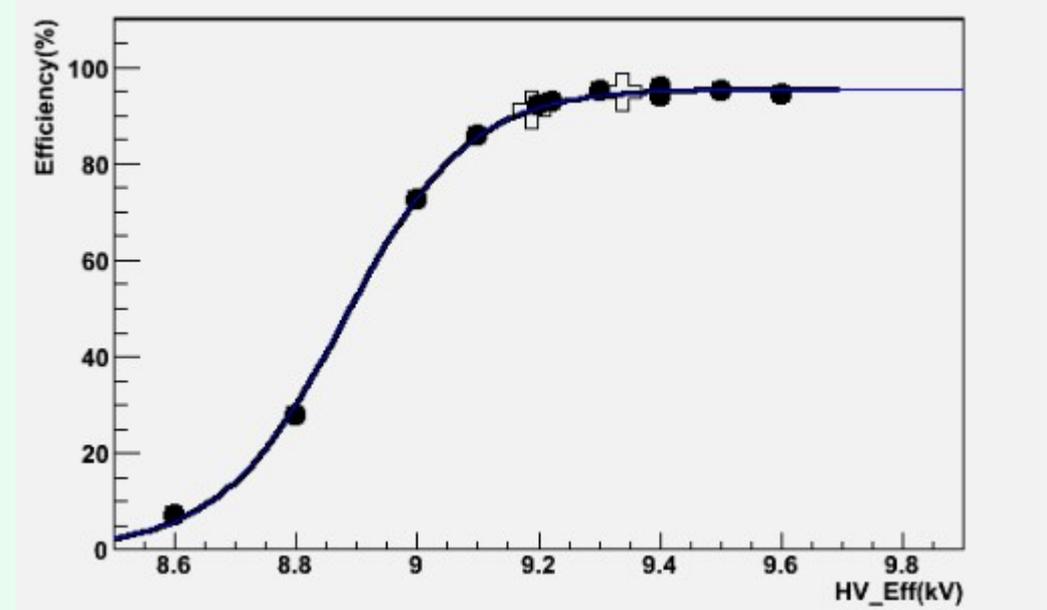
# Estágios de verão

## Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.

RPC => Resistive Plate Chambers  
Câmaras de Planos Resistivos



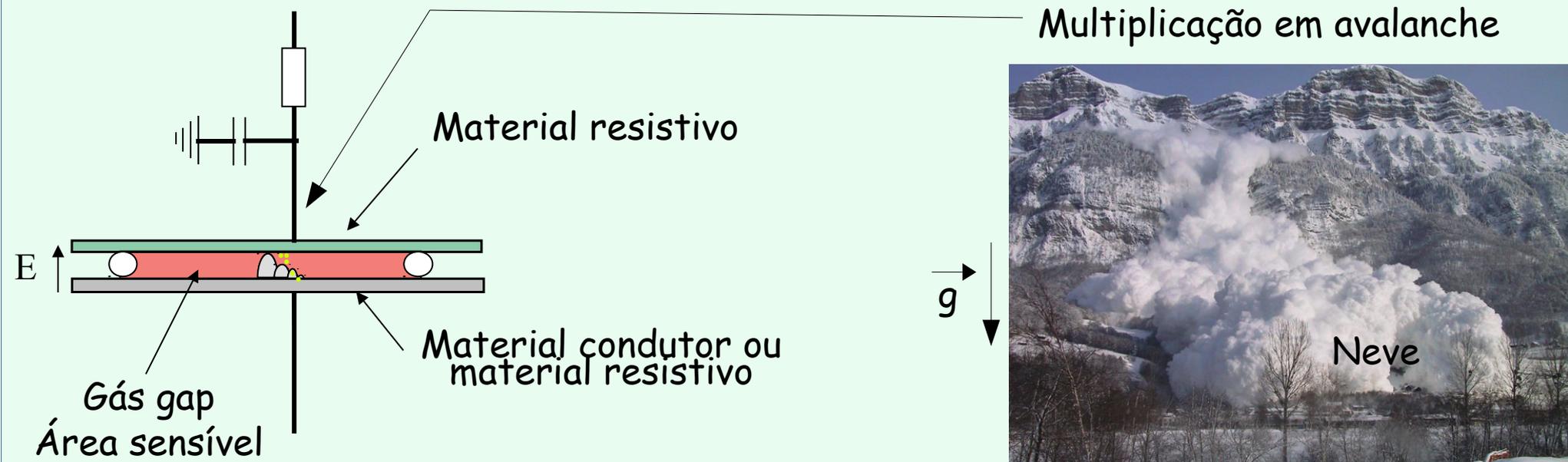
Tipo de **gás e espessura** ~mm  
Permitem obter **eficiências próximas a 100%**



**Ionização** do gás pela partícula incidente.  
Ionização primária

# Estágios de verão

## Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



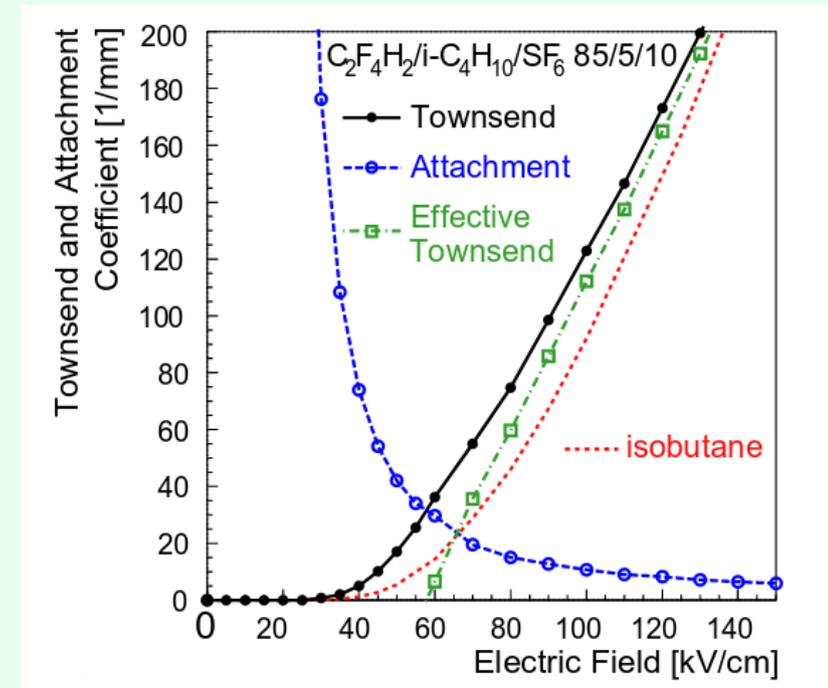
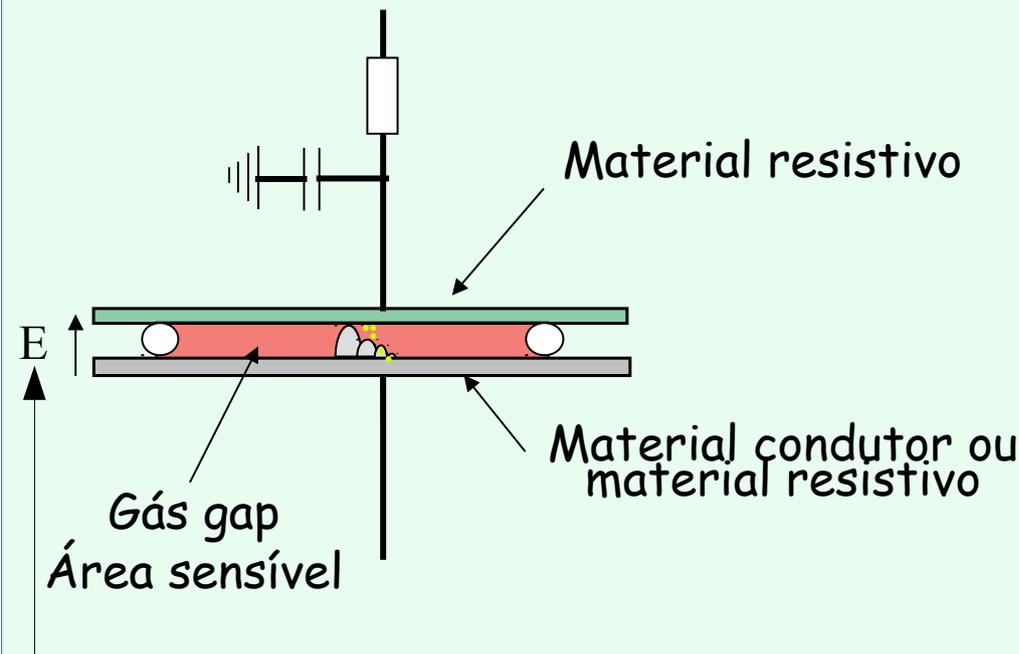
**Crescimento exponencial**

$$n_e(x, y, z, t) = n_0 e^{\alpha v_e t} \frac{1}{(4\pi D_e t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + (z - v_e t)^2}{4D_e t}\right)$$

**Multiplicação** da ionização primaria

# Estágios de verão

## Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.

