

Uma Leitura com Fotomultiplicadoras Multi-Anodos para se Atingir uma Granularidade Mais Fina com o Principal Calorímetro Hadrônico do ATLAS

P. Gaspar, C. Nunes, J. M. Seixas

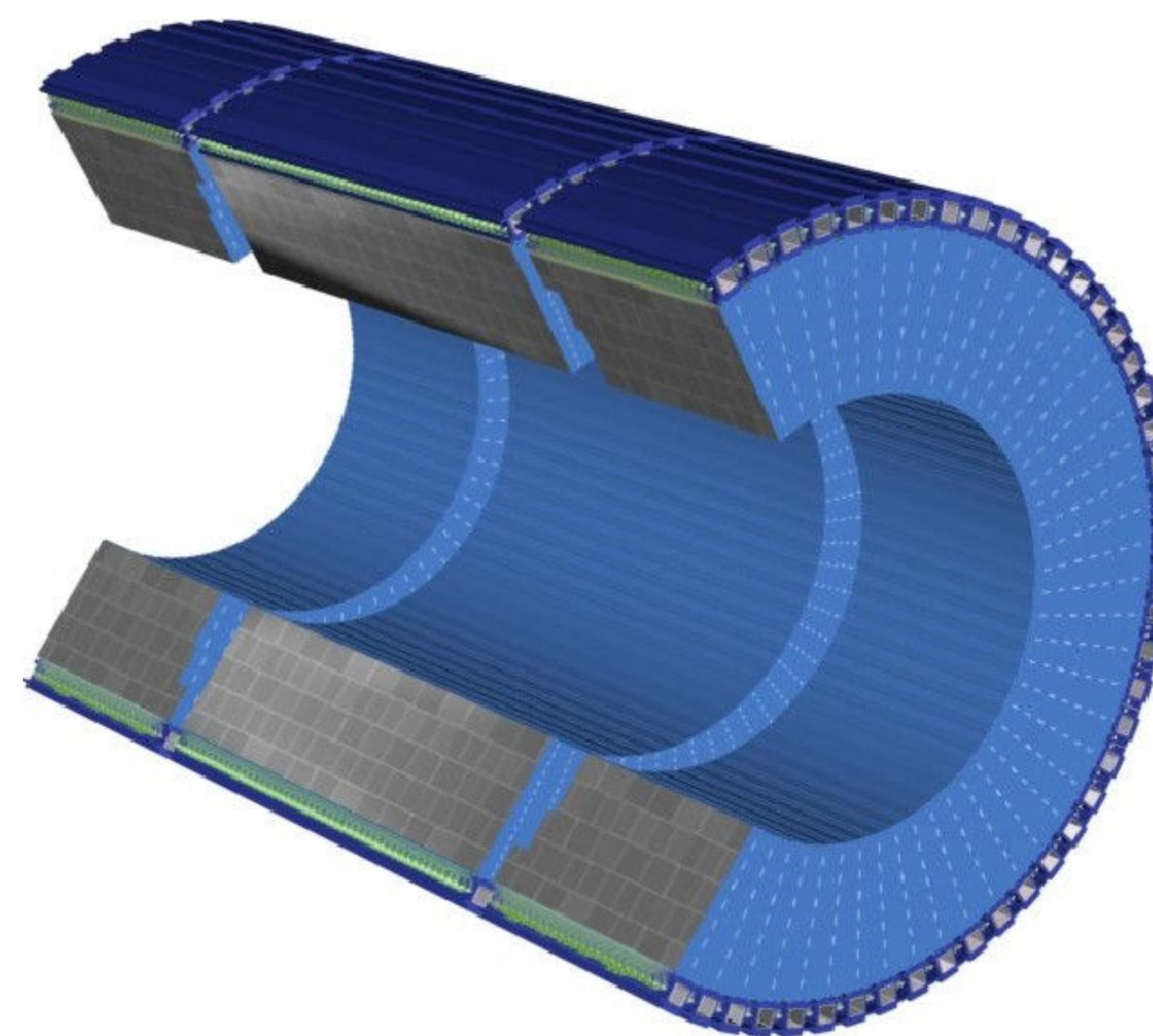
Workshop RENAFAE 2018



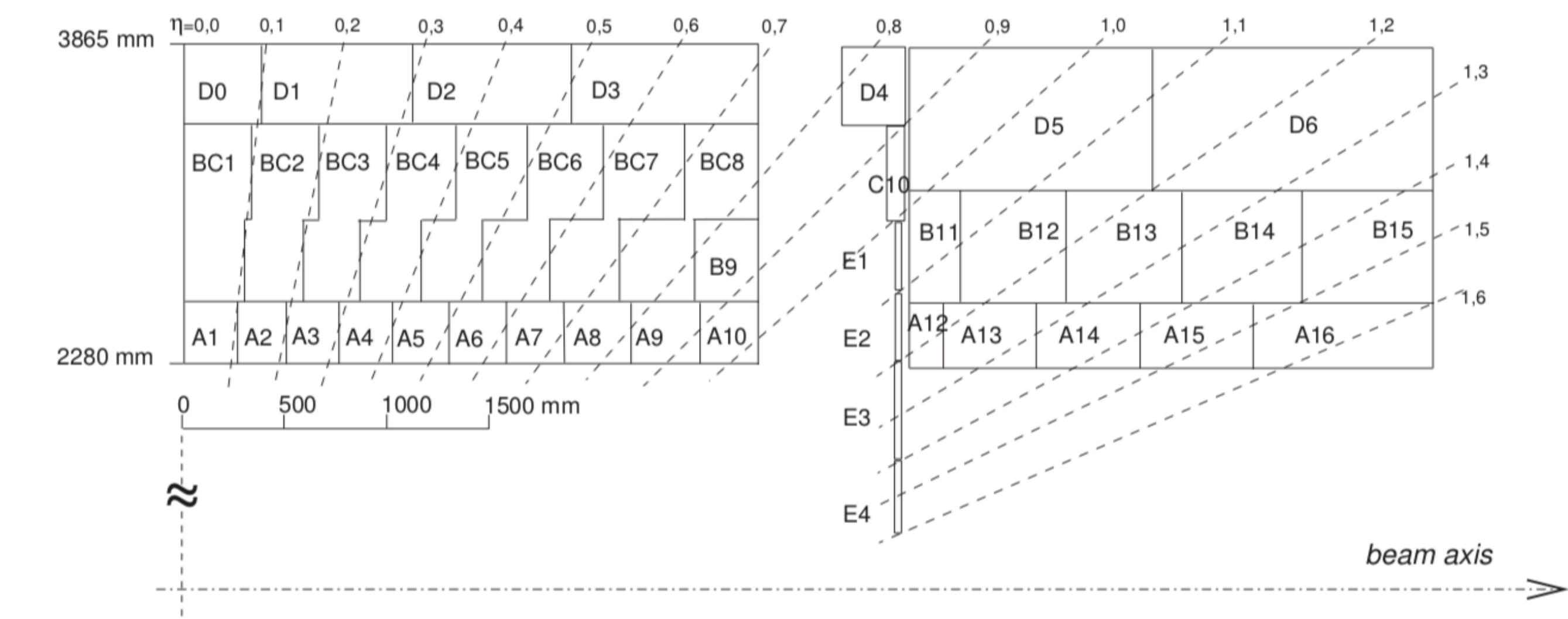
Introdução

- O **Calorímetro de Telhas** (TileCal) é o principal calorímetro hadrônico do ATLAS.
- Composto por três camadas longitudinais.
- Suas telhas cintiladoras são agrupadas formando as células do calorímetro (A, BC, D) e, consequentemente, sua **segmentação fixa** em regiões de pseudo-rapidez.

