

Estudos de Degradação de GEMs

Reunião Geral - Projeto Temático FAPESP

04 de Outubro de 2023

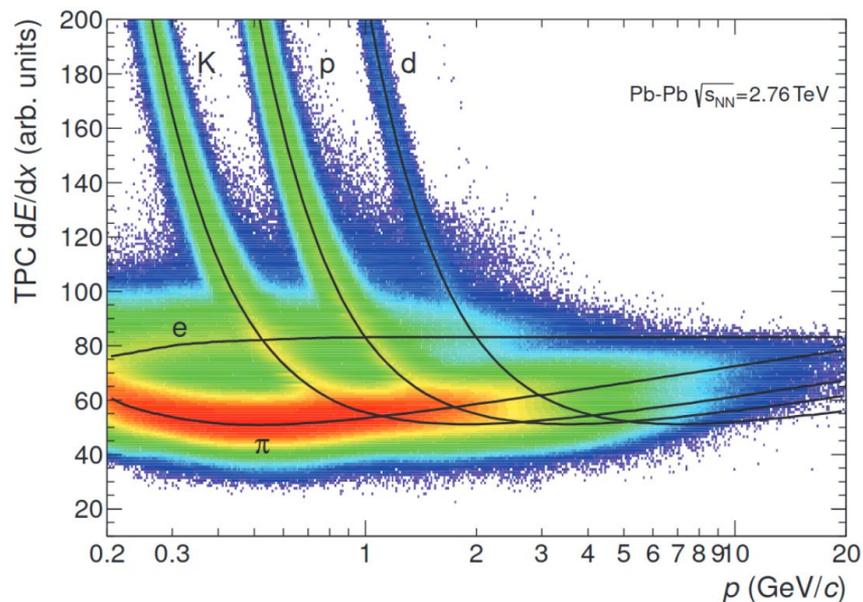
Thiago Badaró Saramela

Orientador: Prof. Dr. Tiago Fiorini da Silva

Instituto de Física da Universidade de São Paulo



Identificação de partículas no TPC

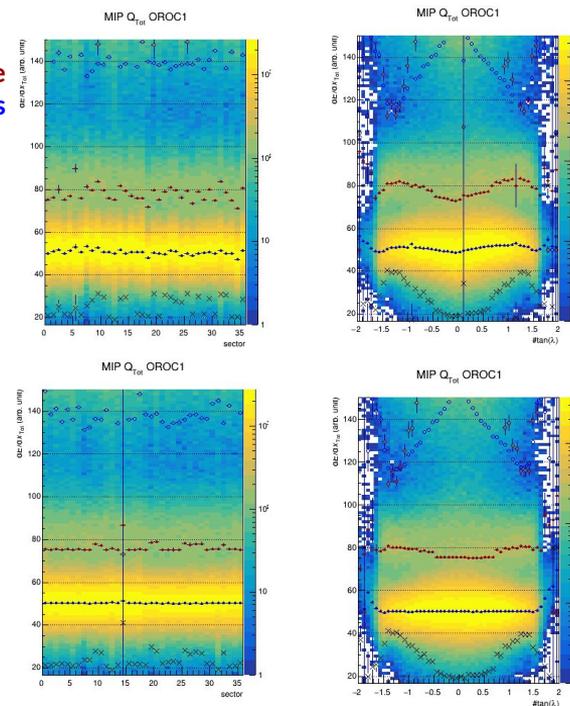


Calibração do ganho dos GEMs - Rastreada no tempo

π MIPs

Dados Brutos

Dados Calibrados



Por que estudar degradação para os futuros experimentos?

Relatório da European Committee
for Future Accelerators (EFCA) 2021

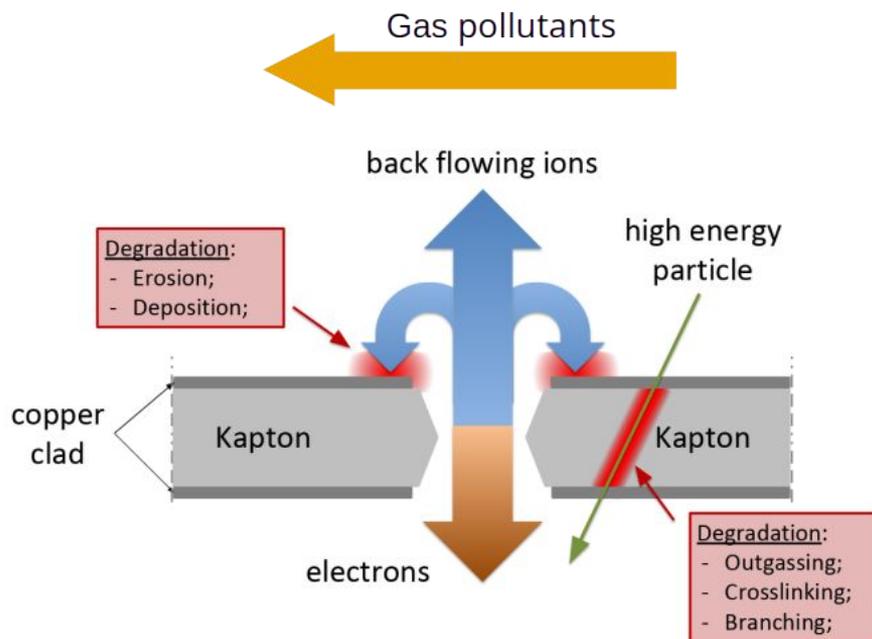
SPS fixed target (Amber, NA62+, NA60)
FAIR (PANDA, CBM)
Other fixed target (COMET, MU2E,...)
Neutrino near detectors (DUNE)
Large ton dual-phase (PandaX-4T, LZ, DarkSide-20k, Argo 200k, ARIADNE, ...)
Light dark matter, solar axion, 0nbb, rare nuclei ions and astro-particle reactions, Ba tagging)
Light dark matter (DUNE)
LHCb (eLS4)
ATLAS/CMS (eLS4)
EIC
LHeC
R&D DM/neutralino experiments³⁾
R&D ton scale 0nbb
ILC
FCC-ee
CLIC
STCF
FCC-hh
FCC-eh
Muon collider



-> Importância da resistência à radiação e prolongamento da longevidade dos detectores