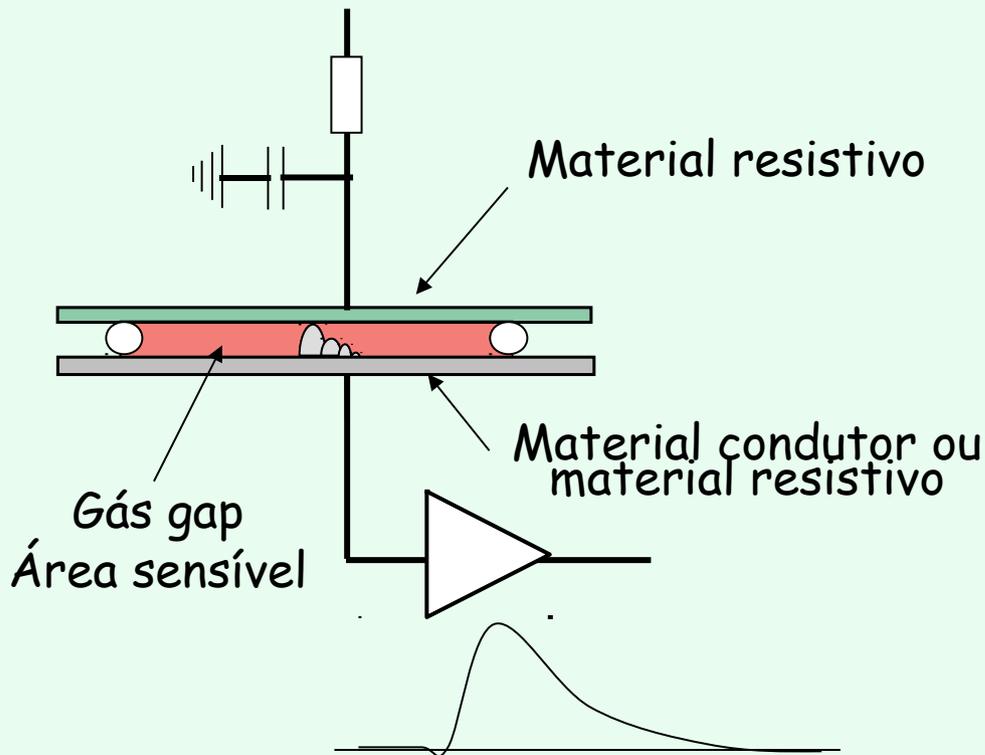


**Campos elétricos muito elevados**  
=> sinal muito rápida => muito boa  
**Resolução em tempo < 1 ns**

**Multiplicação** da ionização primaria

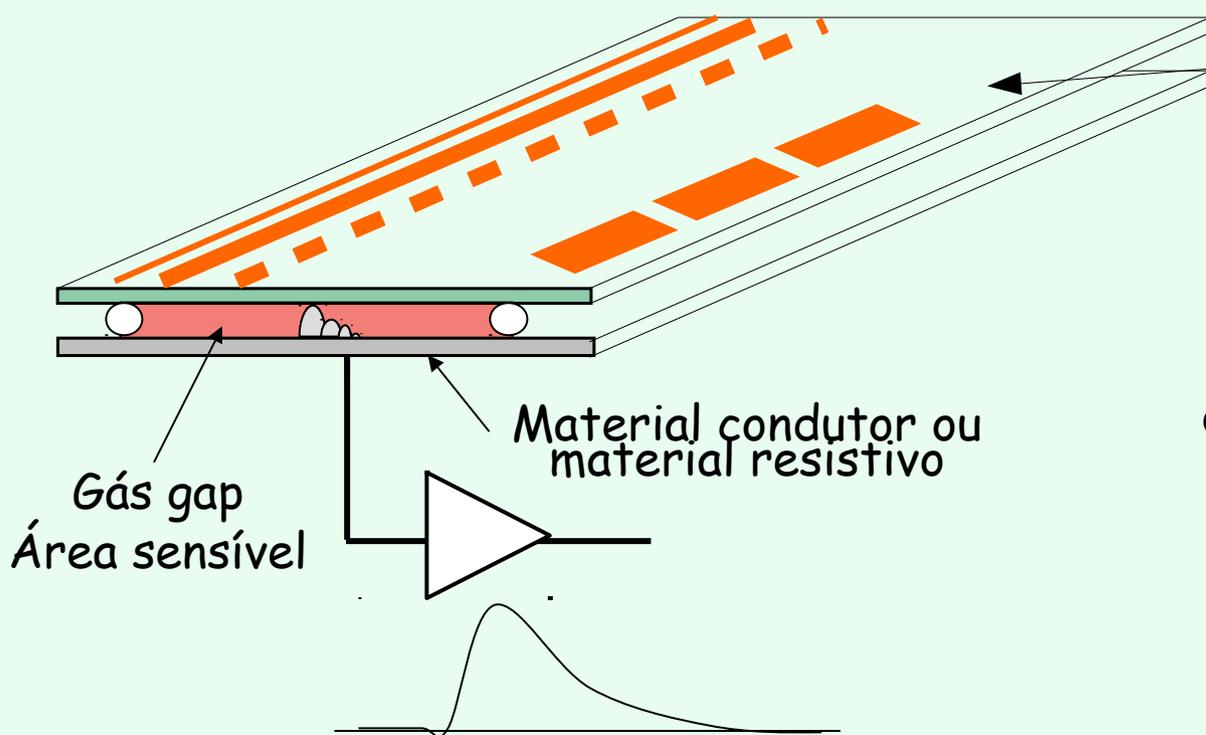
# Estágios de verão

## Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



Movimento de cargas => **indução de sinal**  
Pulso de corrente

## Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



- Strips

- Pads

Diferentes formas e tamanhos

Estruturas feitas com tecnologia  
de fabrico de circuitos electrónicos

=> tamanhos diminutos =>

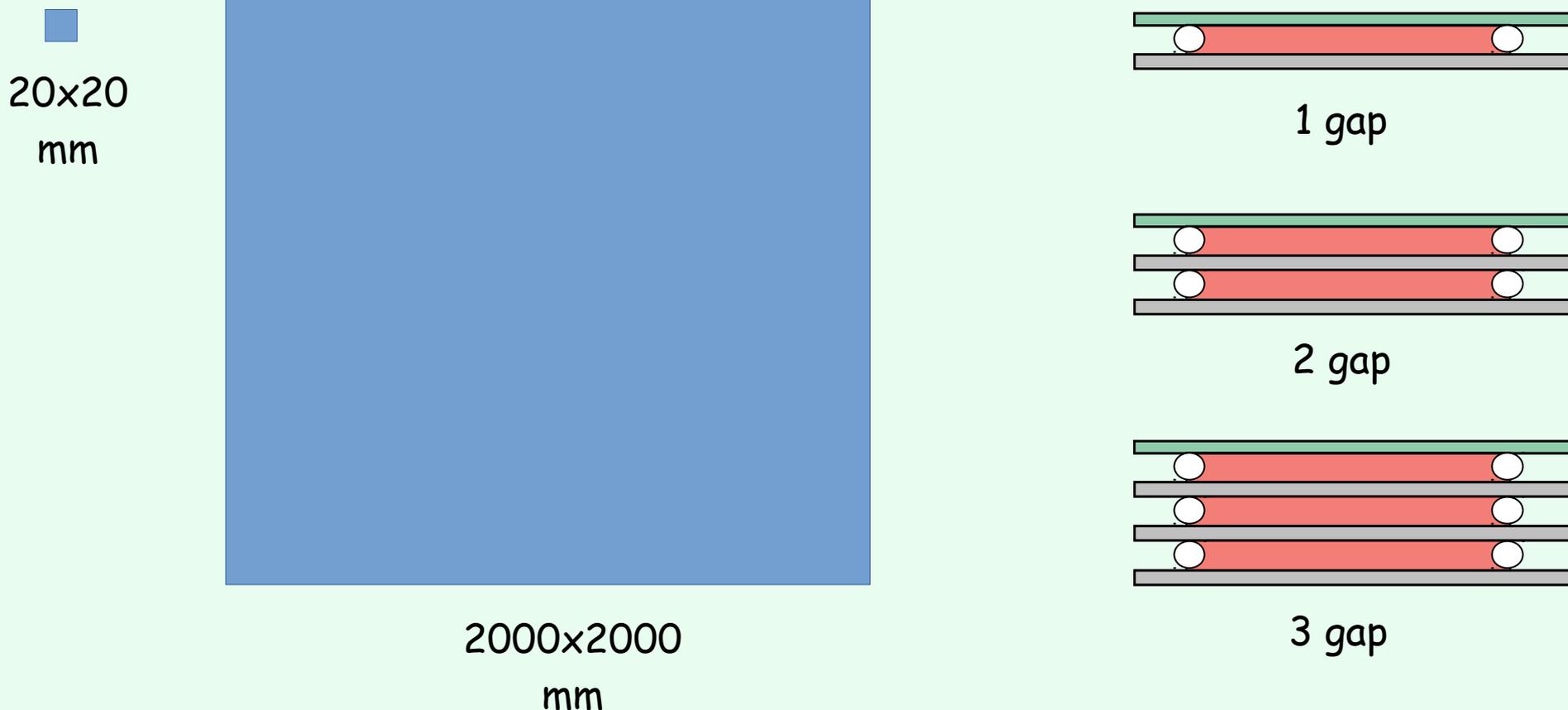
**resolução espacial < 1 mm**

Diferentes **estratégias na leitura** dos sinais induzidos

# Estágios de verão



## Detetores RPC. Funcionamento básico.



**Diferentes geometrias** (tamanhos, formas) e configurações possíveis.

**Materiais banais** (vidro de janela, alumínio, aço, plástico, ....)

## Detetores RPC. Características.

- Boa **eficiência de deteção**  $\sim 100\%$
- Boa **resolução em tempo**  $< 1\text{ ns}$
- Boa **resolução em posição**  $< 1\text{ mm}$
- **Grandes e pequenas áreas**
- **Construído com matérias banais**

**Excelentes prestações e capacidade de adaptação**

# Estágios de verão

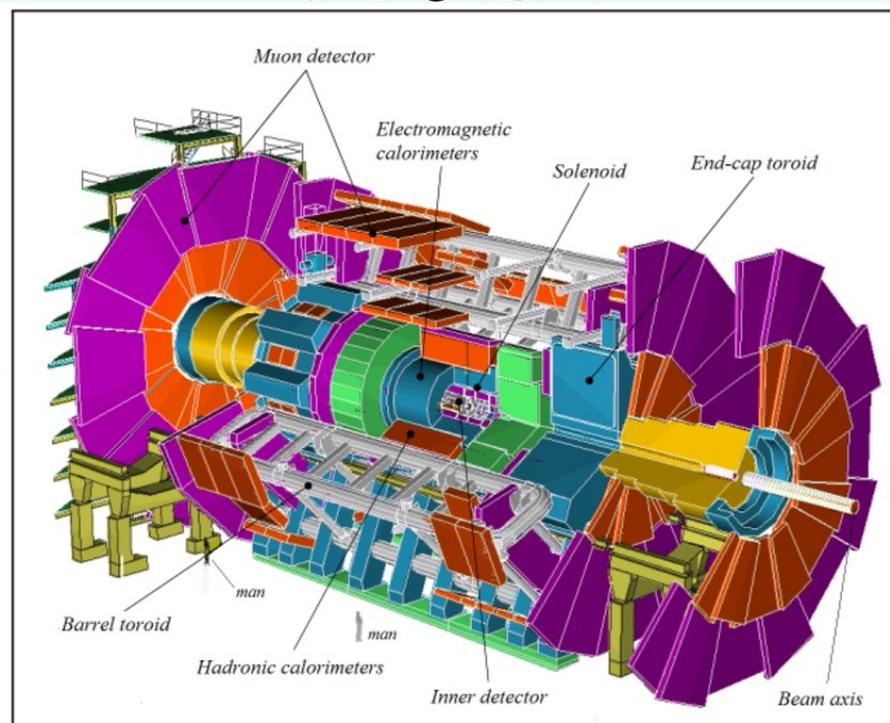


Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

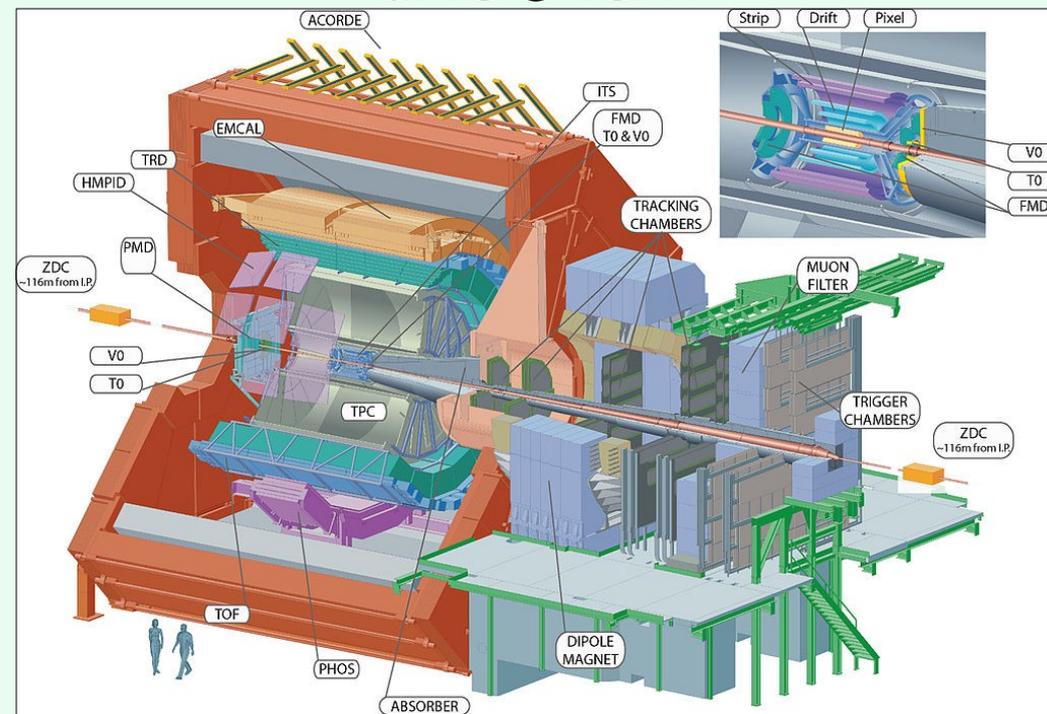
Alta eficiência, excelente resolução em tempo, relação custo/área ótima.