Módulos do Calorímetro



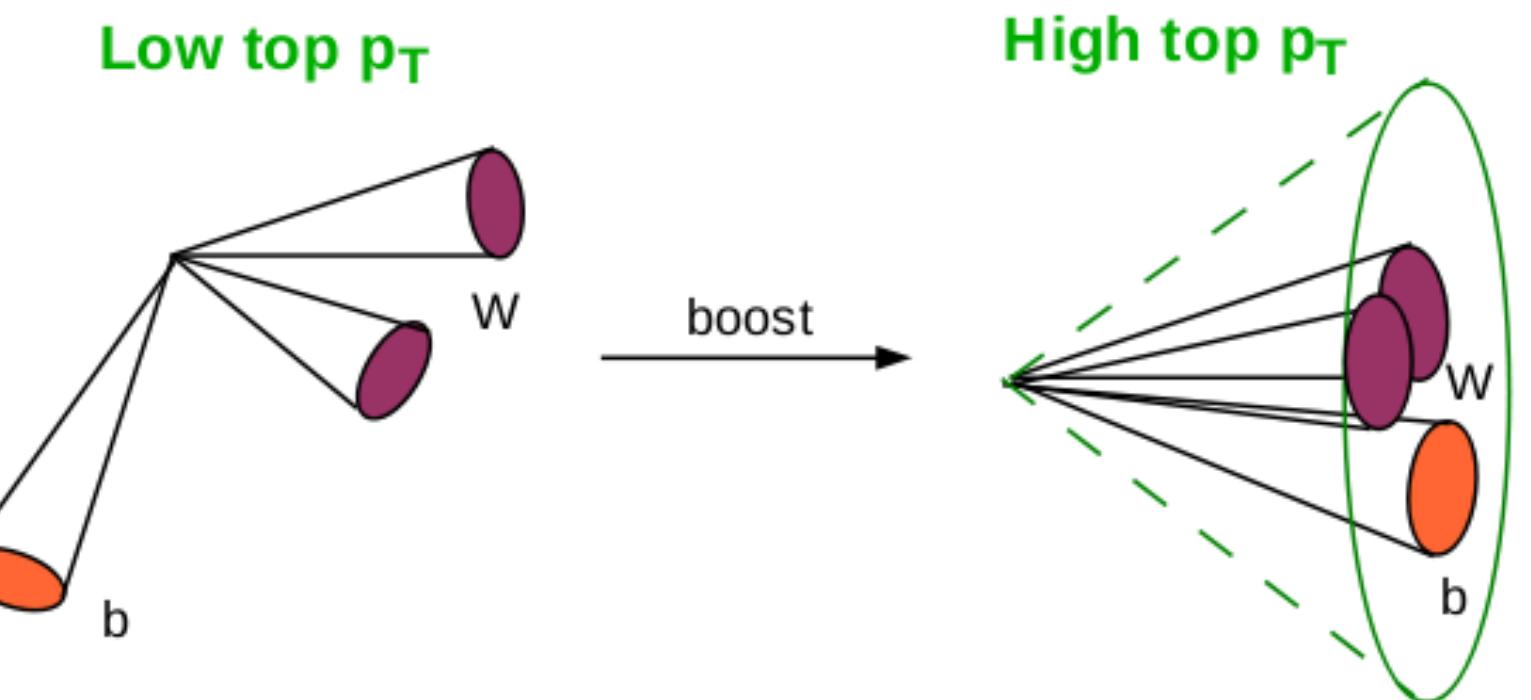
Segmentação em Pseudo-Rapidez



Motivação

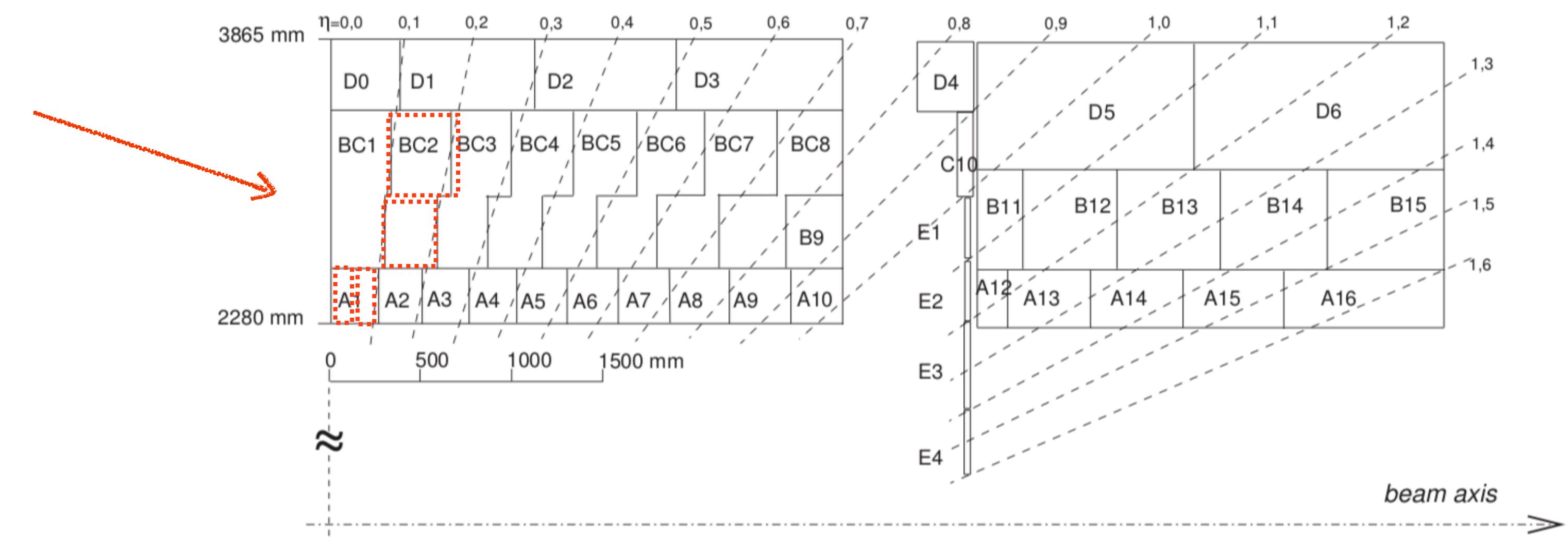
- Jatos são depositados em camadas mais profundas do calorímetro durante o regime de **alta luminosidade** do LHC.
- Jatos mais próximos uns dos outros (*boosted jets*).

Boosted Jets



Nova Granularidade

- Melhorias na reconstrução de momento, massa e momento angular dos jatos.



Fotomultiplicadora Multi Anodal

- Há uma possibilidade técnica de utilizar **informação individual** de cada telha para tornar mais fina a granularidade do calorímetro.
- A nova granularidade pode ser adquirida lendo-se os sinais luminosos de cada fibra usando uma **Fotomultiplicadora Multi Anodal**.
- O desafio do projeto é desenvolver um algoritmo capaz de associar a resposta de cada telha/fibra à um *pixel* da nova fotomultiplicadora.

MA-PMT

- Hammamatsu 64-MA-PMT
- Pixel Grid: 8x8
- Pixel: 2.35mm x 2.35mm



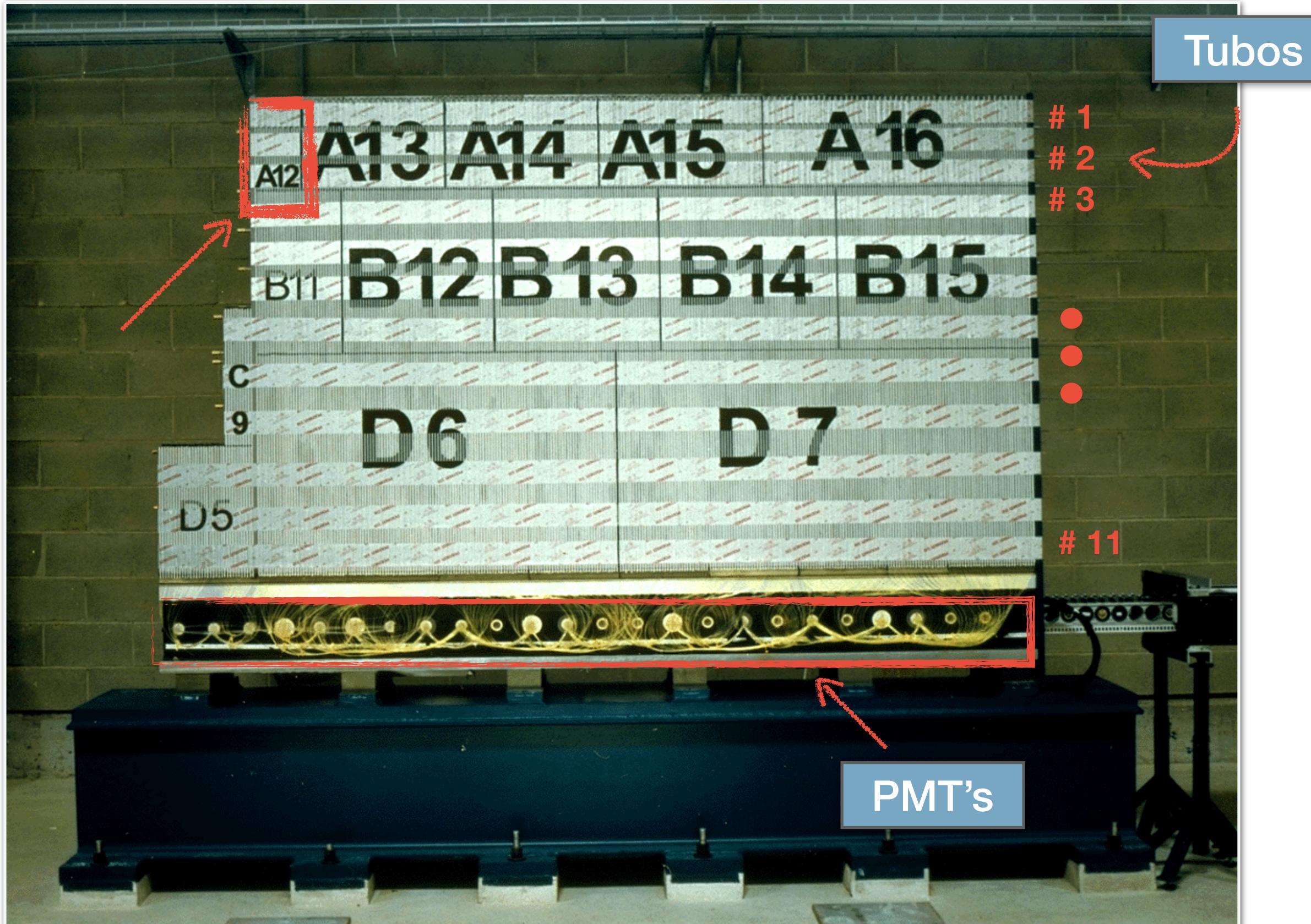
Bundle de Fibras

- Diametro das fibras: 1.00 mm



Dados da Análise - Scans de Césio

Barril Estendido

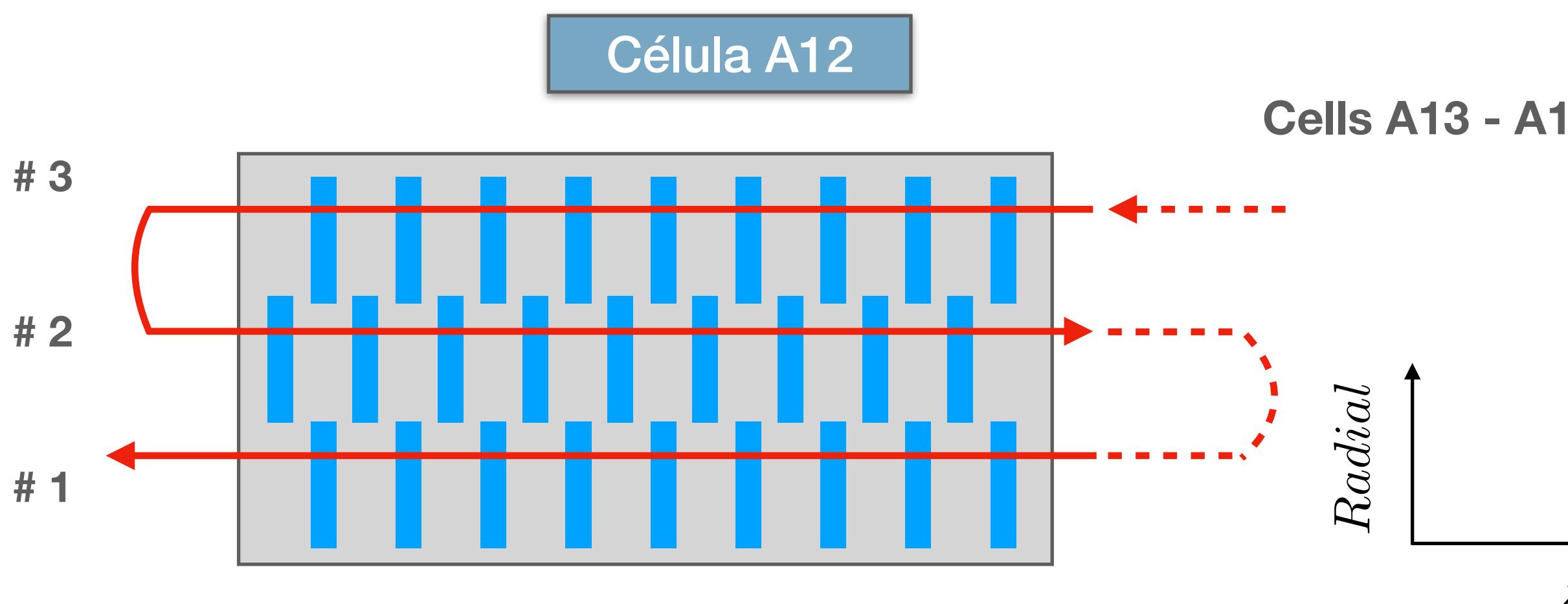


- Durante a calibração do detector, uma fonte de **Cs137** atravessa os módulos para verificar a qualidade e uniformidade da resposta de cada telha do calorímetro.
- Para este trabalho utilizamos dados da célula **A12** presente no barril estendido do TileCal.