-> Efeitos dos eco gases na degradação

1) Large ton dual-phase (PandaX-4T, LZ, DarkSide-20k, Argo 200k, ARIADNE, ...)
 2) Light dark matter, solar axion, 0nbb, rare nuclei ions and astro-particle reactions, Ba tagging)
 3) R&D for 100-ton scale dual-phase DM/neutralino experiments



- Polimerização dos produtos da avalanche
- Introdução de poluentes no gás
 - Desgaseificação dos materiais da câmara;
colas a base de Si + PDMS.
 - Reação entre o gás e materiais da câmara;
 - Dano por radiação;
liberação de poluentes que podem promover a polimerização
- Ataque de produtos da avalanche aos materiais do detector
radicais do CF_4

MWPCs

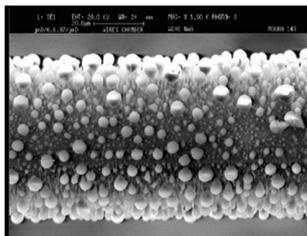
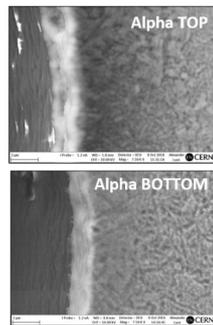
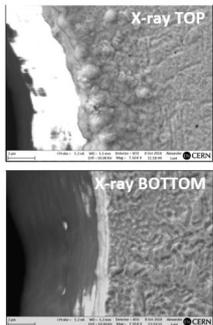
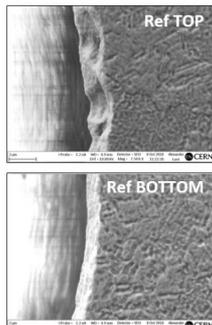


Figure 1. General view of the silicon deposits covering the irradiated zone of the anode wire aged in the Ar/CO_2 (70/30) mixture [8]

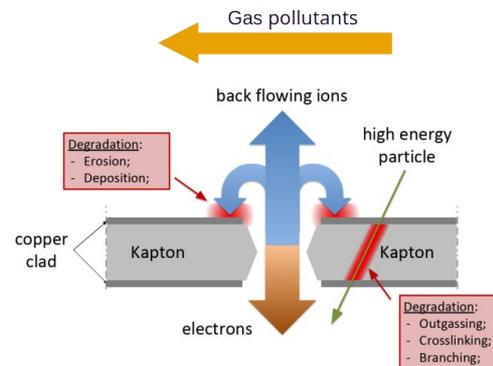
"Aging and materials: lessons for detectors and gas systems", M. Capeans, NIMA, 2003

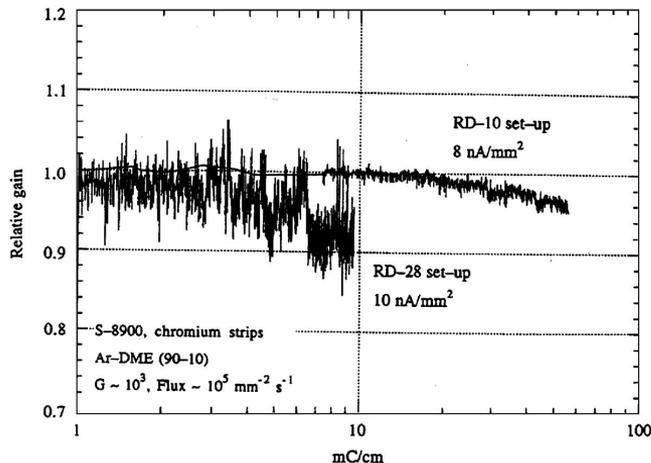
GEMs



"Advanced Aging study on Triple-GEM Detectors", J. Phys.: Conf., 2020
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1498/1/012038>

- Polimerização dos produtos da avalanche
- Introdução de poluentes no gás
 - Desgaseificação dos materiais da câmara;
colar a base de Si + PDMS.
 - Reação entre o gás e materiais da câmara;
 - Dano por radiação;
liberação de poluentes que podem promover a polimerização
- Ataque de produtos da avalanche aos materiais do detector
radicais do CF_4



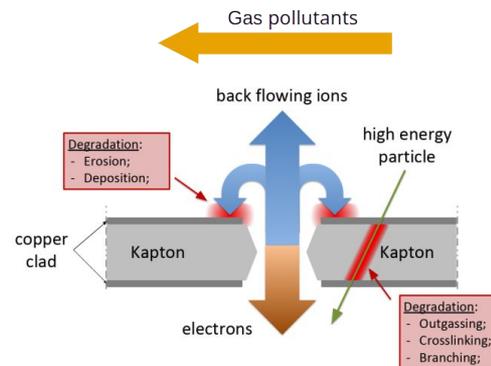


Ganho relativo de duas MWPCs idênticas em sistemas de gás diferentes

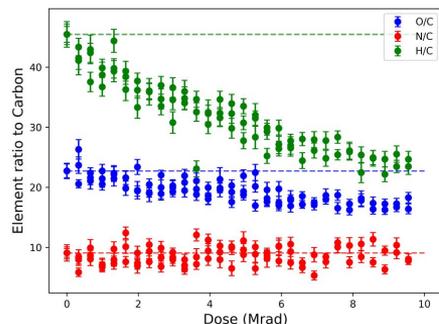
- “Ultra limpo” (RD-10): padrão de ultra alto vácuo, tubos de aço inoxidável com eletropolimento, ...
- “Limpo” (RD-28): válvulas de metal comuns, alguns O-ring e selantes.