### ATLAS @ CERN



RPC de trigger

### ALICE @ CERN



RPC medida de tempo

# Estágios de verão



Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

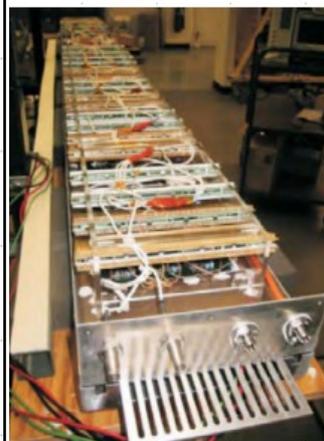
**FOPI@GSI**



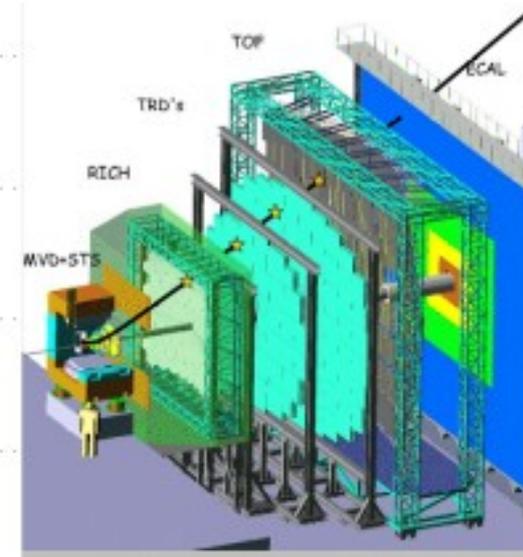
**TOF endcap@BESIII**



**STAR@RHIC**



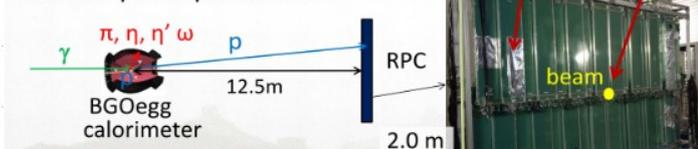
**CBM@FAIR**



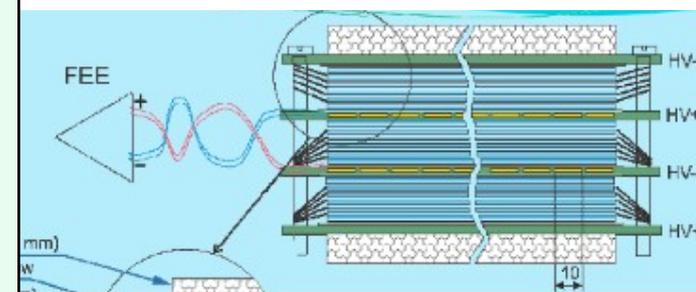
**BGOegg@LEP2 (SPRING8)**

BGOegg experiment at SPRing-8 2014~  $\sim 10\text{Hz}/\text{cm}^2$   $\sim 1\text{kHz}/\text{cm}^2$

Hadron photo-production



**NICA@JINR**



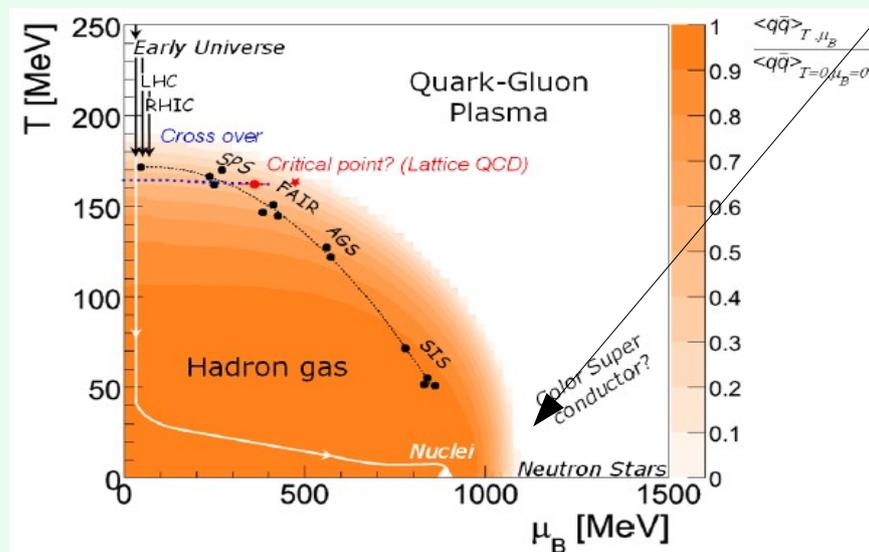
# Estágios de verão

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

**HADES High Acceptance DiElectron Spectrometer @ GSI Frankfurt**

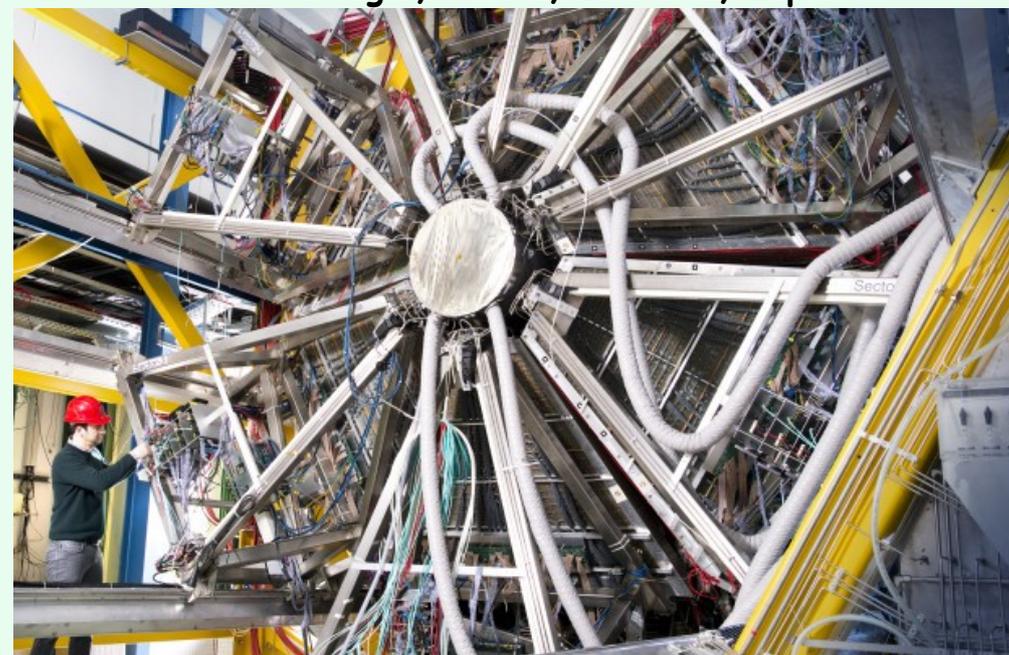
**Estudo das propriedades da matéria nuclear densa e fria.**



Parte do **espectro pouco conhecido**,  
Cria o ambiente existente nas **colisões**  
**de estrelas de neutrões**

Colaboração internacional de 19 institutos  
de 10 países Europeus

Chipre, Republica Checa, França, Alemanha, Itália, Polónia,  
Portugal, Rússia, Eslovaca, Espanha.



# Estágios de verão

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

**HADES** High Acceptance **Di**Electron **S**pectrometer @ GSI Frankfurt

$$\Delta t = L \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{L}{c} \left( \frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right)$$
$$= \frac{L}{pc^2} (E_1 - E_2) = \frac{L}{pc^2} \left( \sqrt{p^2c^2 + m_1^2c^4} - \sqrt{p^2c^2 + m_2^2c^4} \right)$$

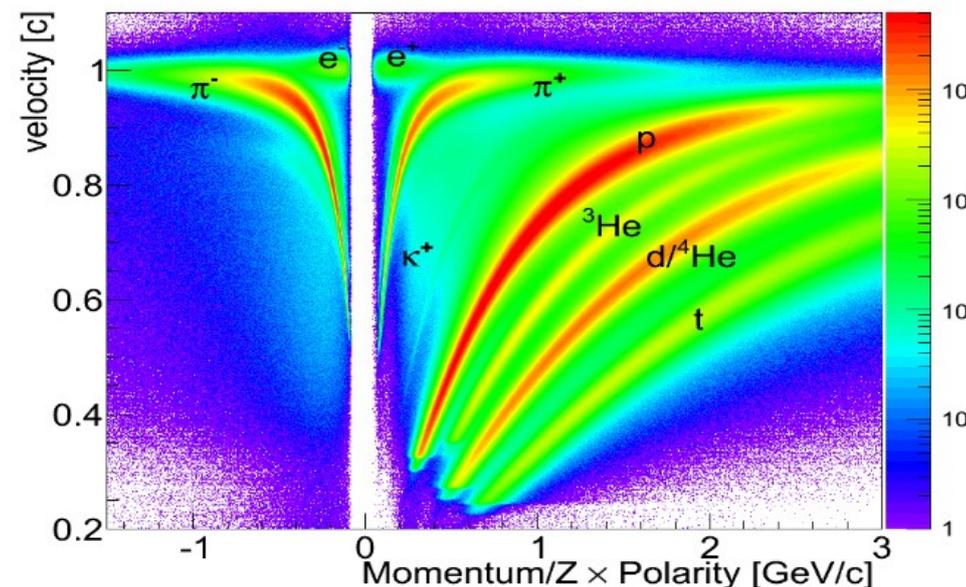
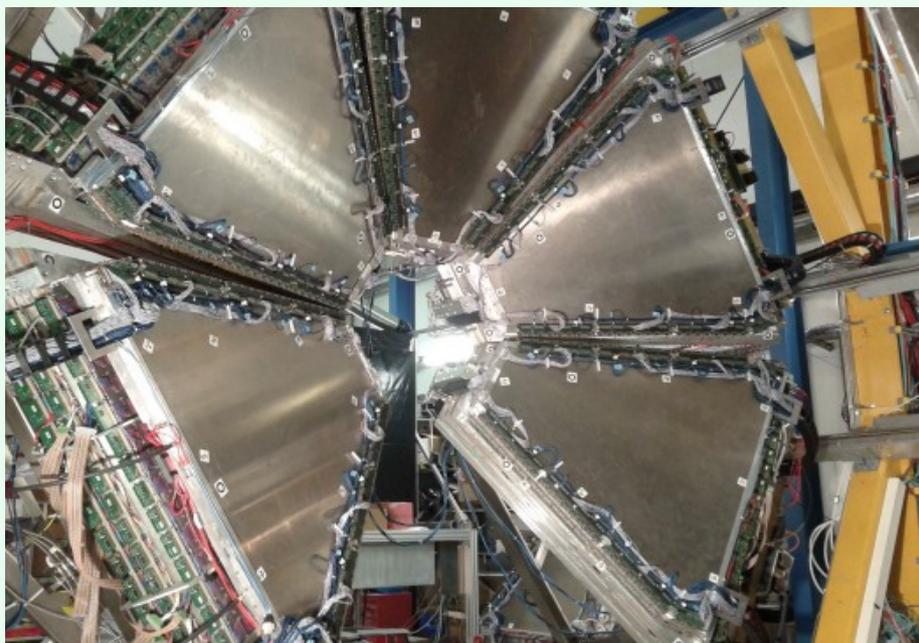
Relativistic particles,  $E \simeq pc \gg m_i c^2$ :

$$\Delta t \approx \frac{L}{pc^2} \left[ \left( pc + \frac{m_1^2c^4}{2pc} \right) - \left( pc + \frac{m_2^2c^4}{2pc} \right) \right]$$

$$\Delta t = \frac{Lc}{2p^2} (m_1^2 - m_2^2)$$



**Identificação de partículas**  
medindo o tempo de voo



# Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E  
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