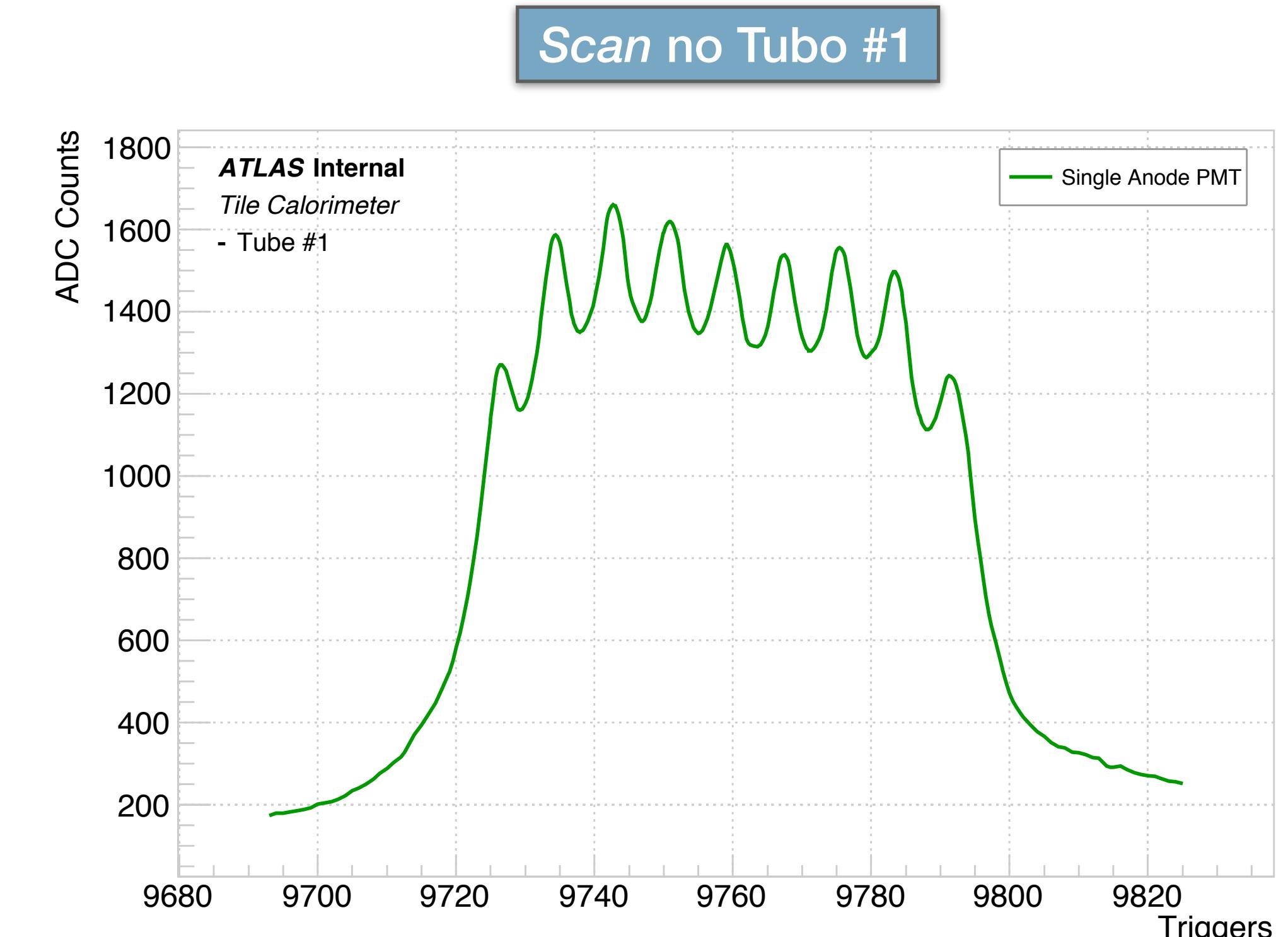
Cápsula de Cs137



Dados da Análise - Scans de Césio



- O scan com uma fonte de Cs funciona como um raio x da célula.
- A célula A12 possui **9 telhas** em cada uma de suas 3 fileiras.
- A passagem de Cs, por uma das fileiras mostra, **9 picos** em seu sinal temporal.
- Sinais temporais dos tubos ímpares devem ser invertidos, assim a escala temporal do scan será igual à escala física da célula.

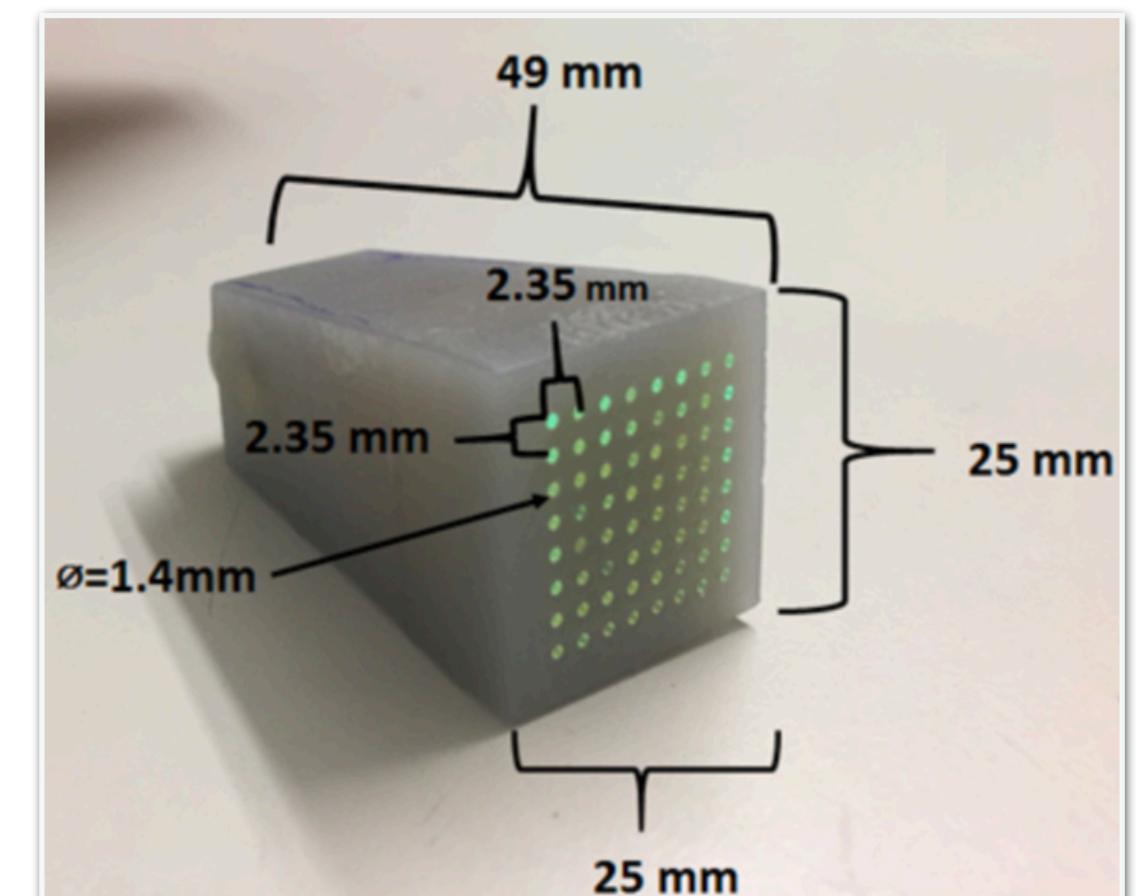
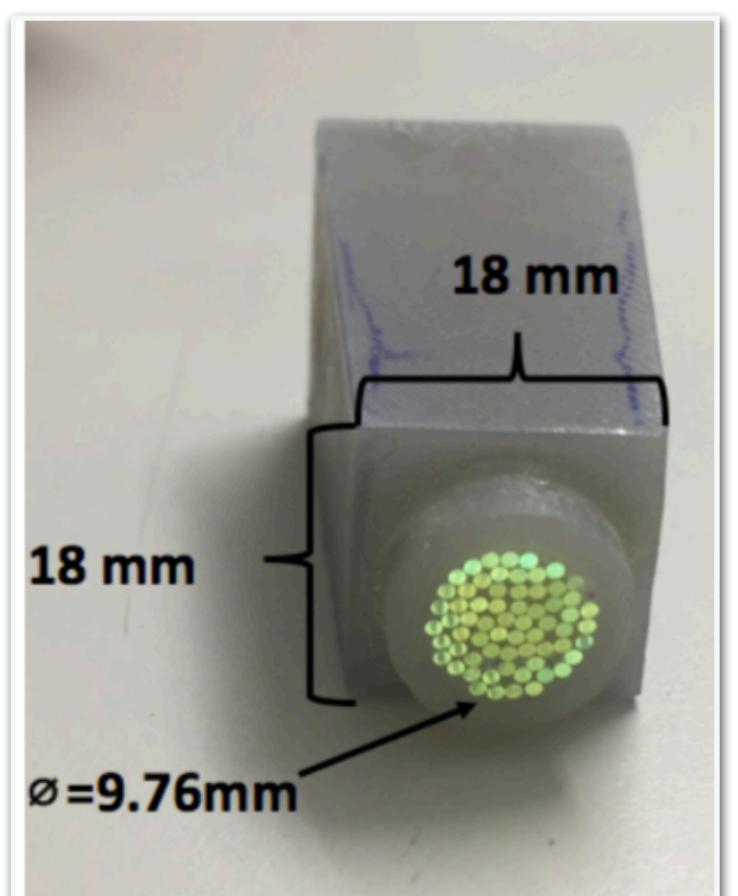
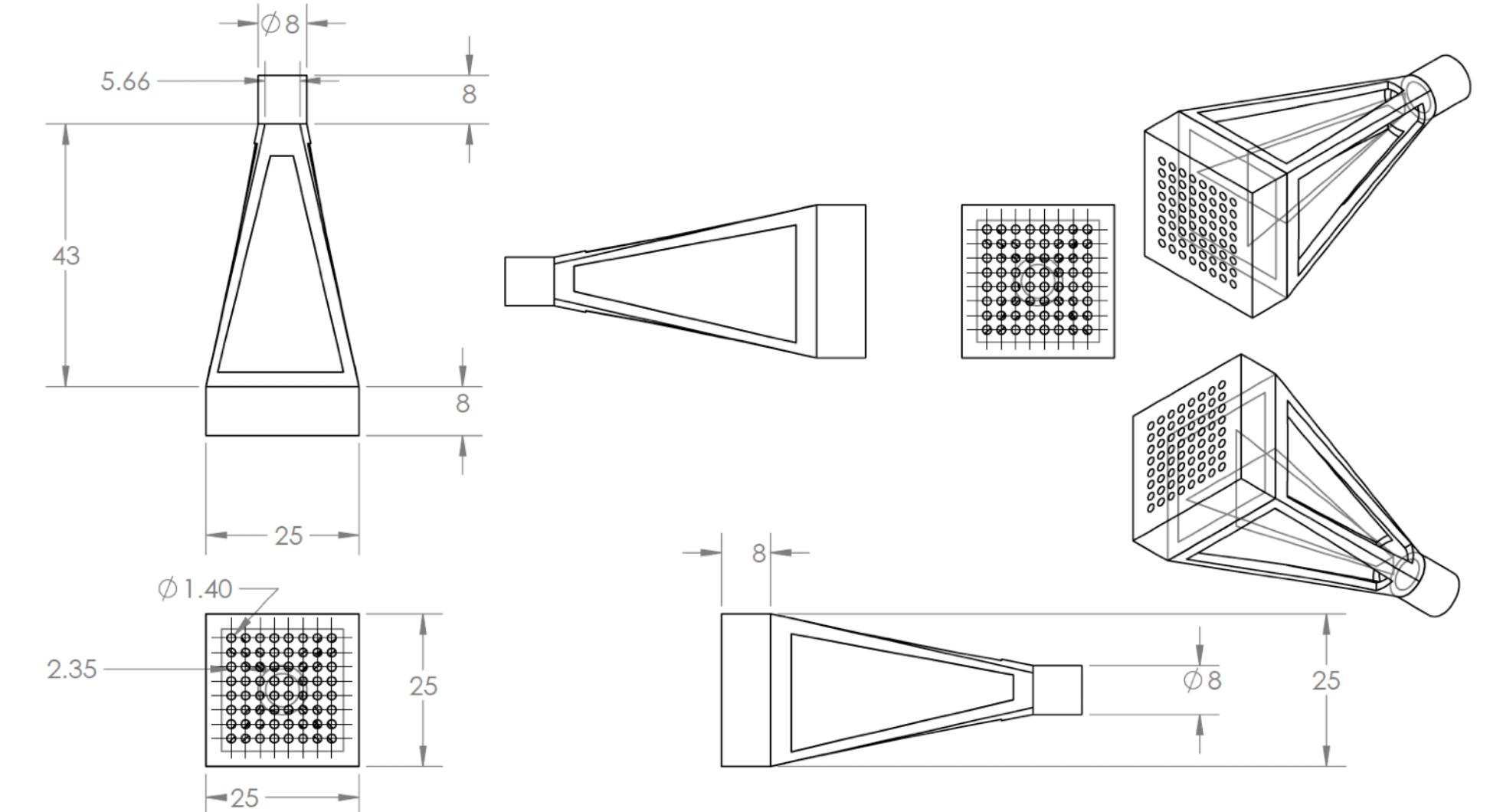