“Aging and materials: lessons for detectors and gas systems”, M. Capeans, NIMA, 2003

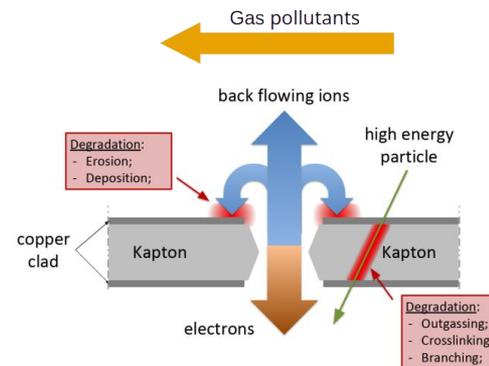
- Polimerização dos produtos da avalanche
- Introdução de poluentes no gás
 - Desgaseificação dos materiais da câmara;
colar a base de Si + PDMS.
 - Reação entre o gás e materiais da câmara;
 - Dano por radiação;
liberação de poluentes que podem promover a polimerização
- Ataque de produtos da avalanche aos materiais do detector
radicais do CF₄



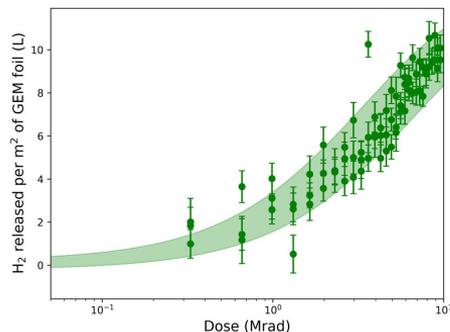
Degradação do kapton induzida por feixe de He⁺



- Polimerização dos produtos da avalanche
- Introdução de poluentes no gás
 - Desgaseificação dos materiais da câmara;
colar a base de Si + PDMS.
 - Reação entre o gás e materiais da câmara;
 - **Dano por radiação;**
liberação de poluentes que podem promover a polimerização
- Ataque de produtos da avalanche aos materiais do detector
radicais do CF₄

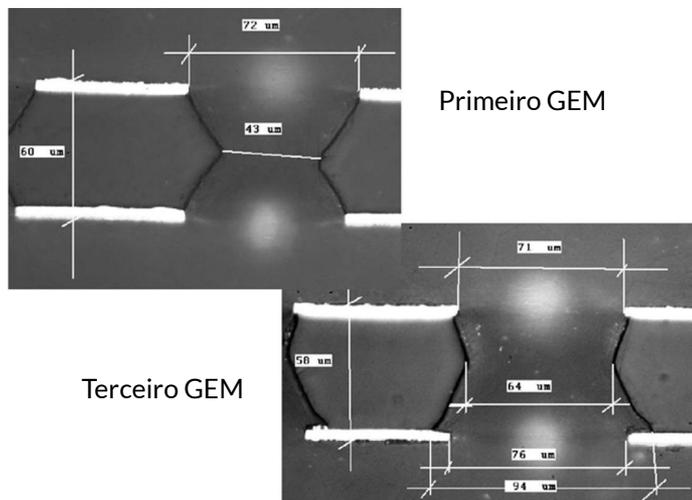


Liberação de H₂ prevista

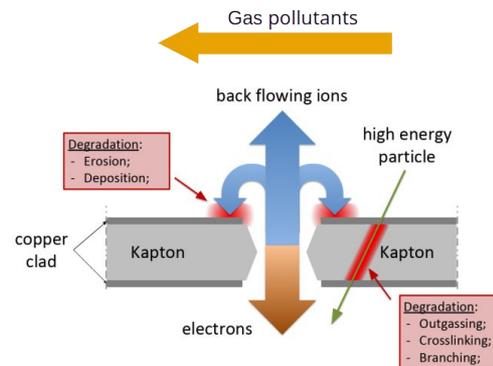


"Preliminary studies on GEM foil degradation in harsh radiation environments", PoS, 2019,
<https://doi.org/10.22323/1.350.0036>

Remoção do kapton em um mistura de gás com CF_4

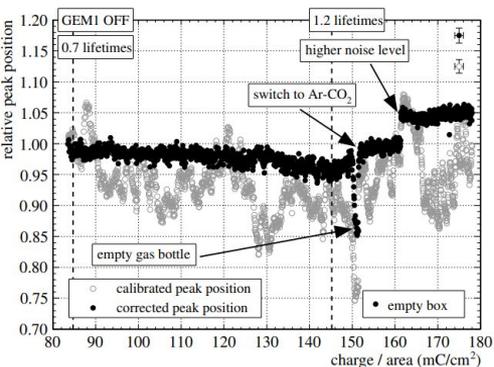


- Polimerização dos produtos da avalanche
- Introdução de poluentes no gás
 - Desgaseificação dos materiais da câmara;
colar a base de Si + PDMS.
 - Reação entre o gás e materiais da câmara;
 - Dano por radiação;
liberação de poluentes que podem promover a polimerização
- Ataque de produtos da avalanche aos materiais do detector
radicais do CF_4

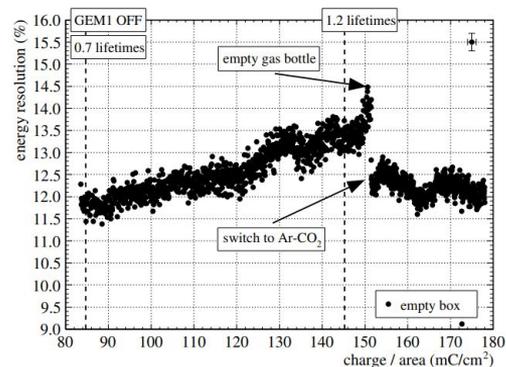


"Studies of Etching Effects on Triple-GEM Detectors Operated With CF_4 -Based Gas Mixtures", IEEE TNS, 2005

Ar-CH₄



(a) Calibrated and corrected peak position.

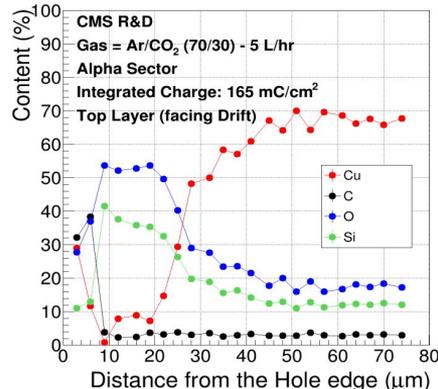
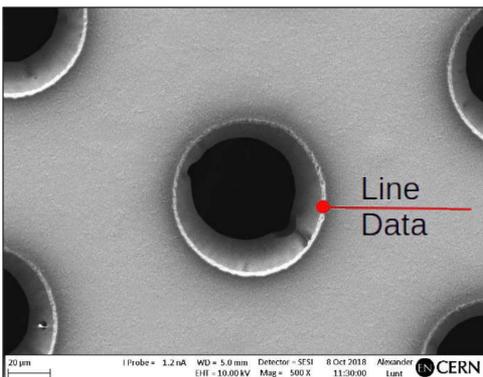


(b) Energy resolution extracted from the calibrated pulse-height spectra.