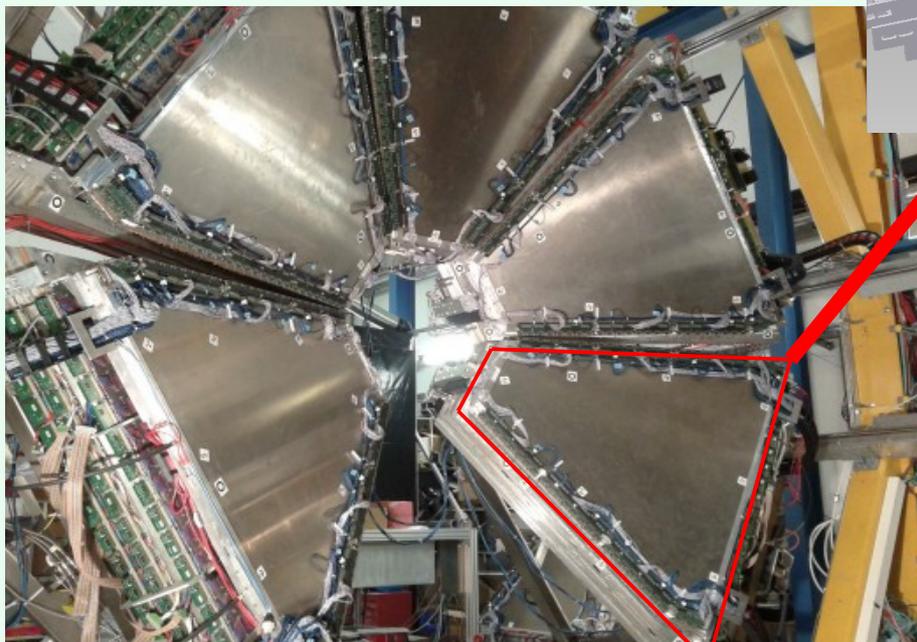
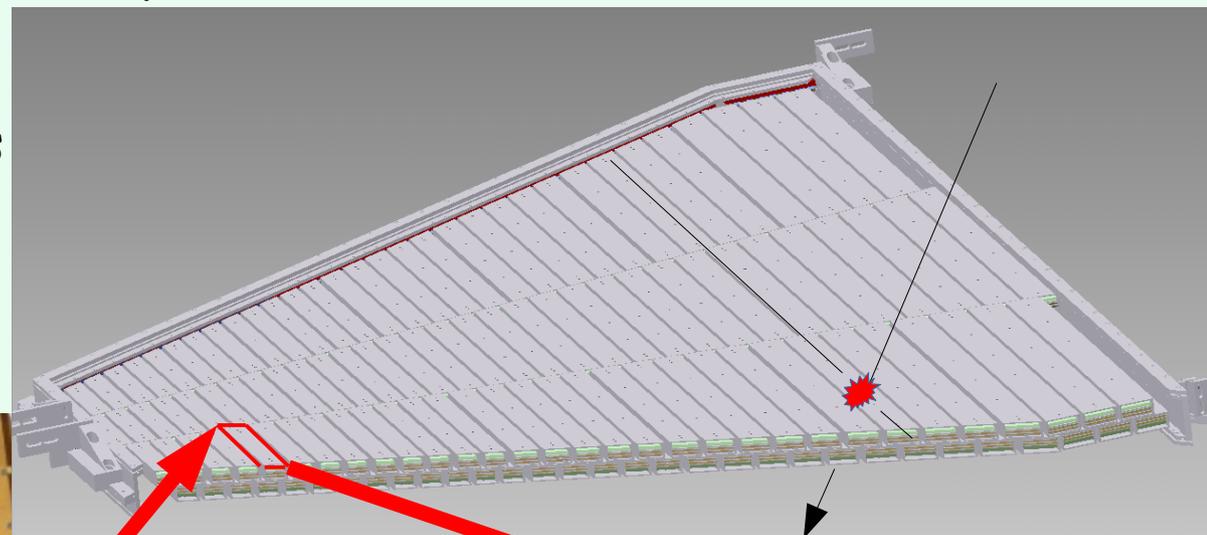
Made in LIP

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

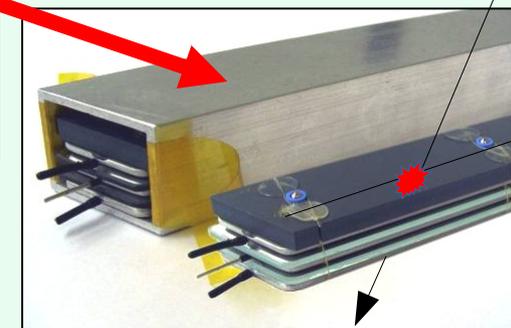
**HADES High Acceptance DiElectron Spectrometer @ GSI Frankfurt**

Excelente **resolução em tempo** 60 ps  
e **alta eficiência** > 90%



- **RPCs individuais**. Nunca antes  
feito !!! **Alta performance** em  
ambientes de **muitas partículas**.

- 1200 RPCs, 8 m<sup>2</sup>



**Pode-se ver um sector no 4 andar**

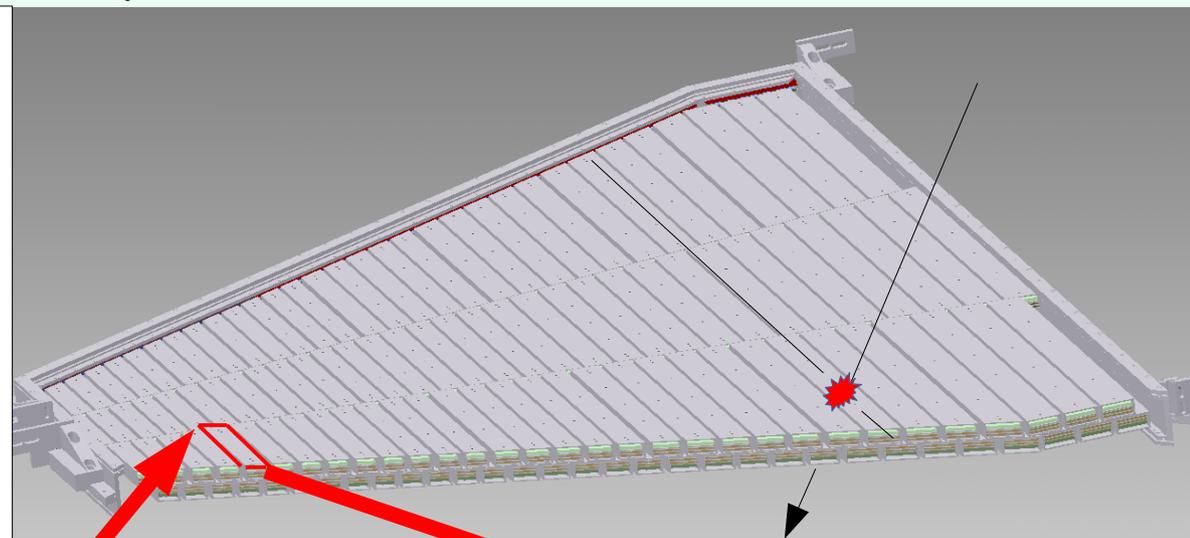
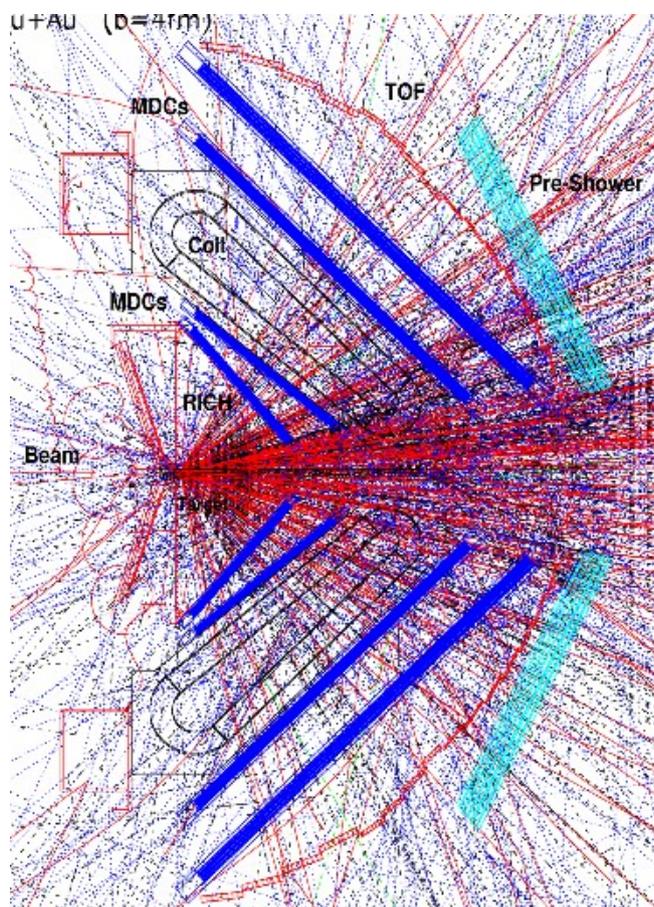
# Estágios de verão

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

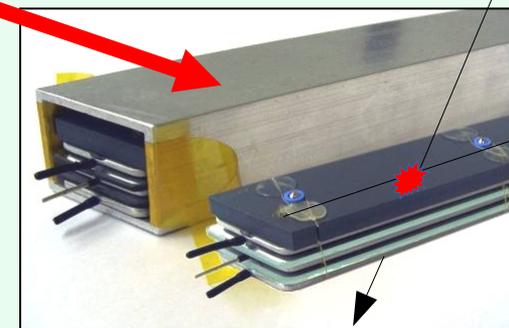
**HADES** High Acceptance **Di**Electron **S**pectrometer @ GSI Frankfurt

Ilustração de Colisão Au+Au



- **RPCs individuais**. Nunca antes feito !!! **Alta performance** em ambientes de **muitas partículas**.