Guia de Luz 3D

Acoplamento entre Fibras e Fotomultiplicadora

- Utilizado para resolver o problema da luz ficar concentrada em uma região única da MA-PMT.
- O Guia de Luz é inserido entre o aglomerado de fibras e a MA-PMT.
- Foi construído em uma impressora 3D [1].
- Após a impressão, as fibras foram inseridas na grid 8x8.

Guia de Luz 3D



[1]: Proposto e impresso por Anthony Bisulco.

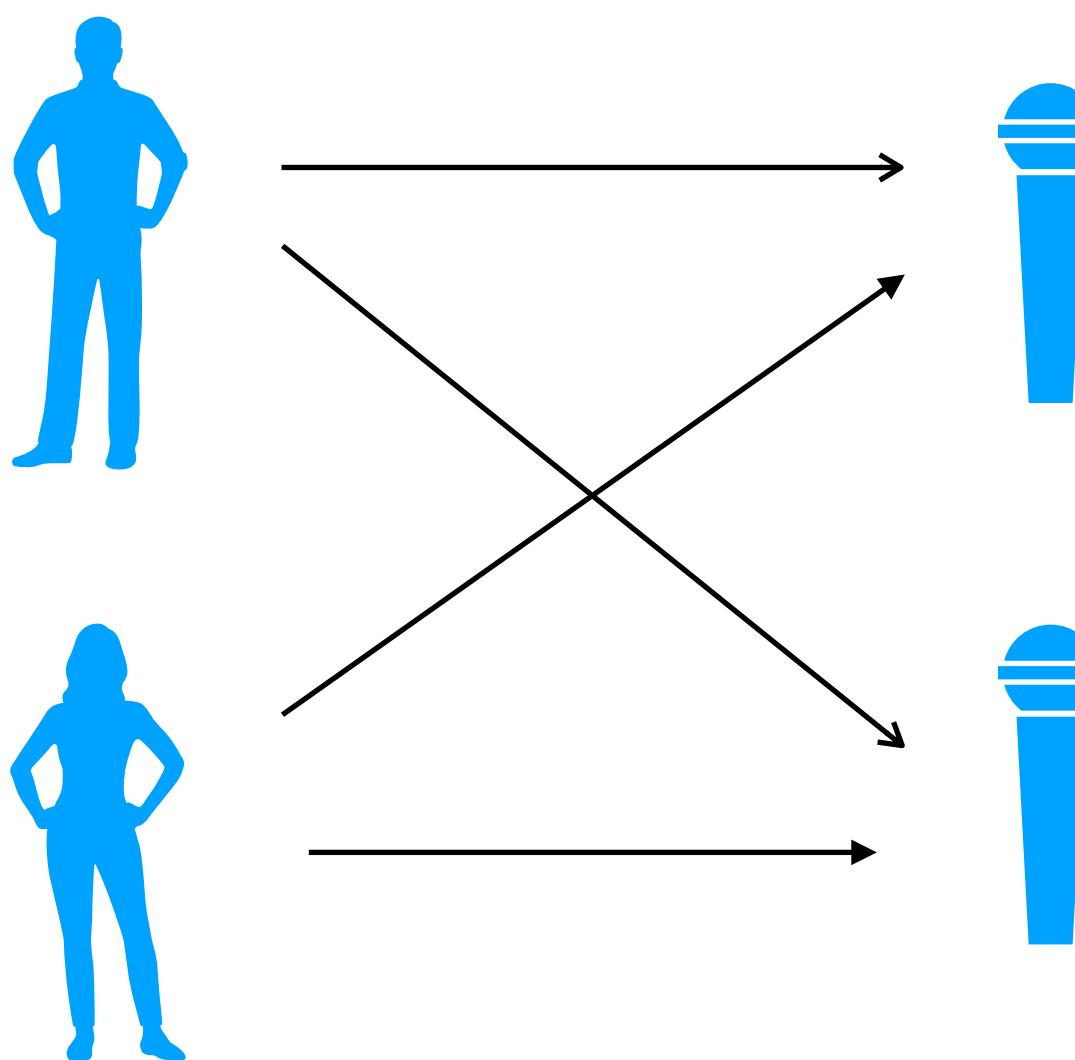
Análise de Componentes Independentes

- Estimar os sinais originais a partir de misturas lineares.
- Assume-se que as fontes são **estatisticamente independentes**.

$$\begin{pmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} s_1(t) \\ \vdots \\ s_n(t) \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{As}$$