- Evolução do ganho e resolução em energia por carga integrada

"Ageing tests with Gas Electron Multipliers for the ALICE TPC Upgrade", M. Jung Master Theasys, 2019, https://www.uni-frankfurt.de/98121682/MA_Michael_Jung_2019.pdf

Ar-CO₂

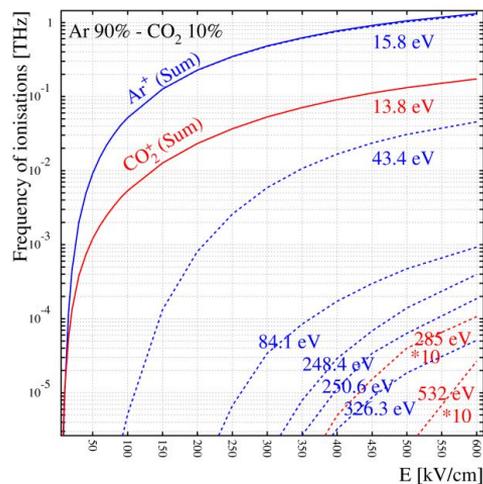


Análise por EDS

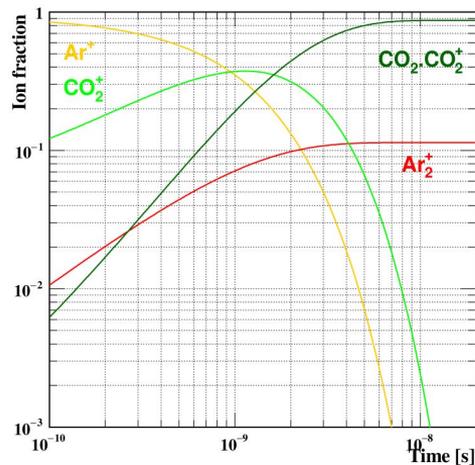
- Medida da composição elementar da superfície
- Nenhum informação molecular
- Nenhuma informação sobre origem do carbono

"Advanced Aging study on Triple-GEM Detectors", J. Phys.: Conf., 2020 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1498/1/012038>

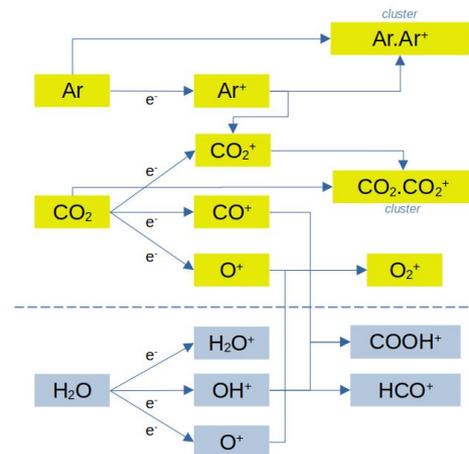
Produtos da ionização primária de uma mistura de Ar/CO₂



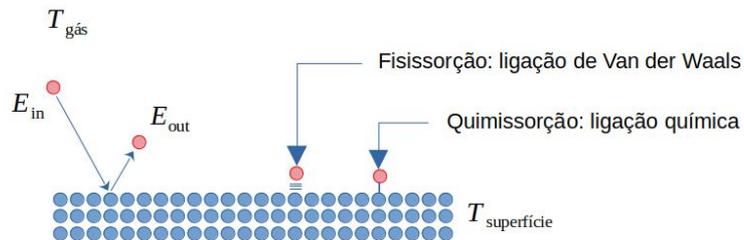
Evolução no tempo das frações iônicas



Exemplo de possíveis reações



Rob Veenhof



$$E_{out} = E_{in} + A (E_{sup} - E_{in})$$

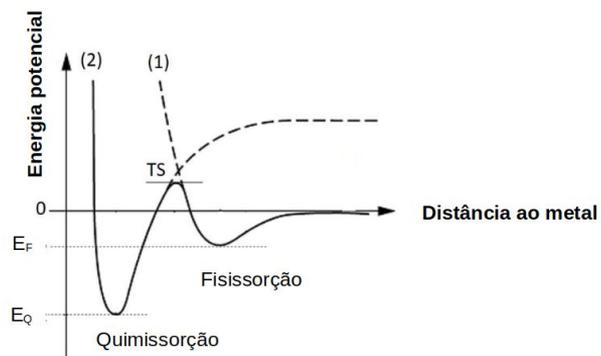
A -> Coeficiente de acomodação térmica

A transferência de energia determina se a molécula é aprisionada ou não e em qual regime.

Moléculas aderidas no regime de **quimissorção** podem reagir com espécies químicas vizinhas.

Para o CO₂

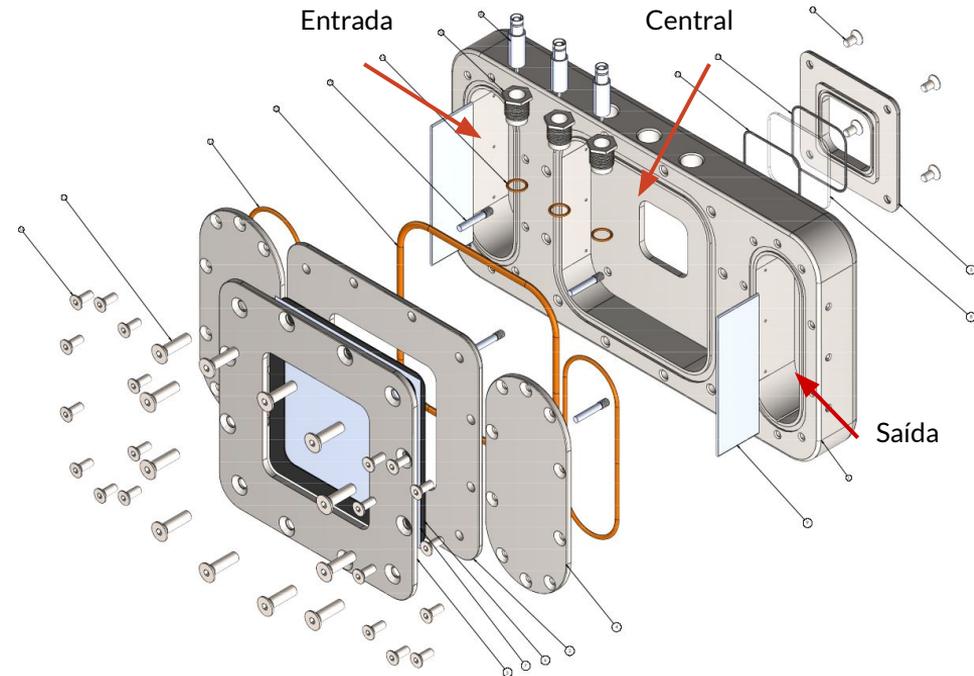
- A presença de **oxigênio** na superfície favorece a adesão.
- A disponibilidade de **hidrogênio** favorece a formação de moléculas mais complexas.