- 1200 RPCs, 8 m<sup>2</sup>



**Pode-se ver um sector no 4 andar**

# Estágios de verão

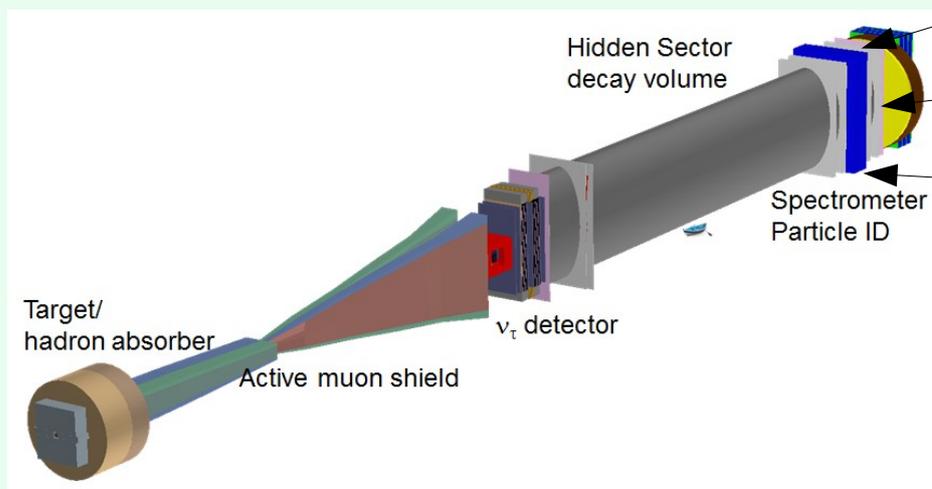
Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

**SHIP Search HI**den **P**articles @ CERN

Experimento de descoberta a **procura de nova física além do MP** na região dos GeV

- **Strips** em RPCs de  $2 \text{ m}^2$
- **Resolução em tempo** em grande área a **baixo custo**



# Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E  
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

**SHIP Search HI**den **P**articles @ CERN

Experimento de descoberta a **procura de nova física além do MP** na região dos GeV



**Detetor no CERN**

**Pode-se ver um prototipo na cave**

# Estágios de verão



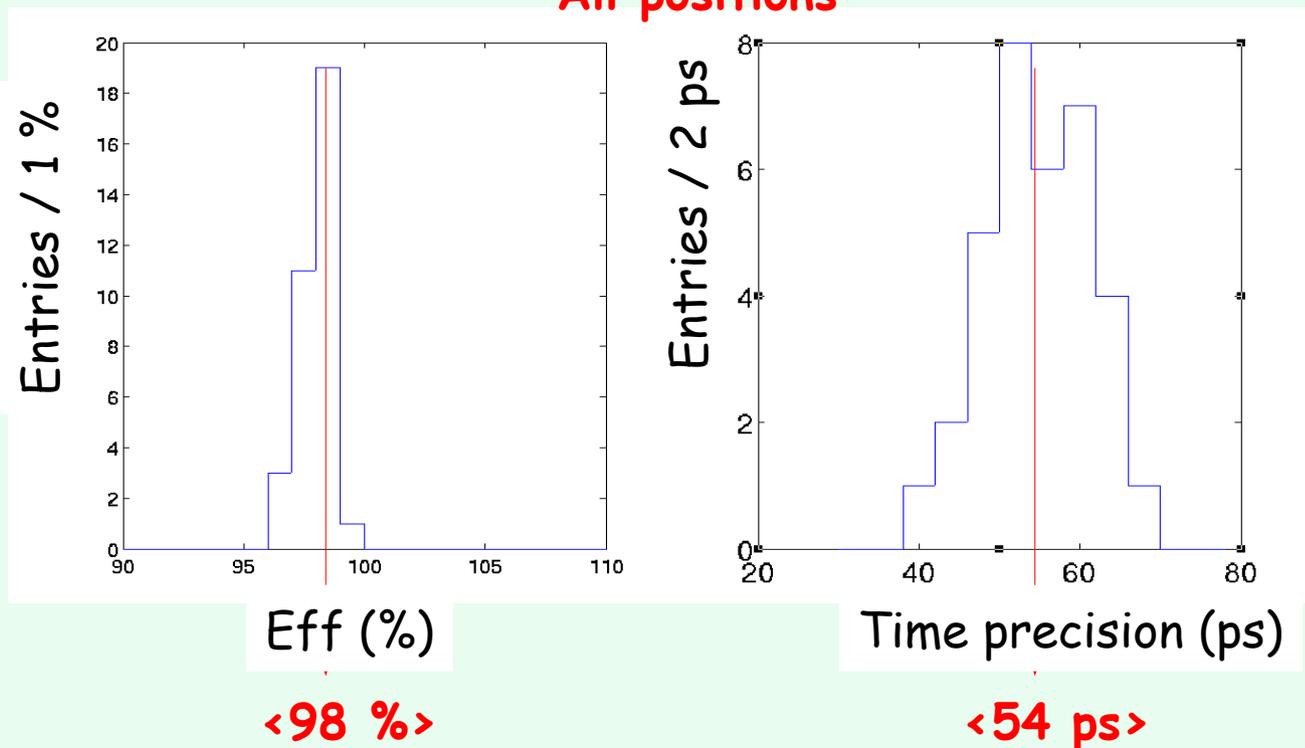
Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

**SHIP Search HI**den **P**articles @ CERN

Experimento de descoberta a **procura de nova física alem do MP** na região dos GeV

All positions



# Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

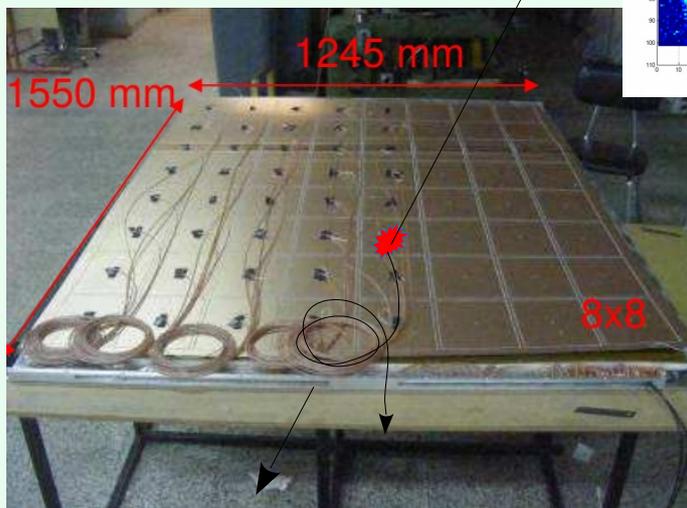
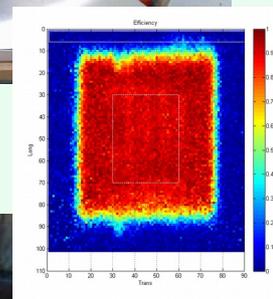
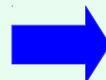
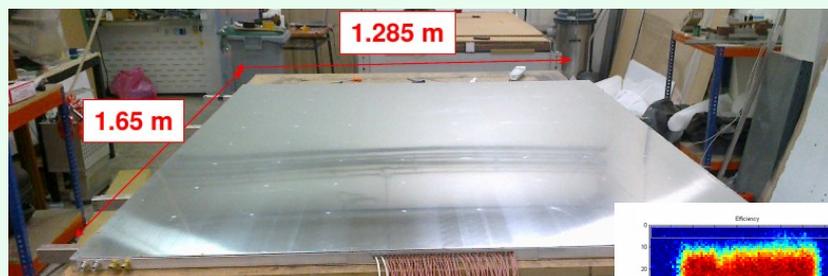
## Detetores RPC.

## Deteção de raios cósmicos (RC): experimento AUGER.

**Alta eficiência, relação custo/área ótima, segmentação, robustez.**

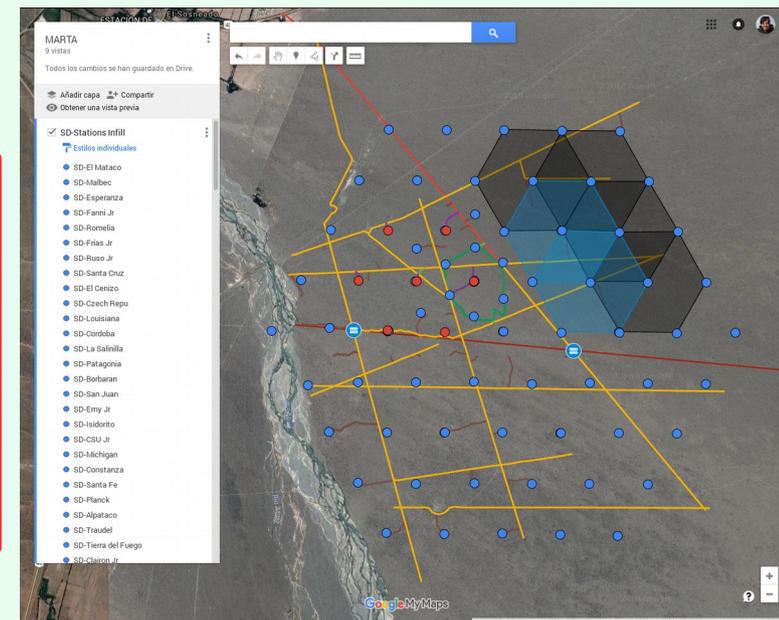
@ ARGENTINA

Estudo dos RC de alta energia medindo as cascatas de secundários produzidas na atmosfera.



- Baixa manutenção
- Operação isolada
- Baixo custo
- Resistente
- Nunca antes feito!!!

**Pode-se ver estes detetores na cave**



# Estágios de verão



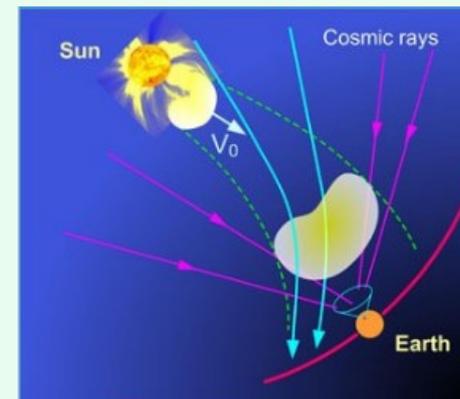
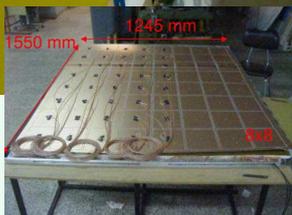
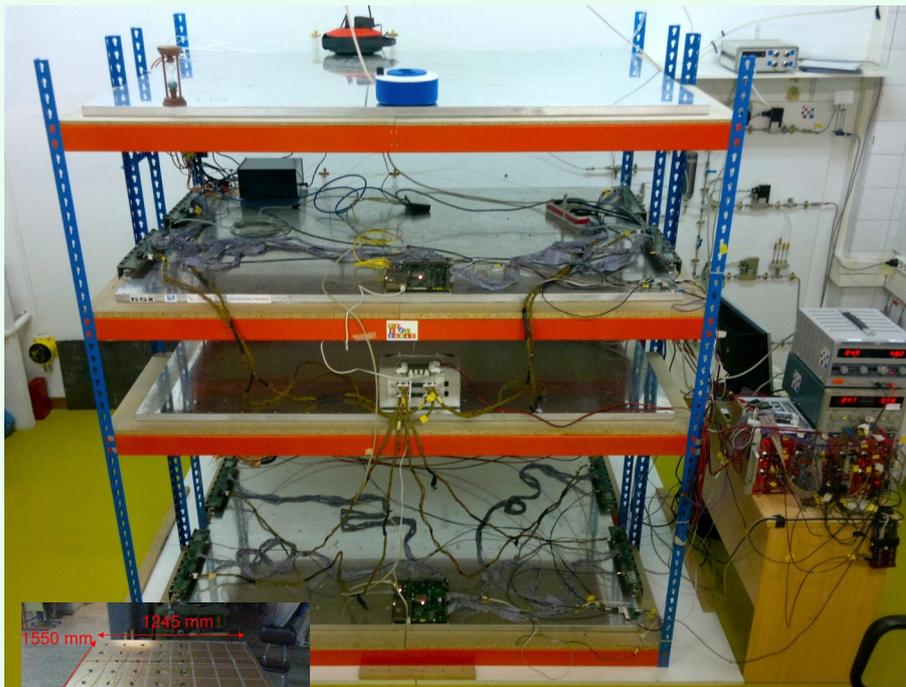
Detetores RPC.

Deteção de raios cósmicos (RC): experimento TRAGALDABAS

Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução temporal

@ ESPANHA

Telescópio de RC: medir com precisão o **fluxo de raios cósmicos** para estudos relacionados com a **atividade solar**.