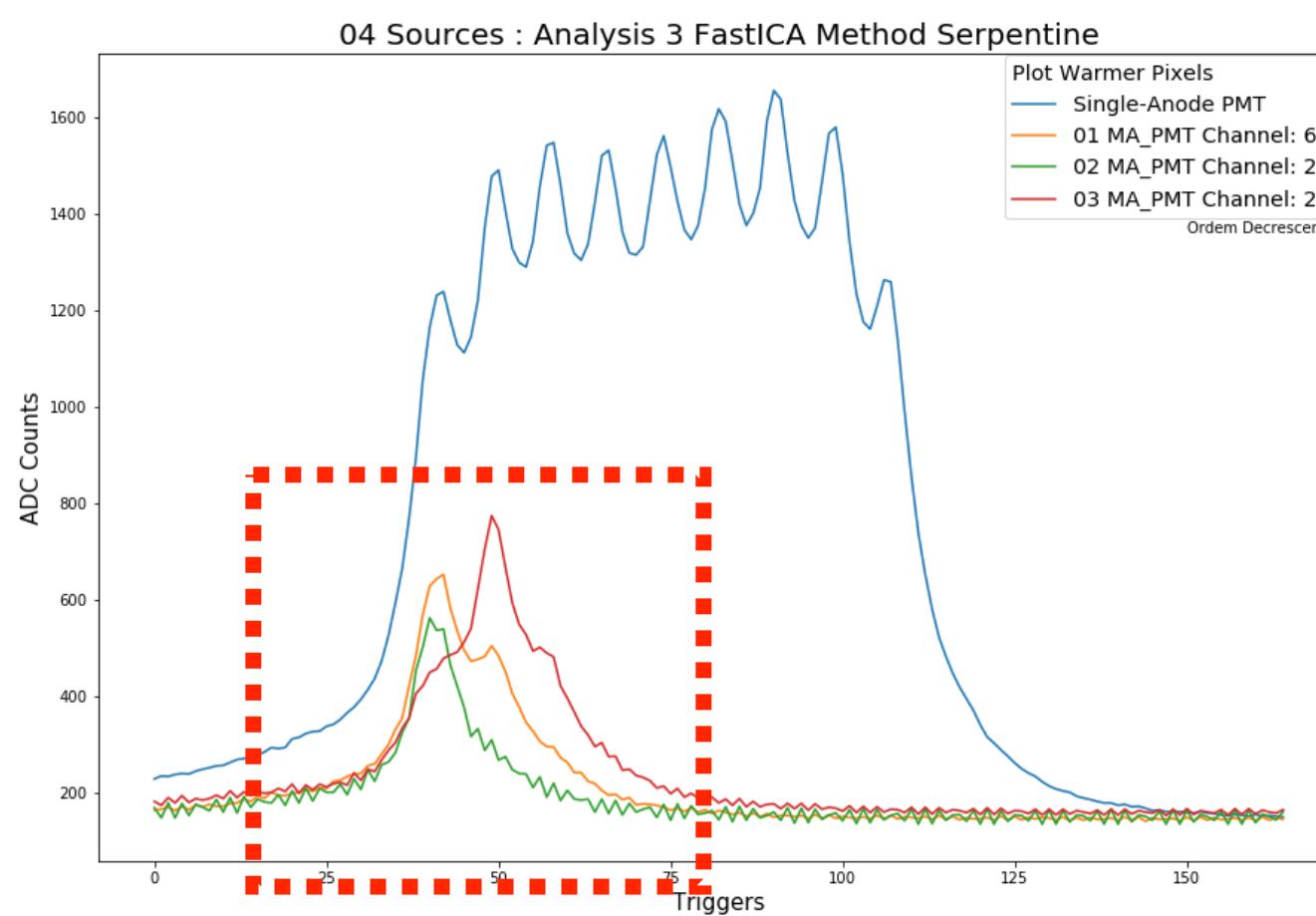
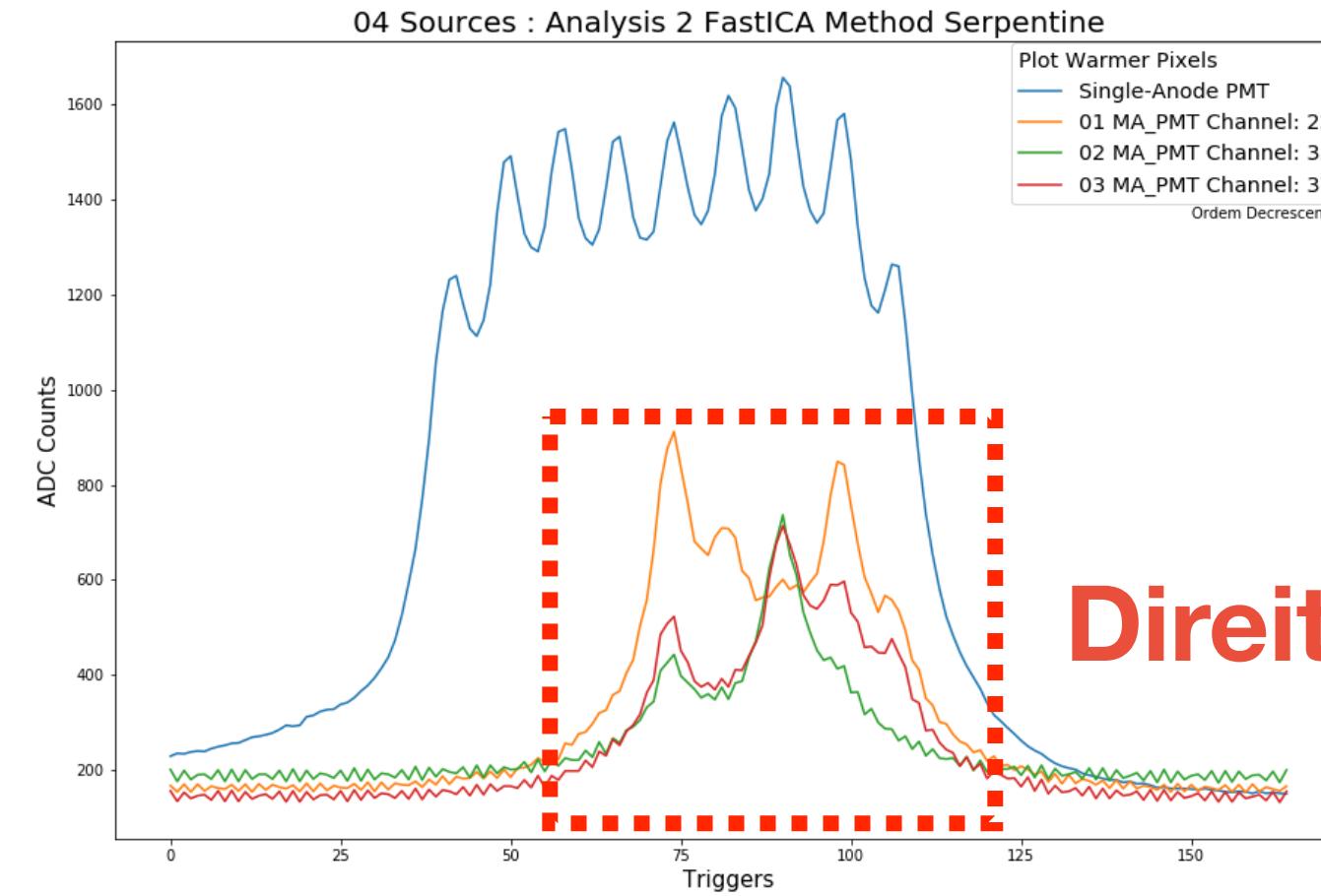
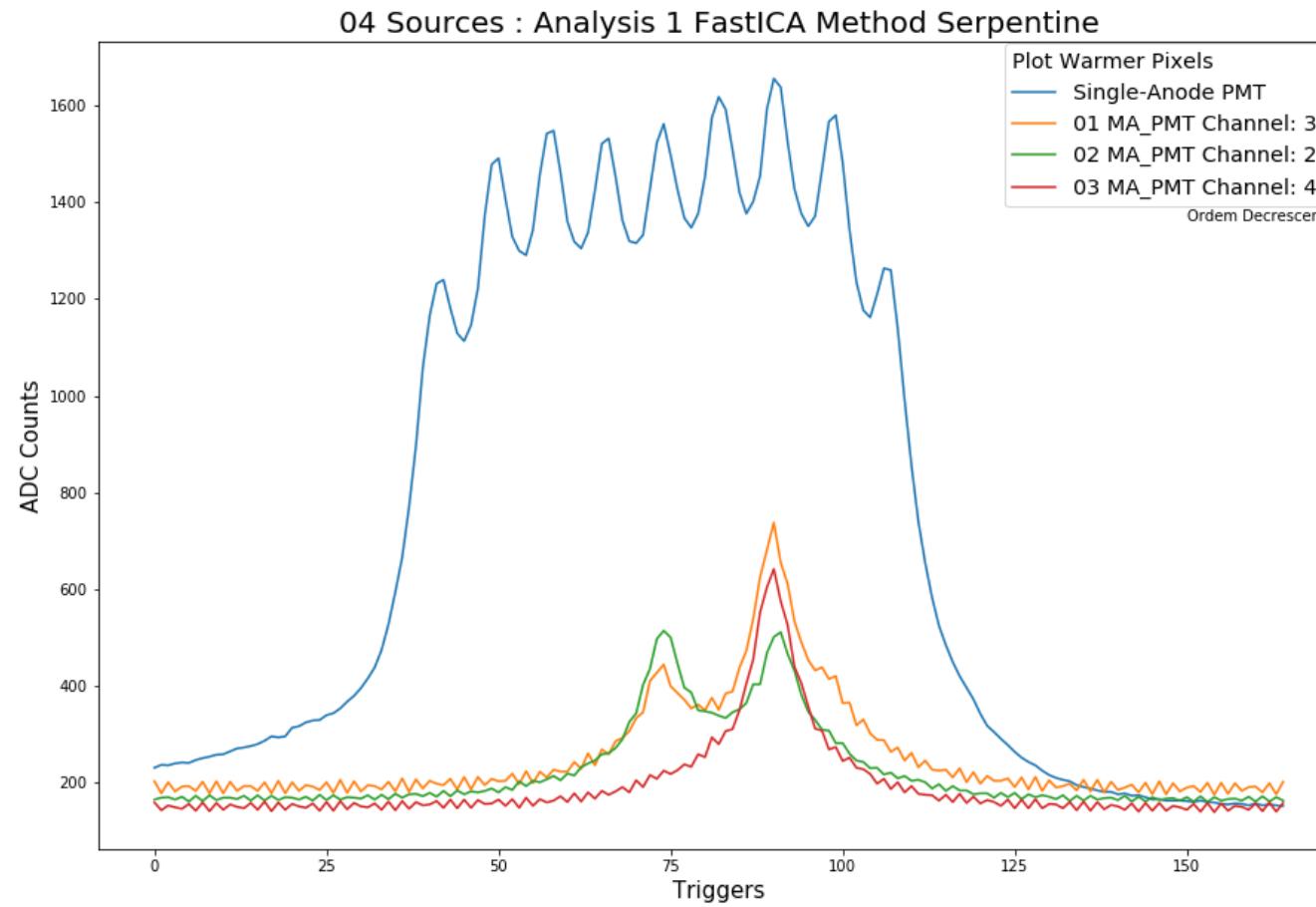
Cocktail Party Problem



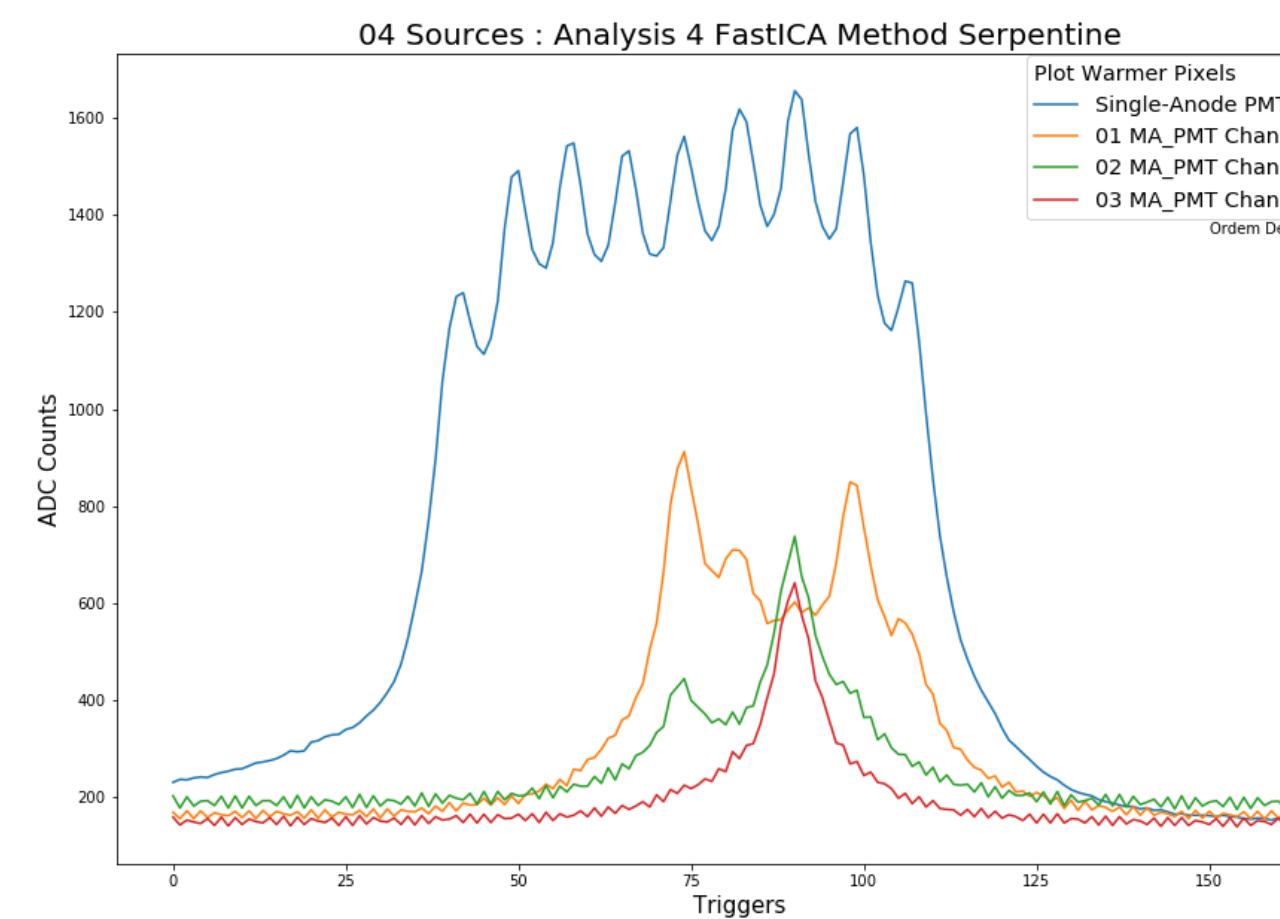
- ICA busca uma **aproximação das fontes** utilizando apenas os sinais observados.