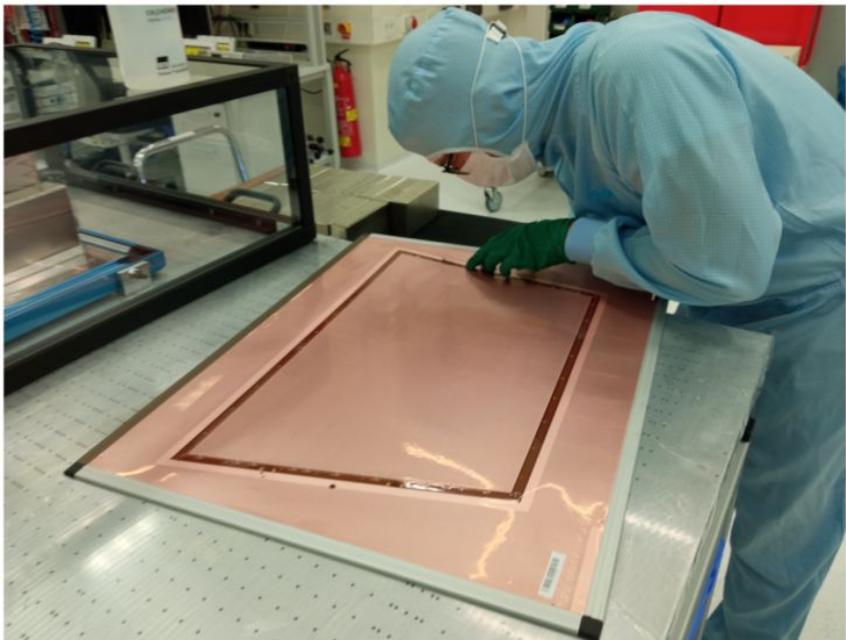
Metodologia

- Câmara de degradação controlada
- Simulações de fluxo de gás e transporte de cargas
 - Auxiliar no design do experimento e entendimento dos resultados experimentais
- Produção de amostras
- Análise das amostras degradadas com técnicas de análise de superfícies

- Em aço inox
 - Ambiente limpo para evitar desgaseificação;
- Câmara de degradação (central)
 - Amostra de GEM
- Câmara de filtragem (entrada)
 - Remoção de possíveis contaminações de O_2 ou H_2O ;
 - Eventual introdução de contaminantes;
- Câmara de monitoramento (saída)
 - Sensores ambientais;
temperatura, pressão
 - Qualidade do gás
 H_2O , O_2 and H_2
- Montadas num mesmo bloco para evitar tubulações