Alta sensibilidade ao fluxo de raios cósmicos modulado pela atividade solar

# Estágios de verão

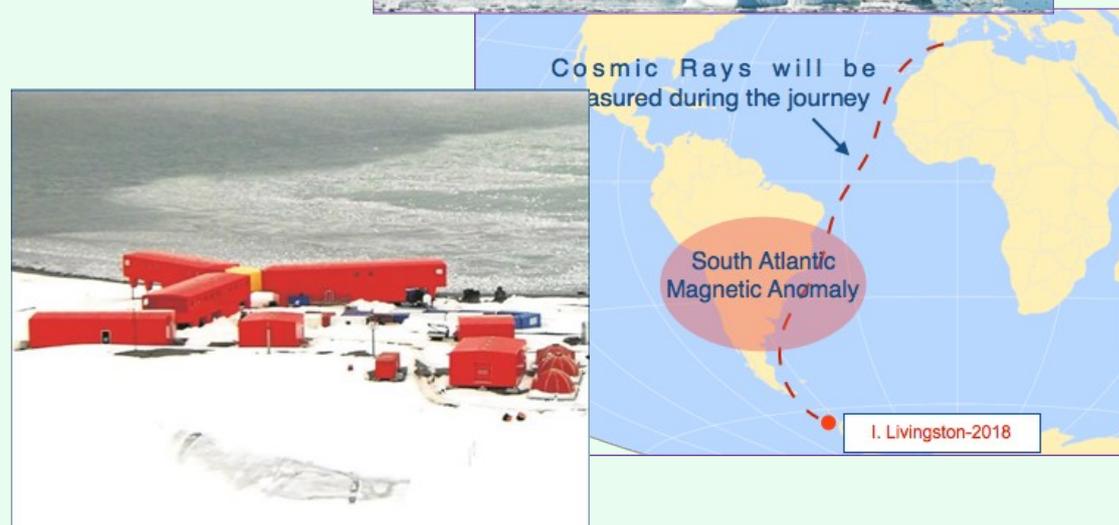
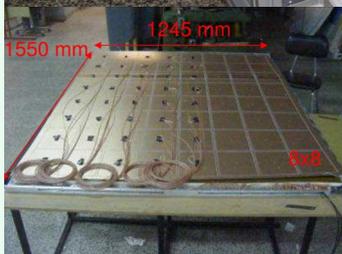


## Detetores RPC.

## Deteção de raios cósmicos (RC): experimento TRISTAN.

**Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução temporal**

Telescópio de RC: medir com precisão o **fluxo de raios cósmicos** para estudos relacionados com a **atividade solar a longo da mesma longitude e no Polo Sul**



**Pode-se ver estes detetores na cave**

# Estágios de verão



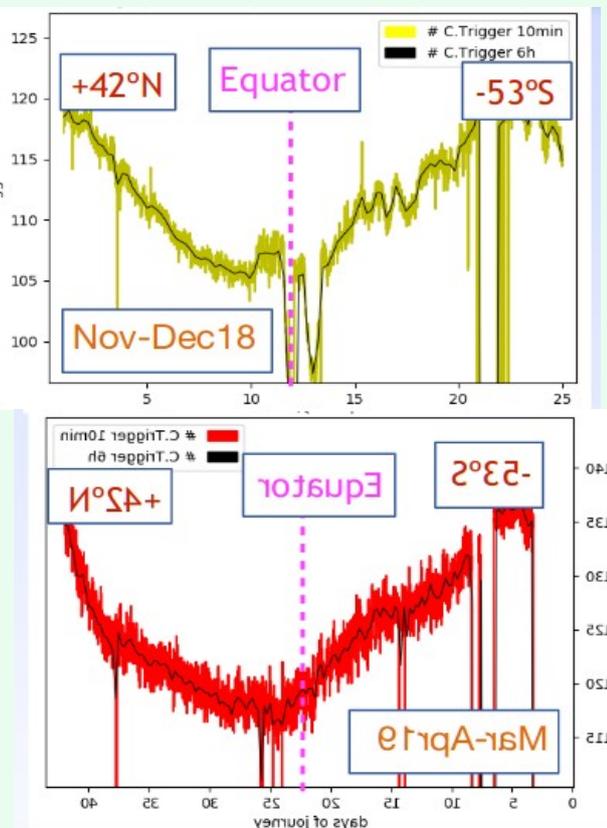
Detetores RPC.

Deteção de raios cósmicos (RC): experimento TRISTAN.



Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução temporal

Telescópio de RC: medir com precisão o **fluxo de raios cósmicos** para estudos relacionados com a **atividade solar a longo da mesma longitude e no Polo Sul**



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Observatório de Raios Cósmicos Antártico

### TRISTAN e ORCA (Observatório de Raios Cósmicos Antártico)

**TRISTAN** é um detetor de partículas, que faz parte de **ORCA (Observatório de Raios Cósmicos Antártico)**, com a missão de medir o fluxo de raios cósmicos ao longo de um meridiano e de forma permanente na Base Espanhola Juan Carlos I. / **TRISTAN** is a particle detector, part of **ORCA (Antarctic Cosmic Ray Observatory)**, with the aim of measuring the Cosmic Ray flux along a meridian and permanently in the Spanish base Juan Carlos I.

Perfil da rigidez magnética (fluxo Raios Cósmicos) ao longo de um meridiano / Magnetic rigidity profile (Cosmic Ray flux) along a meridian.

Date	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Coincidences
2019-04-08	3781.4	6463.2	6833.3	133.6
2019-04-09 23:30	2425.4	4269.5	4341.4	101.5

(RPC rates per plane and respective coincidences)

# Estágios de verão

## Detetores RPC.

## Medida simultânea da posição 2D e tempo.

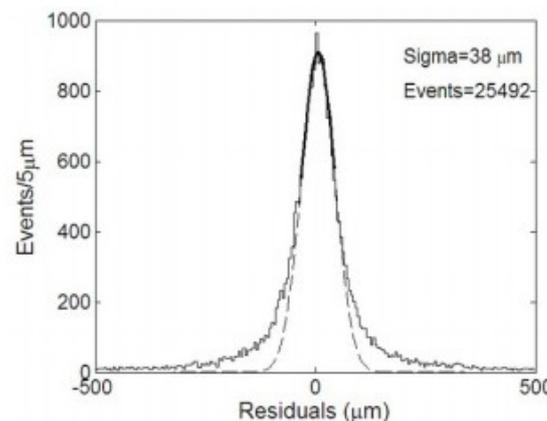
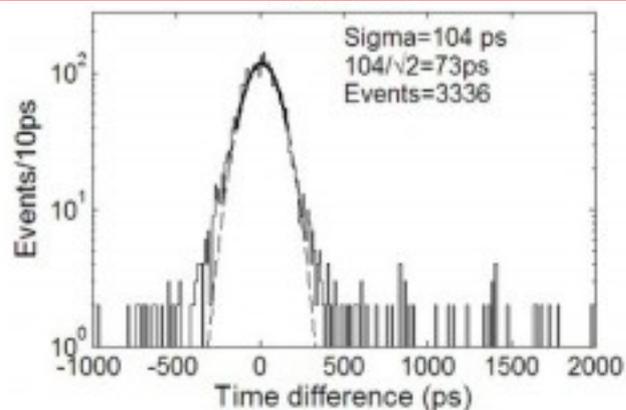
Desenvolver uma RPC capaz de medir **simultaneamente**  
**tempo ( $< 100$  ps)** e a **posição 2D ( $< 1$  mm)**.

### Aplicações:

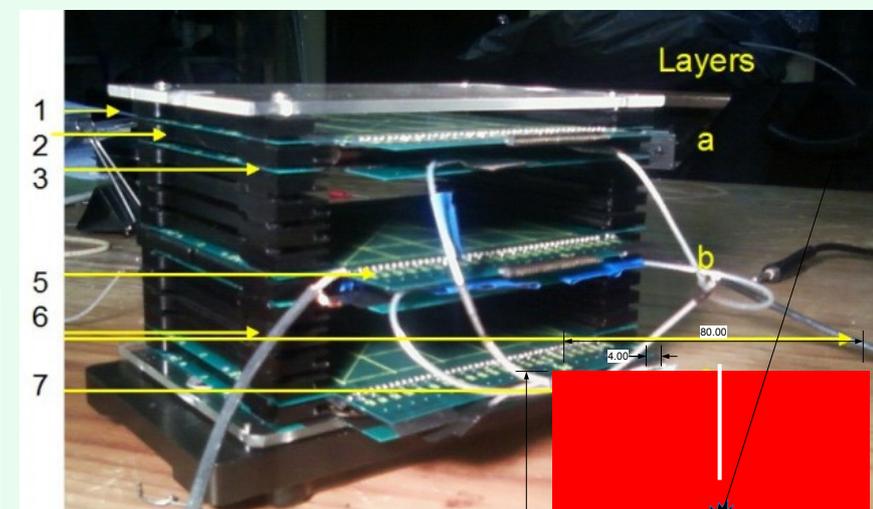
- Identificação de partículas em Experimentos de Física de altas energias. => medição do simultânea do momento e velocidade
- Tomografia de muoes.
- PET

**Nunca antes feito !!!**

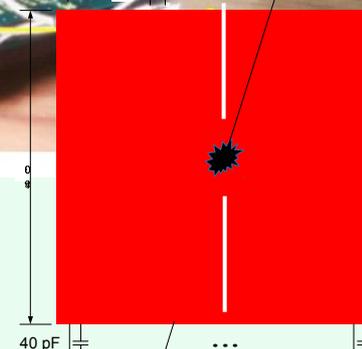
**Resolução tempo  $\sim 77$  ps  $\sigma$ , posição  $\sim 38$   $\mu\text{m}$   $\sigma$**