$$\mathbf{y} = \mathbf{Wx}$$

Resultados



Esquerda

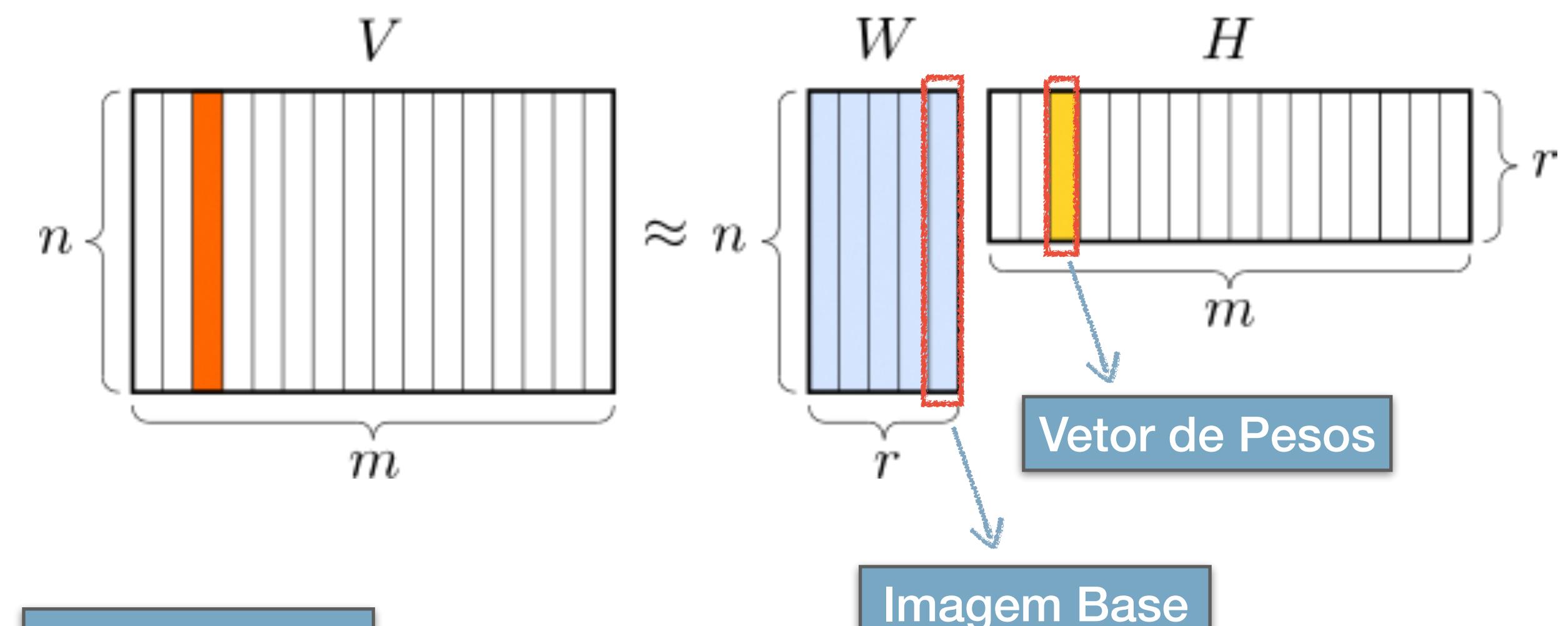


- Sinal temporal dos *pixels* mais quentes de cada fonte encontrada pela ICA.
- Há uma separação natural entre dois hemisférios dentro da célula.
- Partes **direita** e **esquerda** da célula.

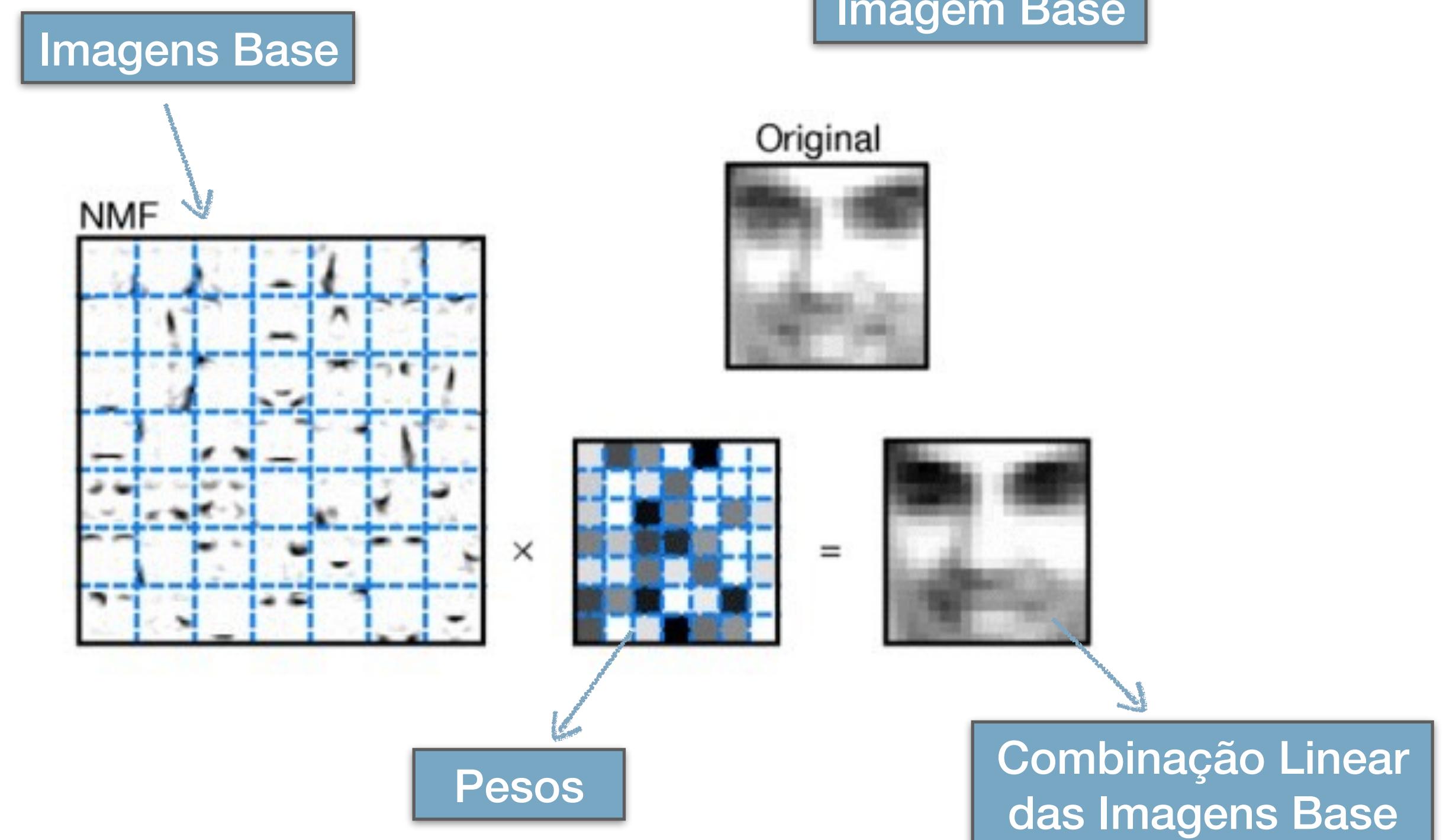
Fatoração Não-Negativa de Matrizes

- Consiste em um grupo de algoritmos onde uma matriz não-negativa (V) é fatorada em outras duas matrizes não-negativas (W e H) de rank menor que a matriz original.

$$V = WH + E$$



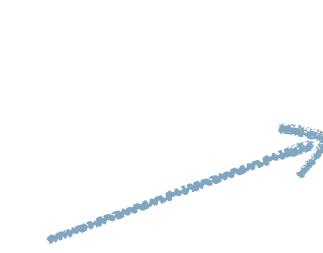
- Podemos reconstruir os dados originais usando uma combinação linear das imagens base encontradas pela fatoração.
- Exemplo:
 - Usar NMF para aprender a **representação por partes** de imagens faciais.



Divergência como Medida de Similaridade

O algoritmo deve minimizar a seguinte função custo:

Divergência entre os dados originais e reconstruídos



$$D(V||WH) + \alpha ||H||_1$$

- Divergência mede a *pseudo-distância* entre duas distribuições de probabilidade.
- Usualmente as divergências acessam a **estatística de ordem superior** dos dados.

$$D(V||WH) = \sum_{ij} \left[\frac{V_{ij}}{(WH)_{ij}} - \log \left(\frac{V_{ij}}{(WH)_{ij}} \right) - 1 \right]$$

Divergência de Itakura-Saito

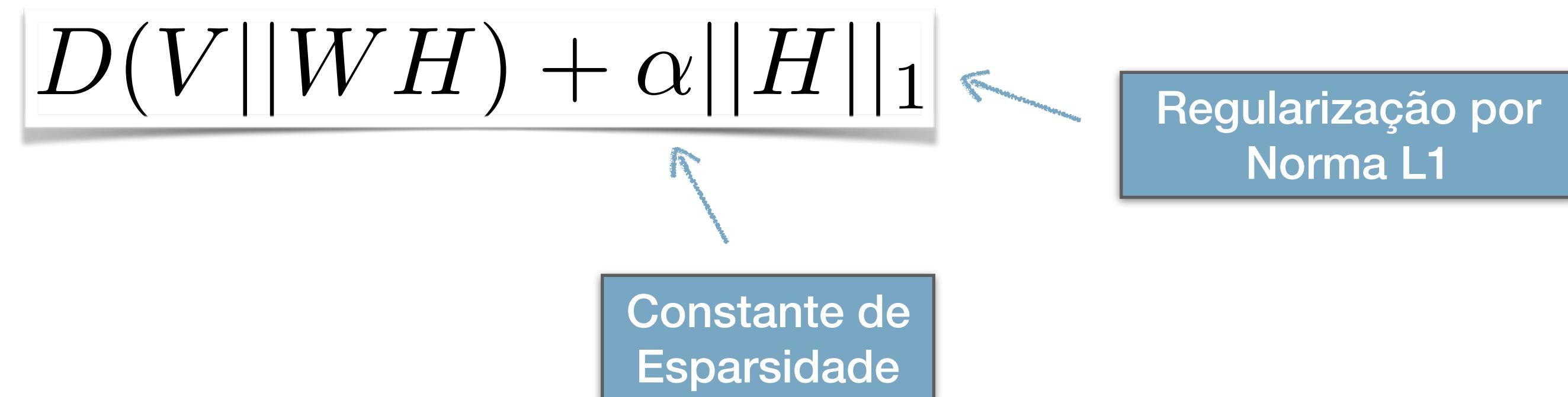
NMF com Fator de Esparsidade

O algoritmo deve minimizar a seguinte função custo:

$$D(V||WH) + \alpha ||H||_1$$

Regularização por
Norma L1

Constante de
Esparsidade



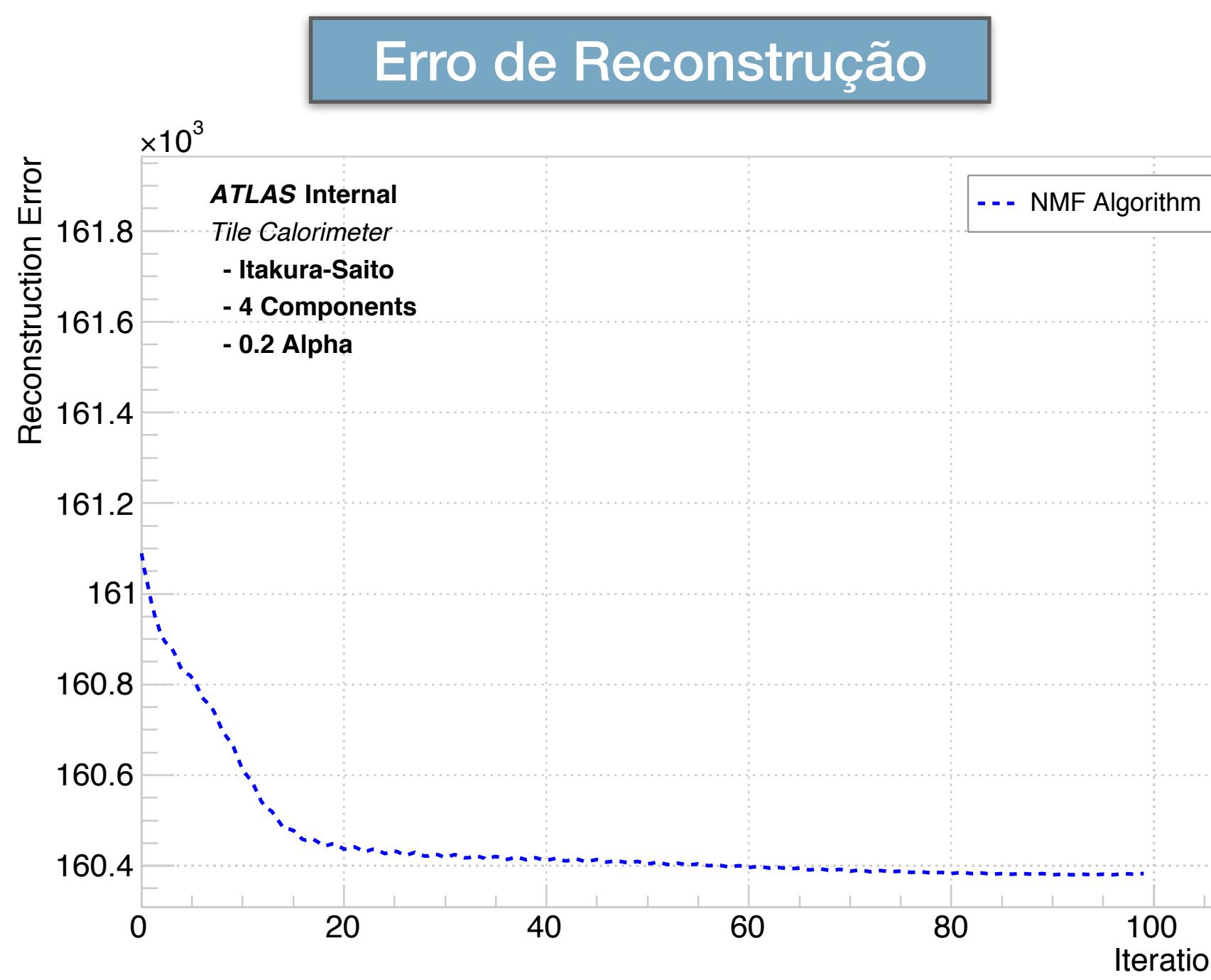
- Esparsidade aplicada na matriz H é responsável pela associação dos dados à uma única imagem base (*clustering membership*).
- A constante alfa controla o **grau de esparsidade** e é, usualmente, definida entre **0.0** e **1.0**.
- Usar a regularização por norma L1 com o propósito de obter esparsidade na solução do problema tem sido aplicada com sucesso numa variedade de problemas.

Resultados

$$D(V||WH) = \sum_{ij} \left[\frac{V_{ij}}{(WH)_{ij}} - \log \left(\frac{V_{ij}}{(WH)_{ij}} \right) - 1 \right]$$