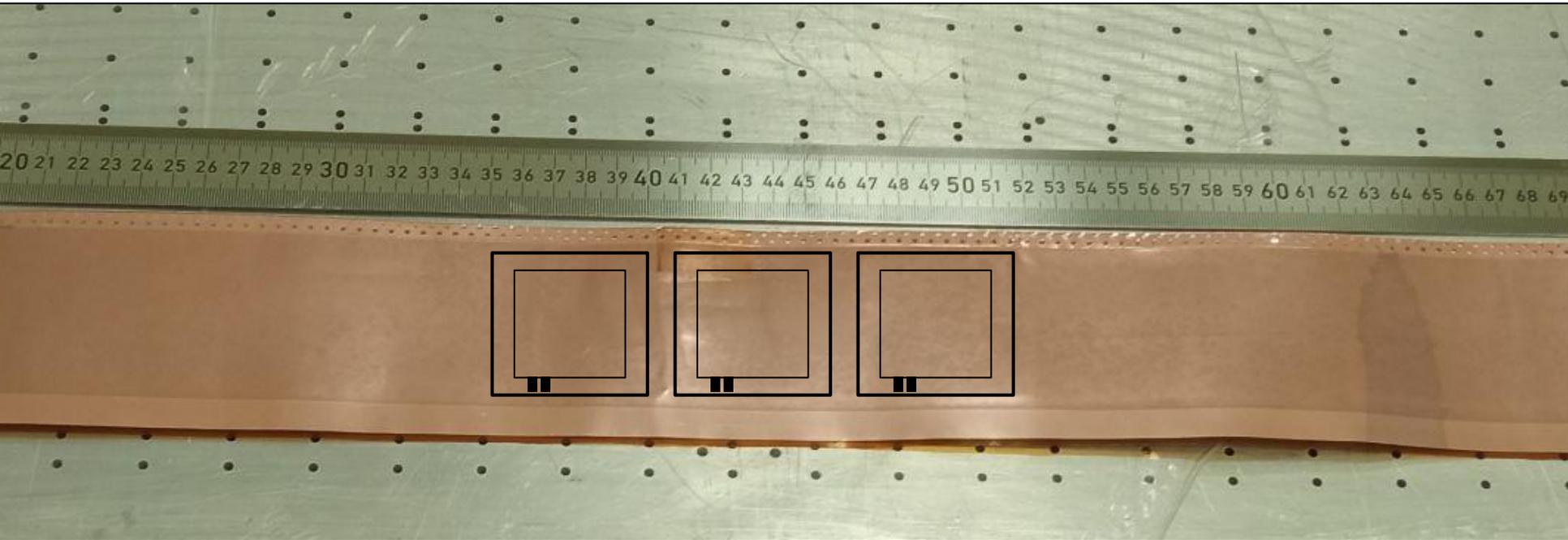






Material para até 400 GEMs 3x3 cm

Mesmo material usado no TPC do ALICE



Mini-GEMs 3x3 cm

Remoção de cobre e colagem da moldura de fibra de vidro -> LSI POLI

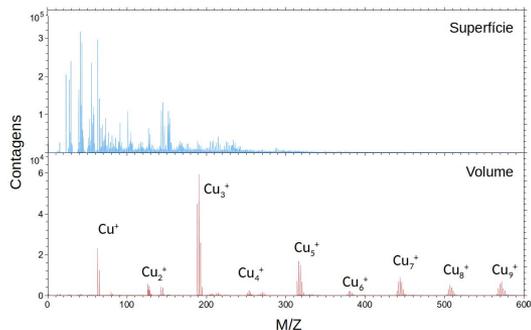
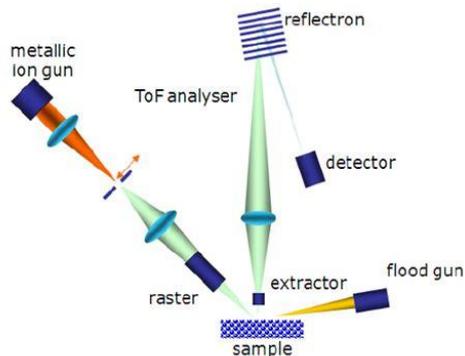
TOF-SIMS

Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry

Detecção de fragmentos moleculares retirados da superfície da amostra.

Estudo de amostras degradadas.

Dr. Gustavo Trindade
NPL - Londres



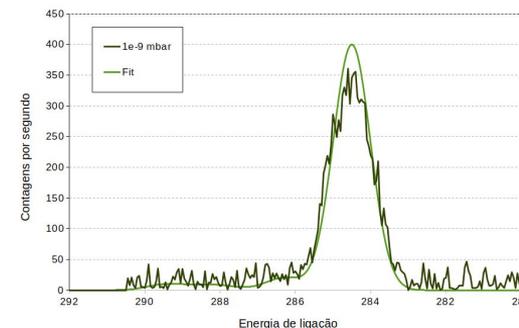
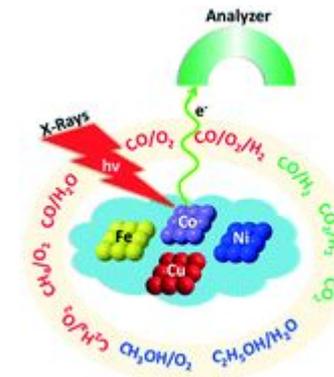
NAP-XPS

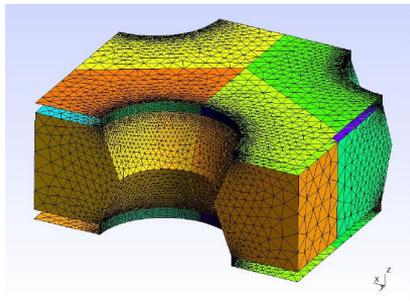
Near-Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy

Informação sobre as ligações químicas das moléculas da superfície.

Entendimento dos efeitos de adsorção.

Dra. Camilla Codeço
CBPF

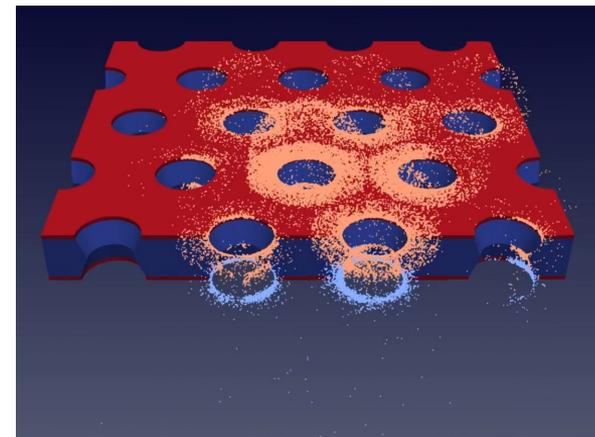
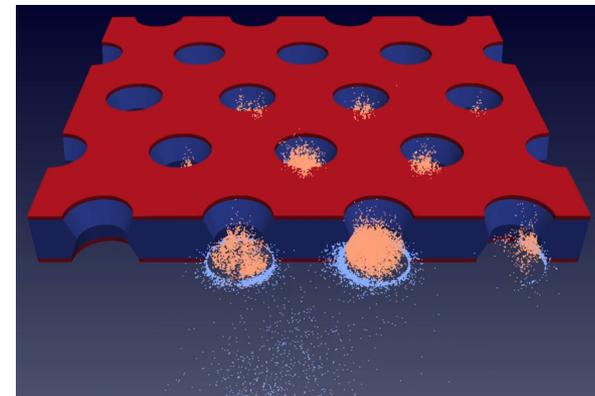
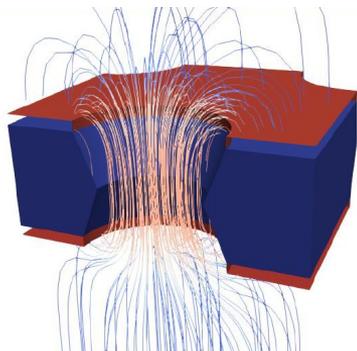




Geometria e malha

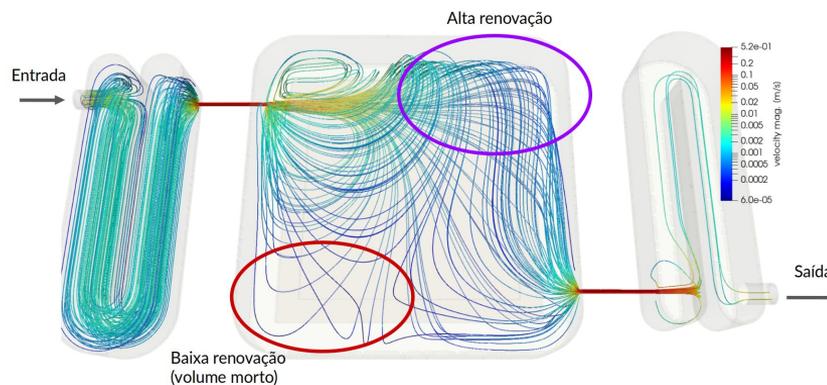
Cálculo do campo de
velocidade e pressão