80 x 80 mm<sup>2</sup>



Strips  $< 1$  mm



# Estágios de verão

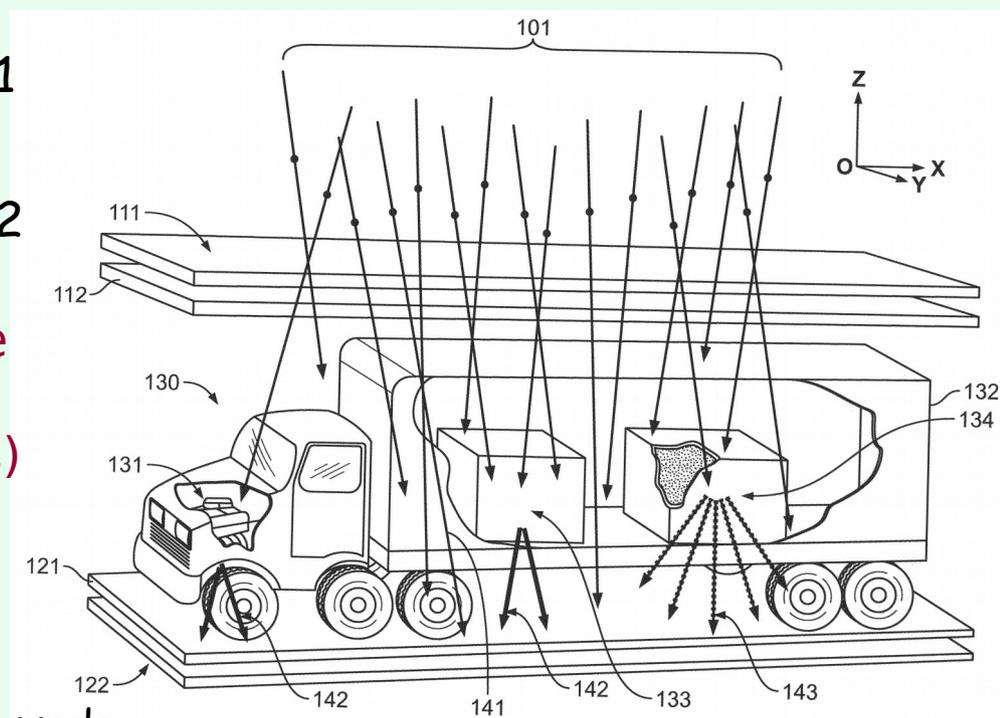
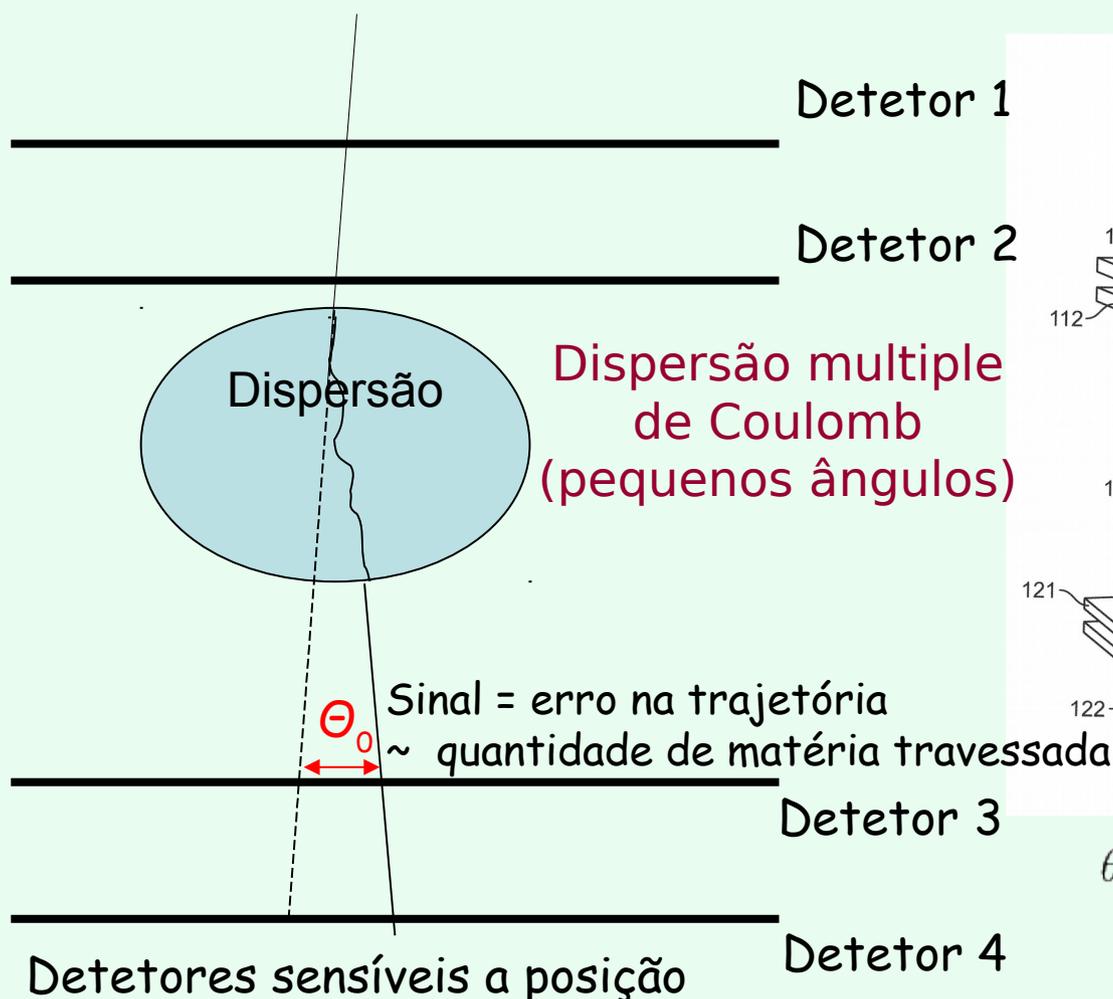


Detetores RPC.

Tomografia de muões.

Aplicar o conceito em **áreas maiores => tomografia muónica de grandes objetos.**

**Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.**



$\theta_0 = \frac{14.1 \text{ MeV}}{\rho \beta} \sqrt{\frac{l}{X_0}}$

p: momento  
 $\beta$ : velocidade  
 $X_0$ : comprimento rad  
 l: espessura materia

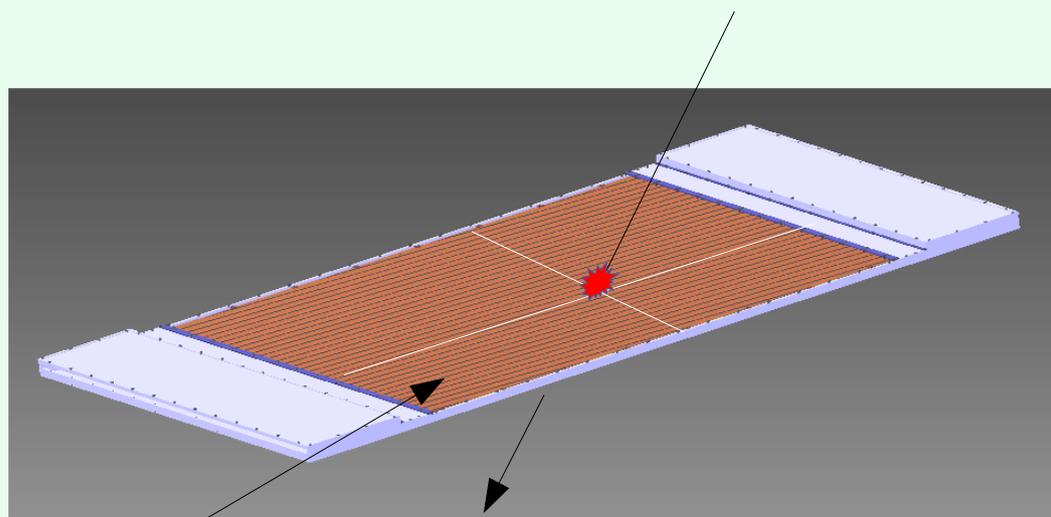
# Estágios de verão

Detetores RPC.

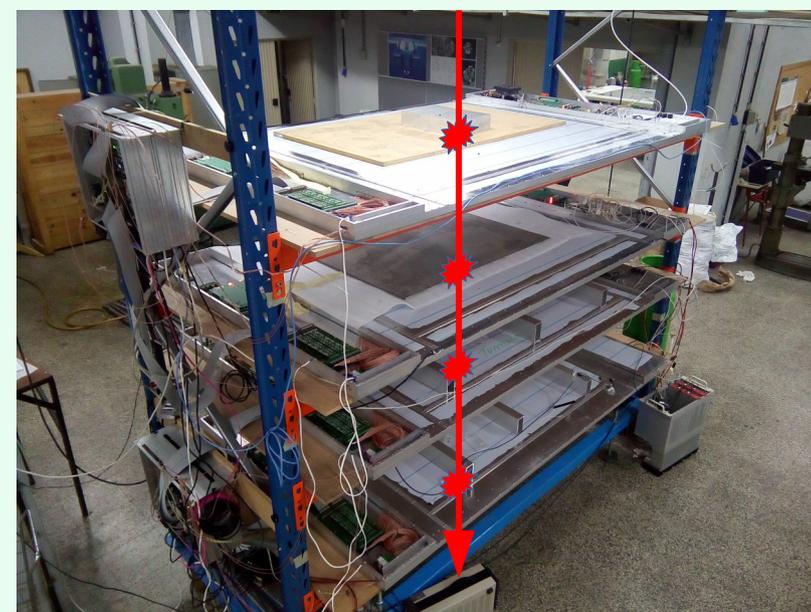
Tomografia de muões.

Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução espacial e temporal

Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.



- Leitura em 2D strips, 2 mm
- Resolução posição  $\sim 2-3 \text{ mm } \sigma$
- Resolução tempo  $\sim 150 \text{ ps } \sigma$
- Área  $\sim 2 \text{ m}^2$



Telescópio de 4 planos

# Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

Detetores RPC.

Tomografia de muões.

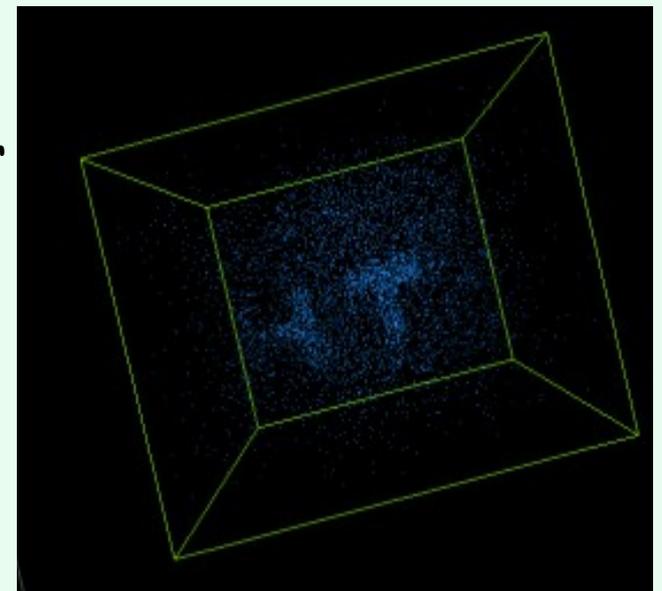
**Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.**



Estação 1, 2x RPC



Contentor carga



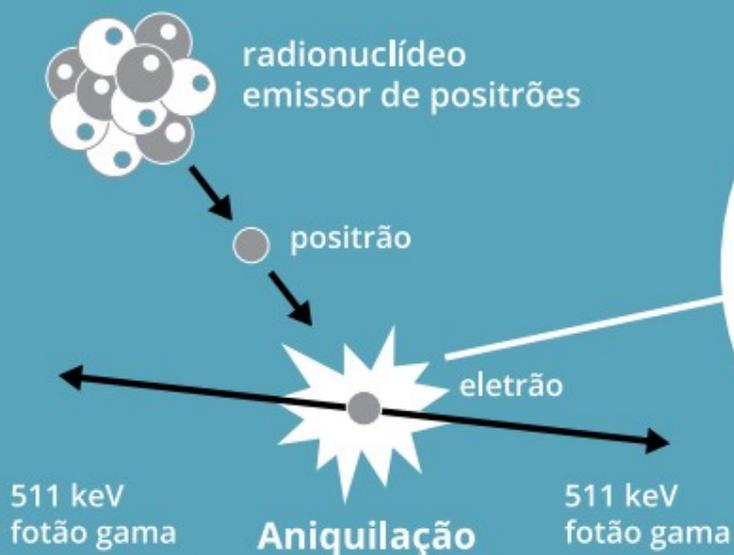
Estação 2, 2x RPC

# Estágios de verão

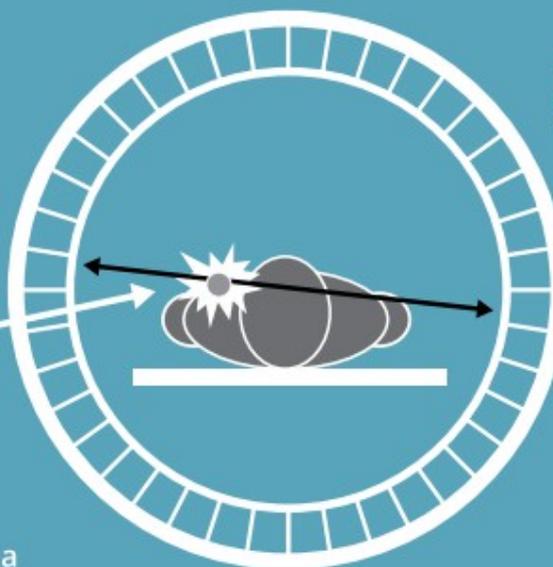
Detetores RPC.