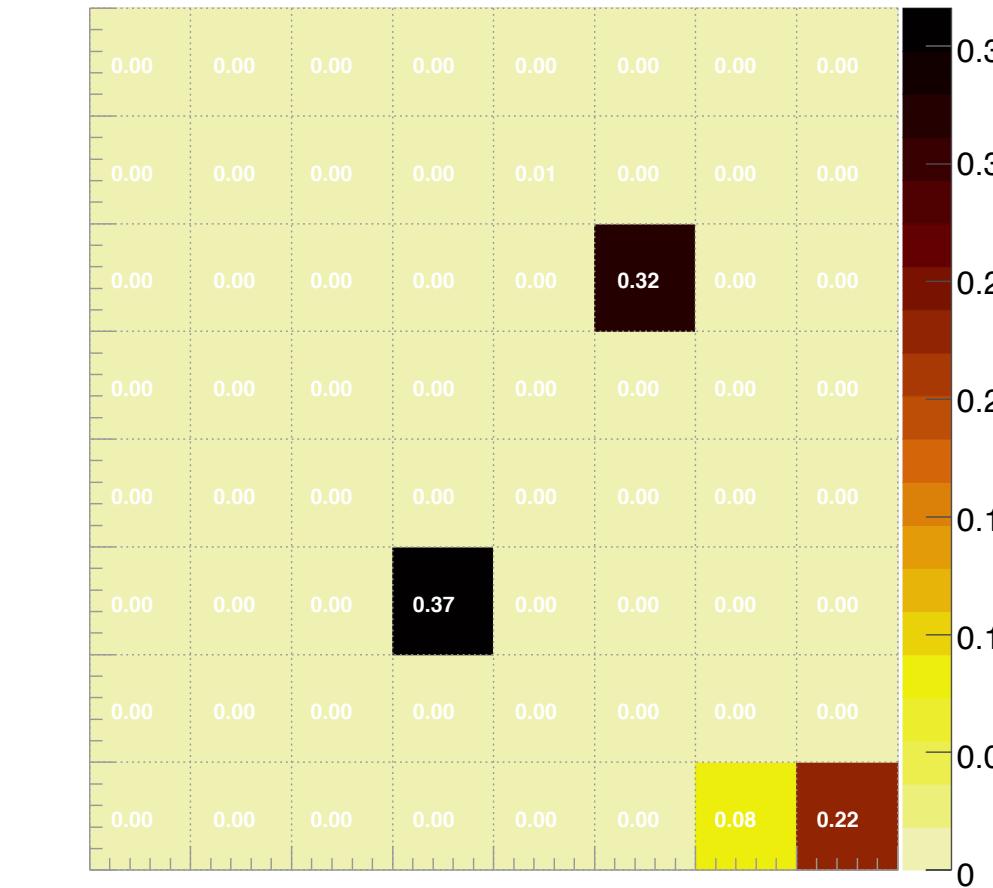
$$D(V||WH) + \alpha \|H\|_1$$

$$\alpha = 0.2$$

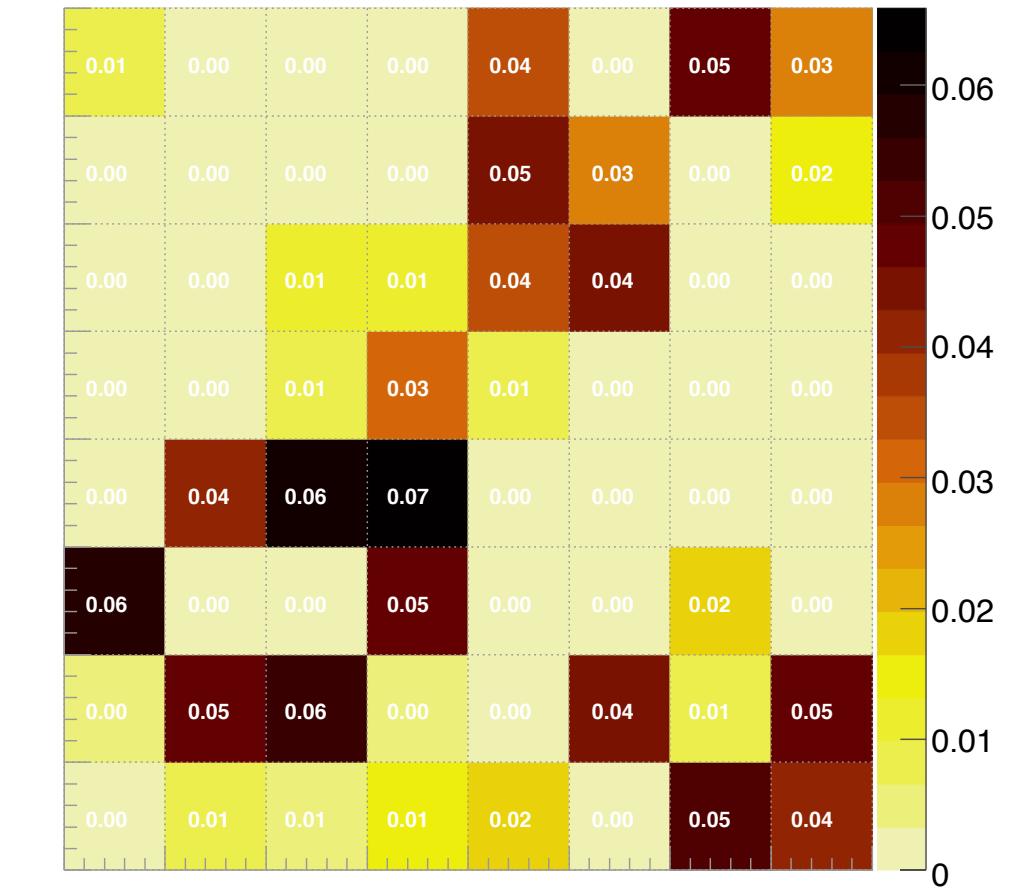


Padrões da Imagens Base

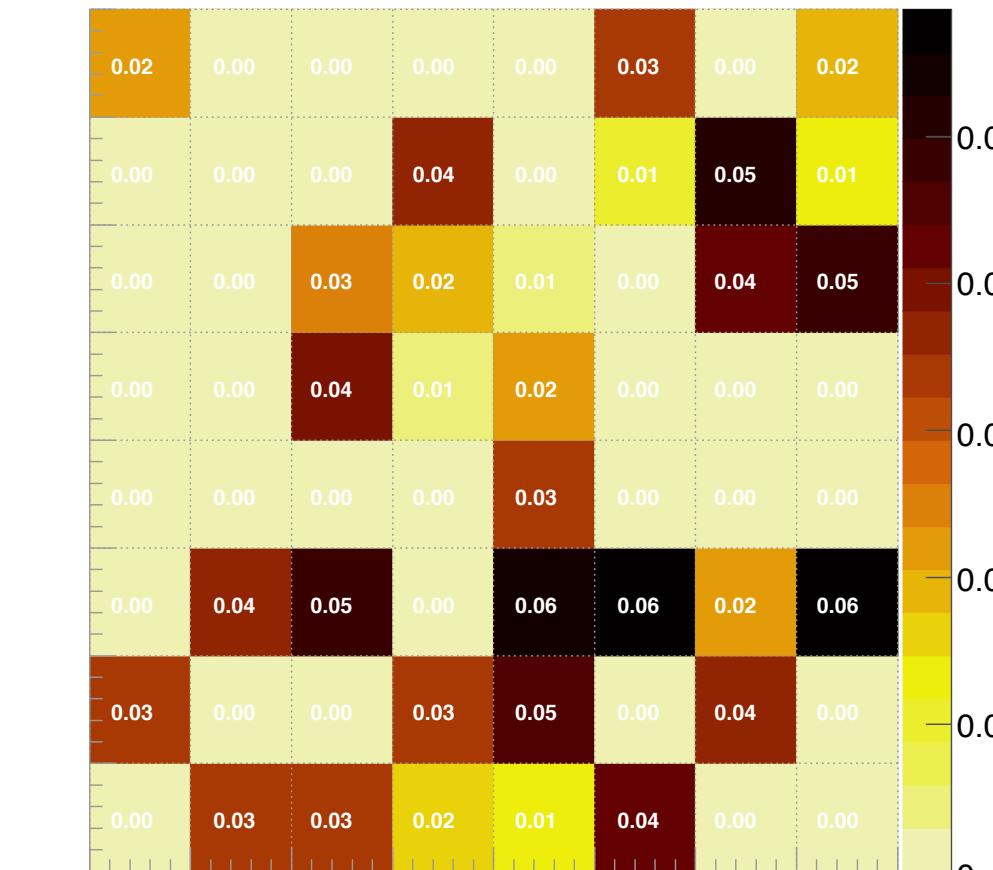
Base Image #1



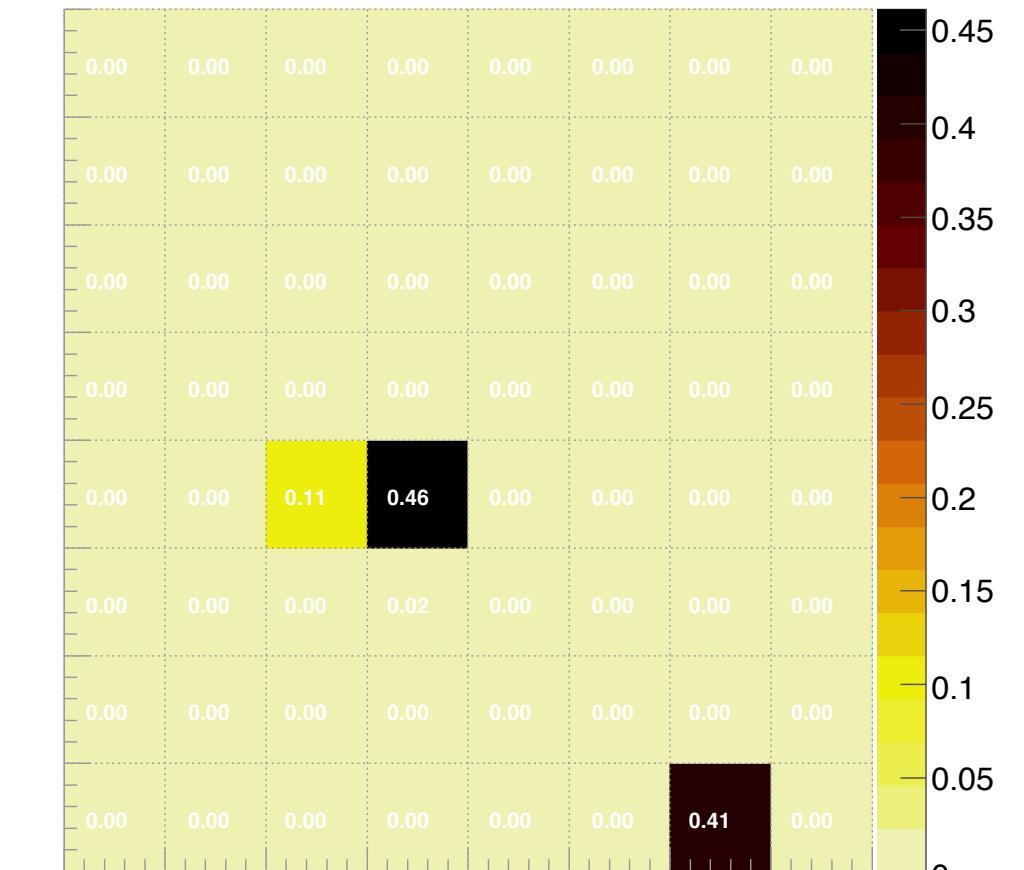
Base Image #2



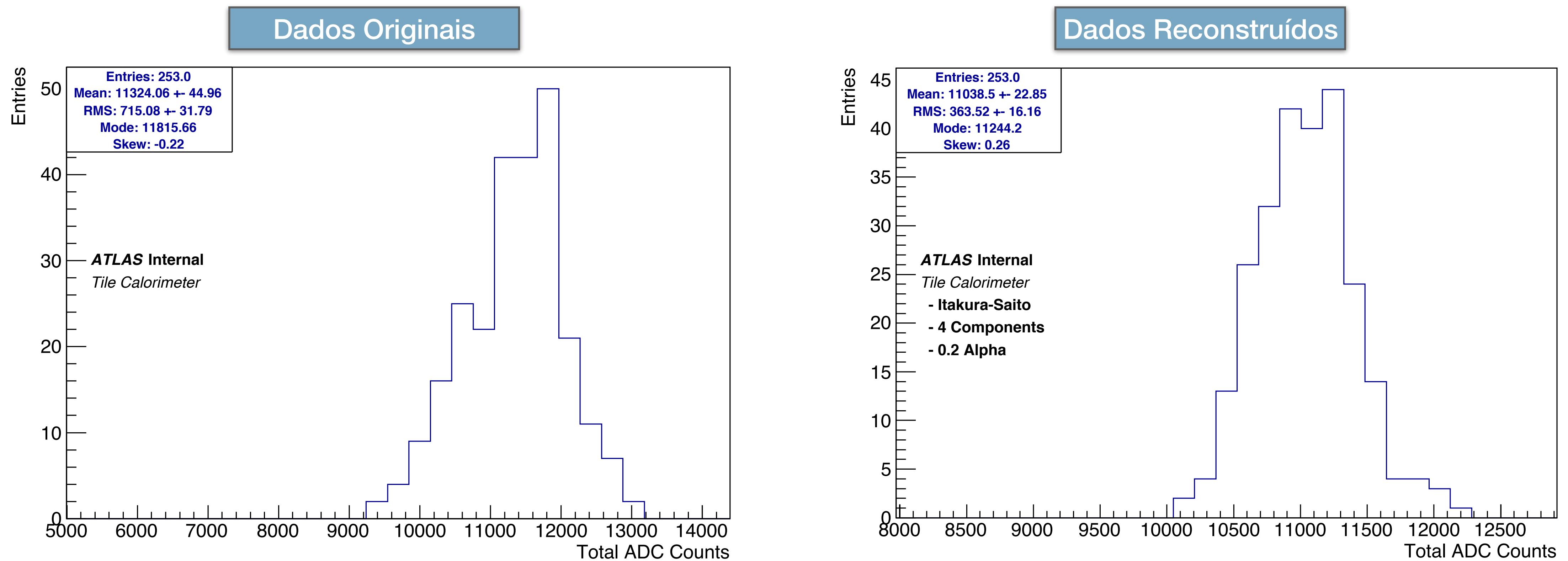
Base Image #3



Base Image #4



Resultados

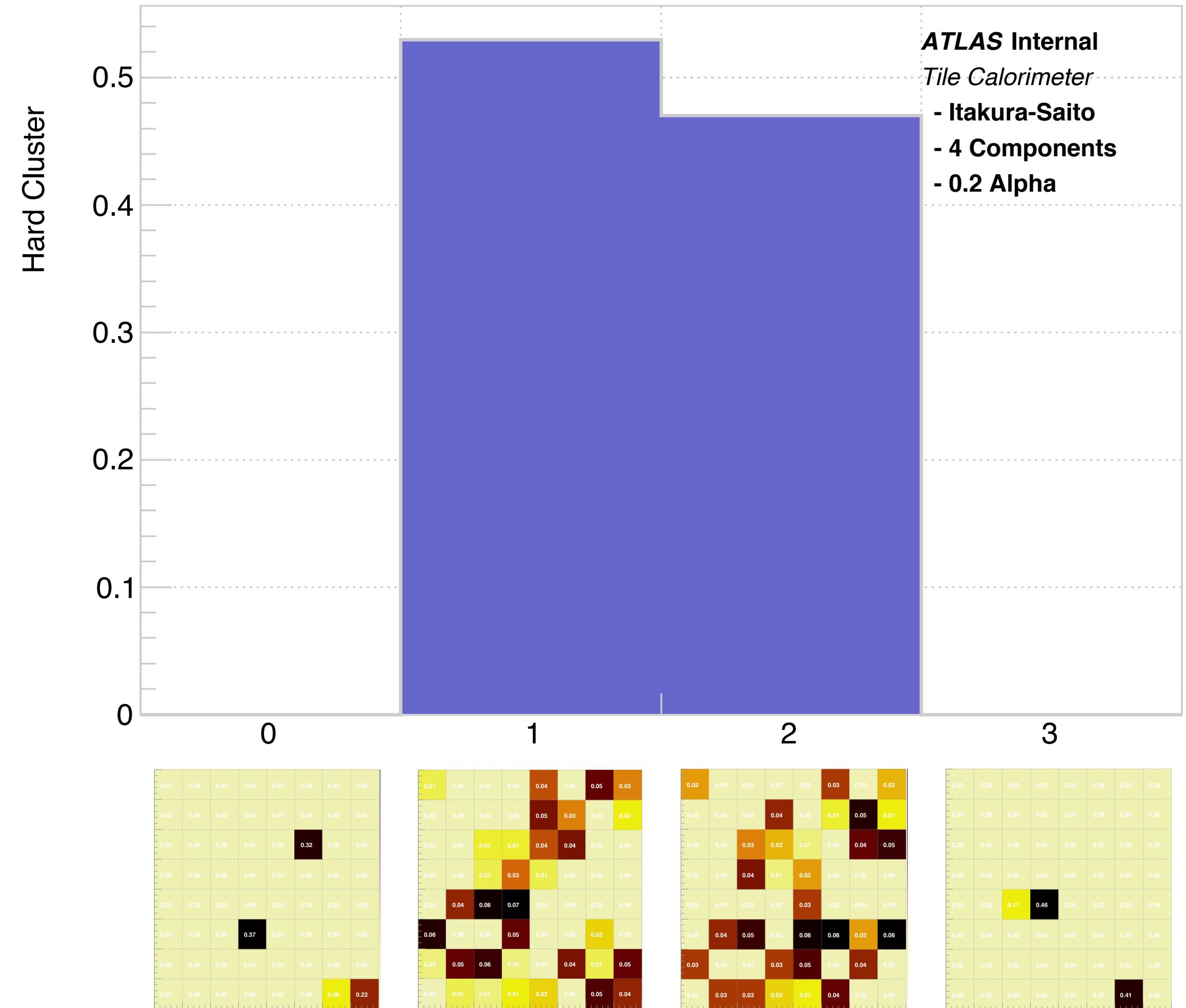


- Os dados reconstruídos não seguem o mesma distribuição dos dados originais.
- Isto acontece porque a **constante de esparsidade** também afeta as regras de atualização do algoritmo. (Checar *Backup Slides*)

Resultados

NMF como algoritmo de *Clusterização*

- Um algoritmo de *Clusterização* pode ser derivado baseado nas imagens de base.
- O gráfico ao lado mostra a quantidade de eventos associada a cada imagem base (*cluster*).
- Todos os eventos do banco de dados são associados às imagens #1 ou #2.
- Essas bases correspondem as regiões **esquerda** e **direita** da célula.



Conclusões

- Possibilidade de uma nova granularidade no calorímetro de telhas, sem alterar a sua parte mecânica.
- Instrumentação feita com uma Fotomultiplicadora Multi-Anodal.
- Algoritmos de ICA tratam o problema como separação cega de fontes.
- Esparsidade aplicada à matriz de coeficientes ajuda o algoritmo de NMF a funcionar como um método de *clusterização*.
- Um dos algoritmos encontrou uma separação natural entre as partes esquerda e direita da célula A12.
- Obtivemos uma granularidade duas vezes mais fina.

Back Up Slides

Regras de Atualização para NMF Esparsa

Update Multiplicativo

- Processo iterativo de atualização.
- Alternar a otimização entre W e H.

$$H \leftarrow H \odot \frac{W^T(V \odot (WH)^{\beta-2})}{W^T(WH)^{\beta-1} + \alpha}$$

$$W \leftarrow W \odot \frac{((WH)^{\beta-2} \odot V)H^T}{(WH)^{\beta-1}H^T}$$

$\beta = 2 \Rightarrow$ Frobenius

$\beta = 1 \Rightarrow$ KullBack-Leibler

$\beta = 0 \Rightarrow$ Itakura-Saito