Transporte de cargas

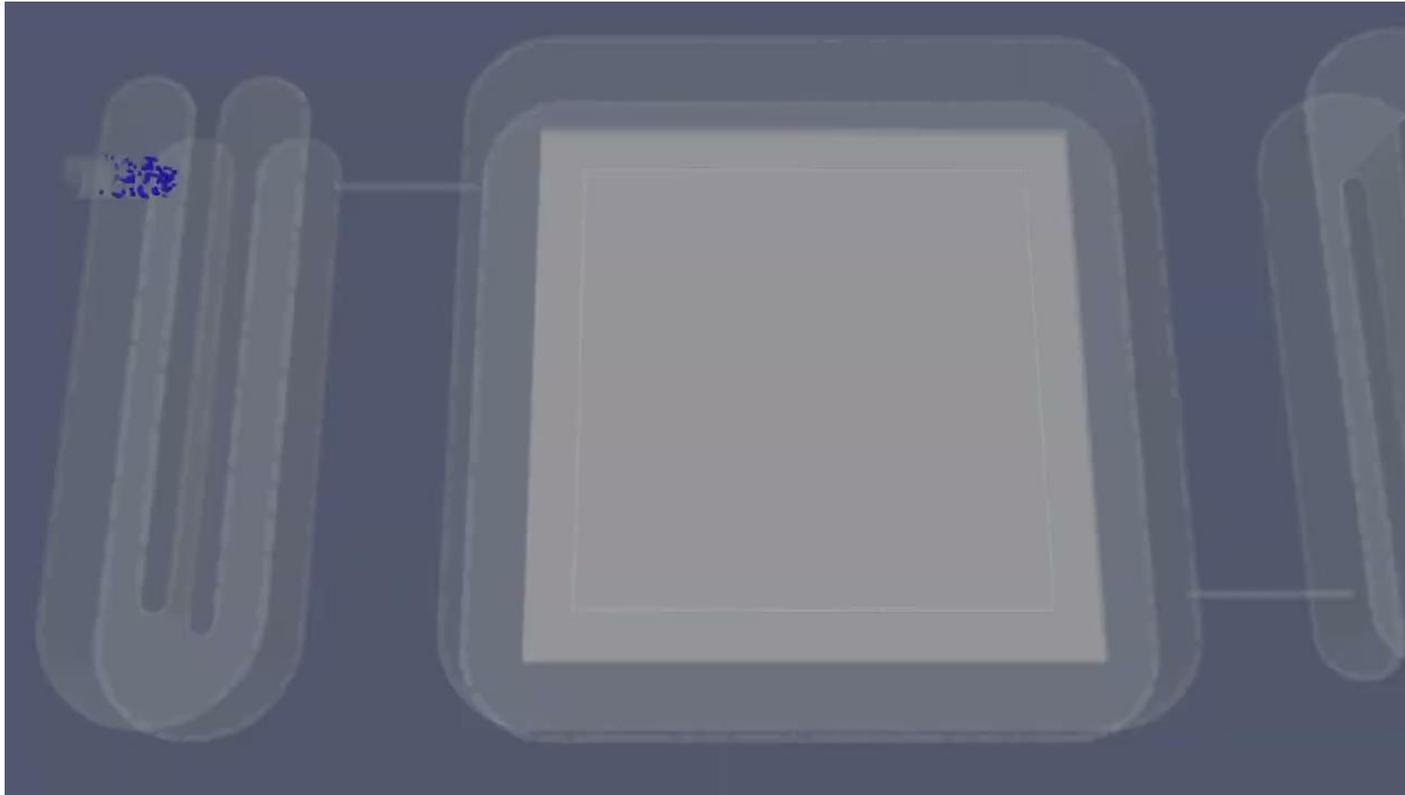


Resultados até o momento

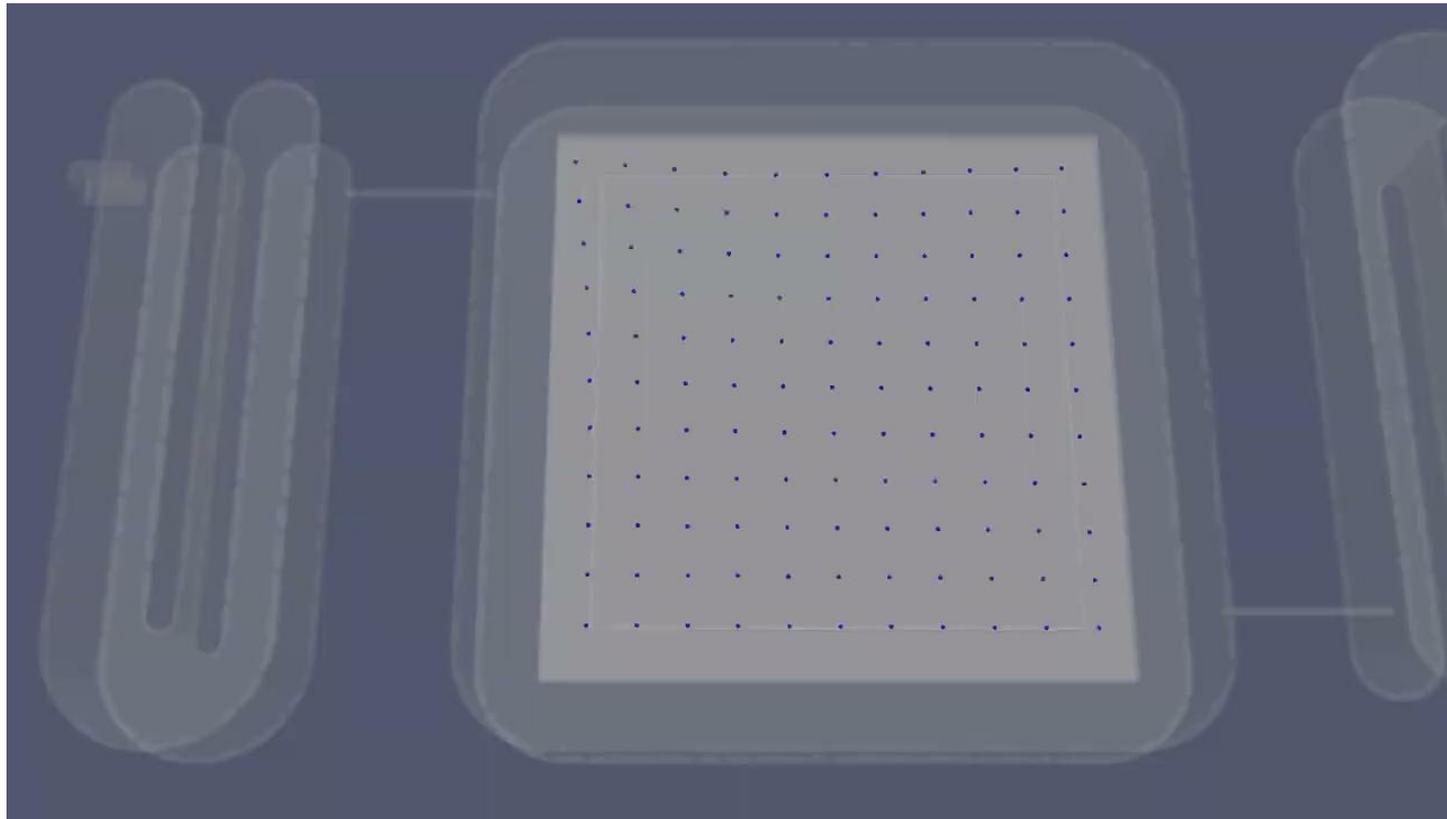
Simulação sem efeitos de difusão



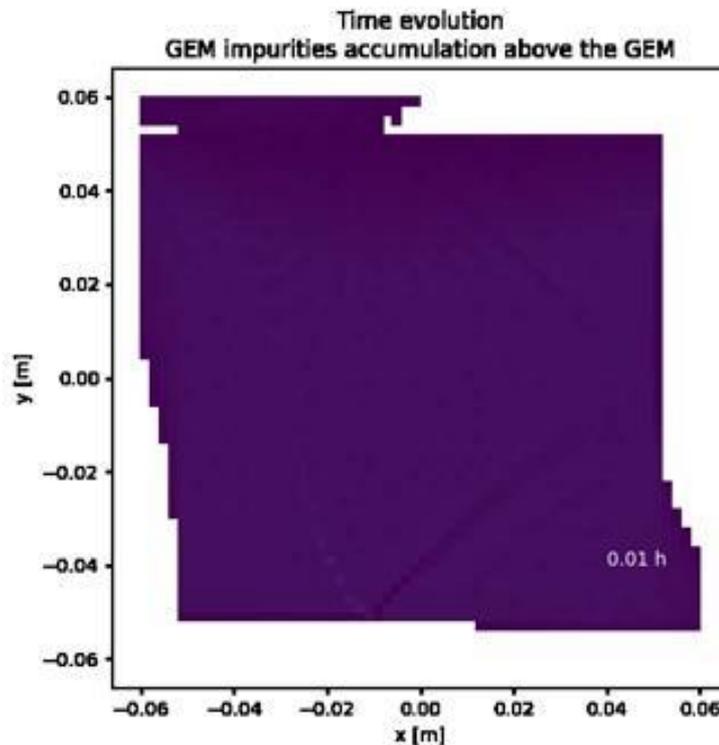