Positron Emission Tomography. PET

Emissão de positrões  
e aniquilação positrão-eletrão



Scanner de PET



Detetor  
de fótons gama

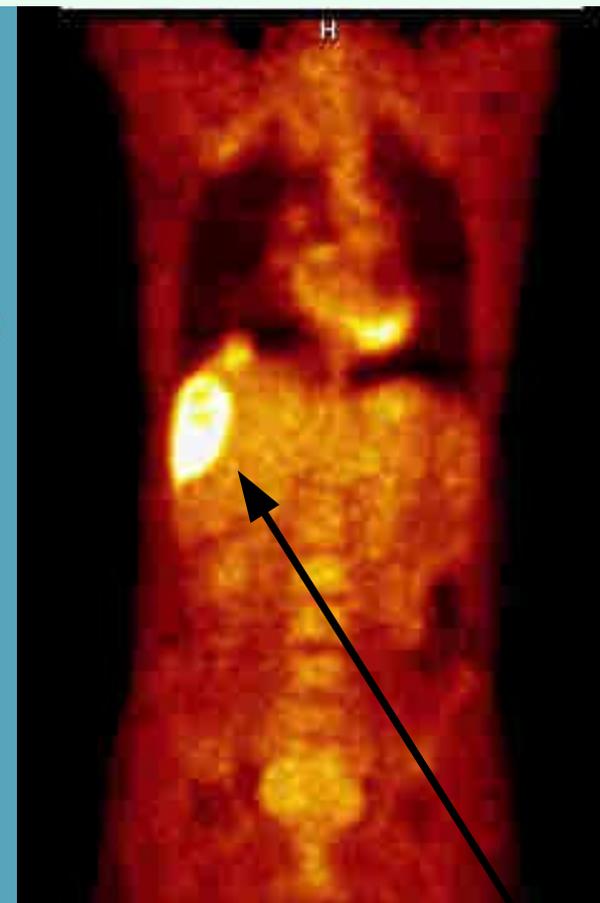


Imagem PET abdominal revelando um  
tumor no fígado

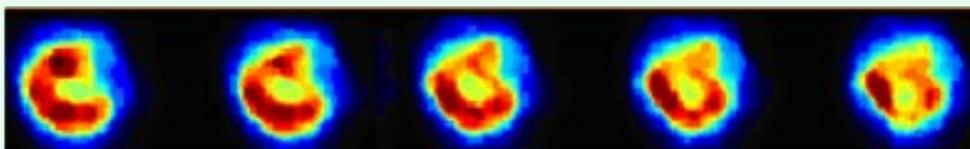
# Estágios de verão

Detetores RPC.

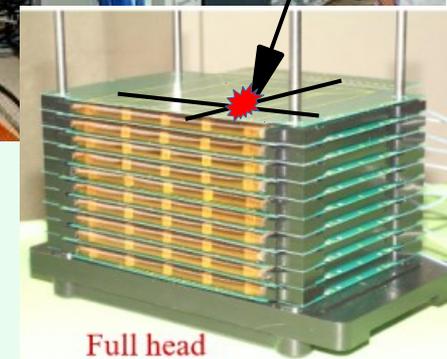
Positron Emission Tomography. PET

Relação custo/área ótima, alta resolução espacial e temporal

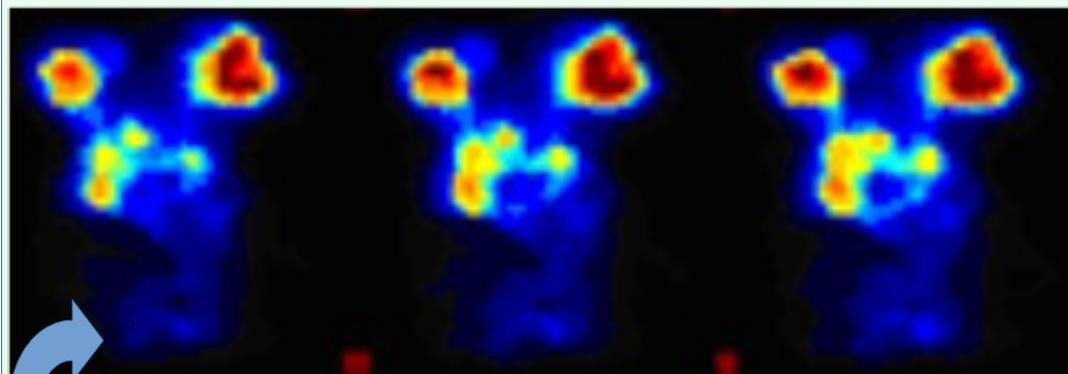
Scanner PET desenvolvido pelo LIP, no ICNAS, UC.



Coração de um rato. Aproximadamente 10 mm

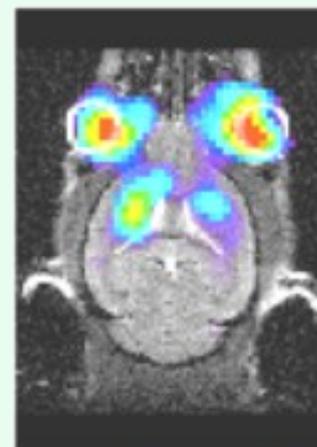


Full head



Cabeça de um rato

**0,170 mm  $\sigma$  resolução posição  
Nunca antes feito !!!**



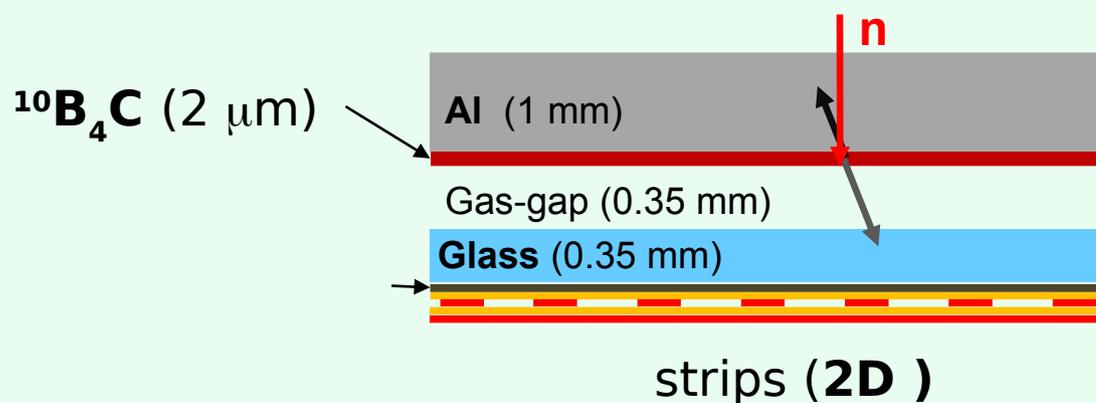
Juntamente com imagem estrutural

# Estágios de verão



Detetores RPC.

Detetores de neutrões baseados em  $^{10}\text{B}$



Pode vir a **substituir** uma tecnologia estabelecida  $^3\text{He}$  mas inviável devido ao custo.

# Estágios de verão



Detetores RPC.

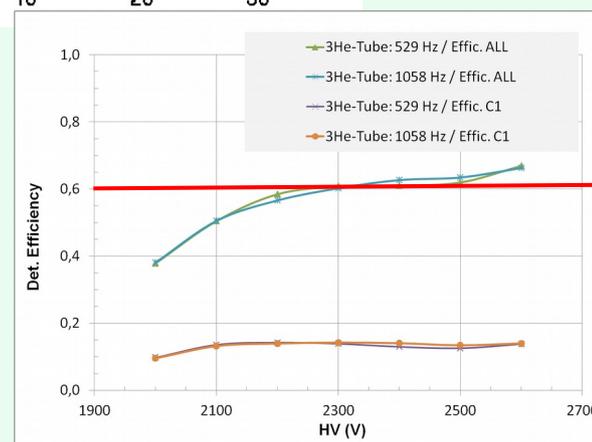
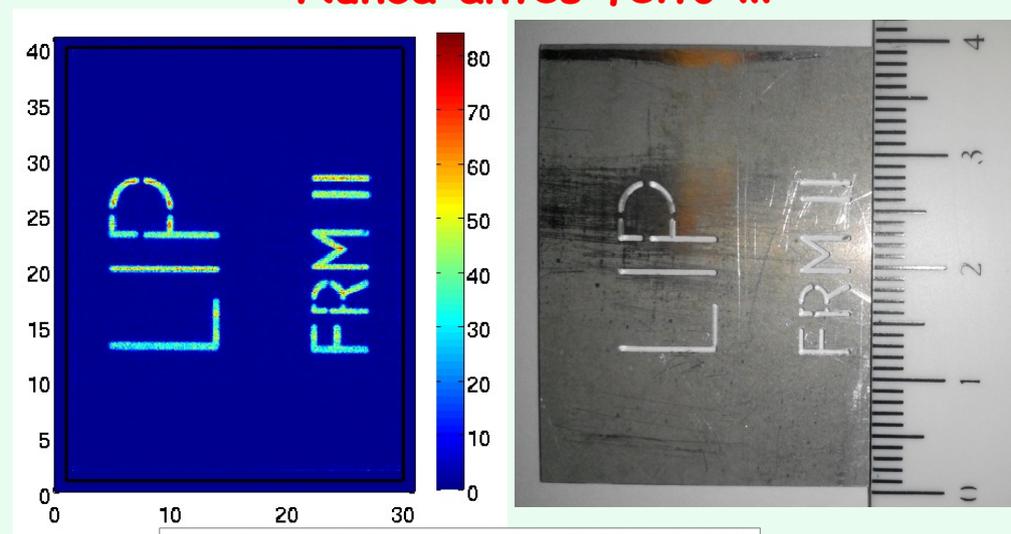
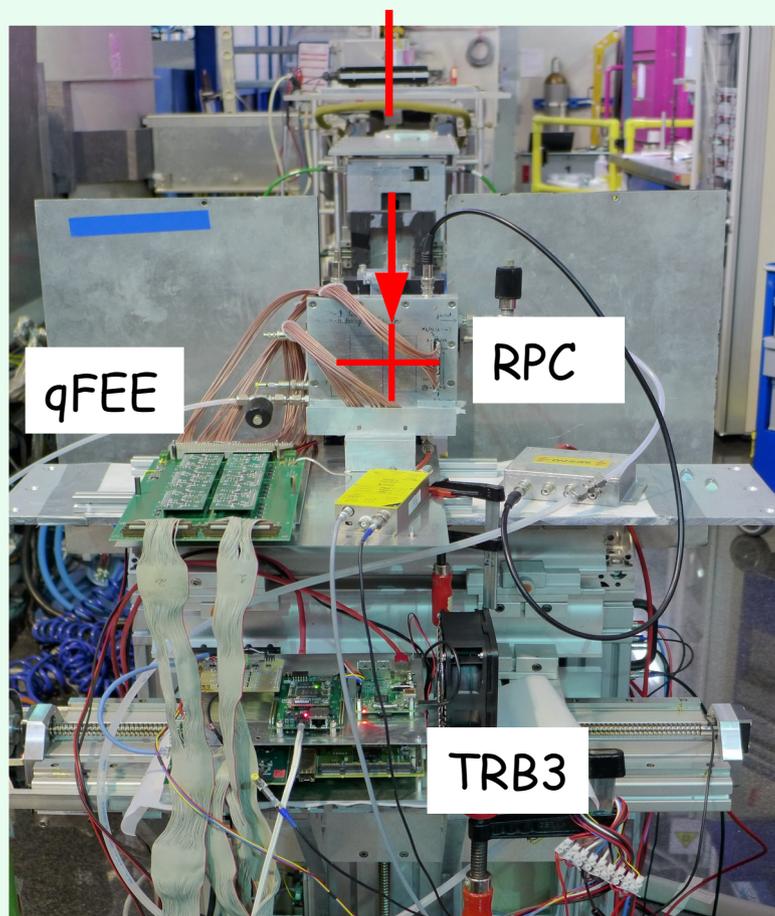
Detetores de neutrões baseados em  $^{10}\text{B}$

Relação custo/área ótima, alta resolução espacial e eficiência

0.100 mm  $\sigma$  resolução posição

Nunca antes feito !!!

neutrão



60%  
Eficiência de detecção