Poluentes externos

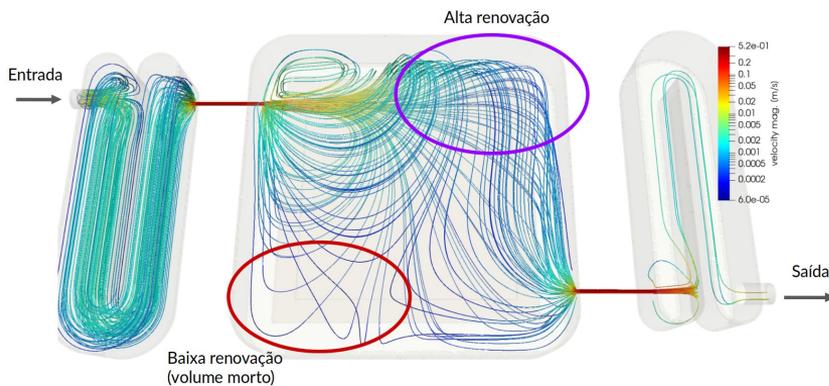


Poluentes internos

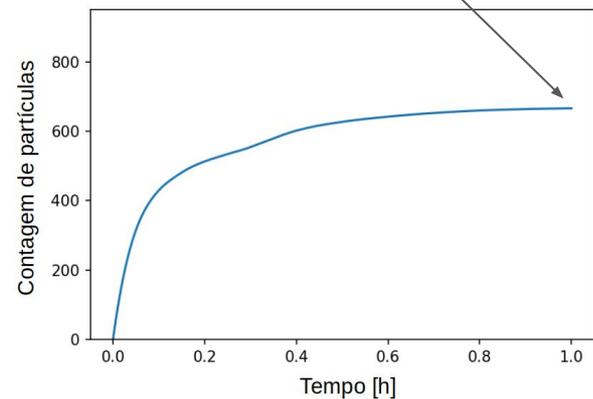
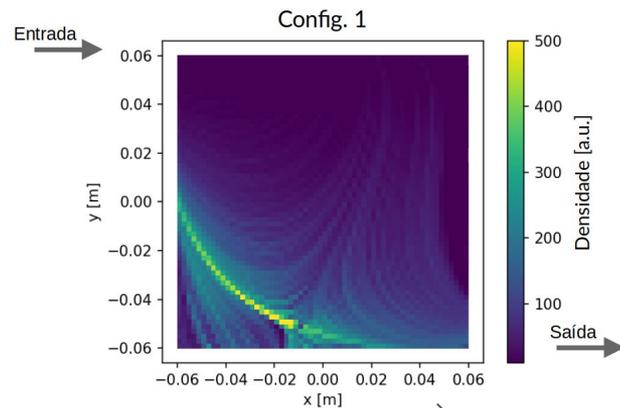


Acúmulo de poluentes internos

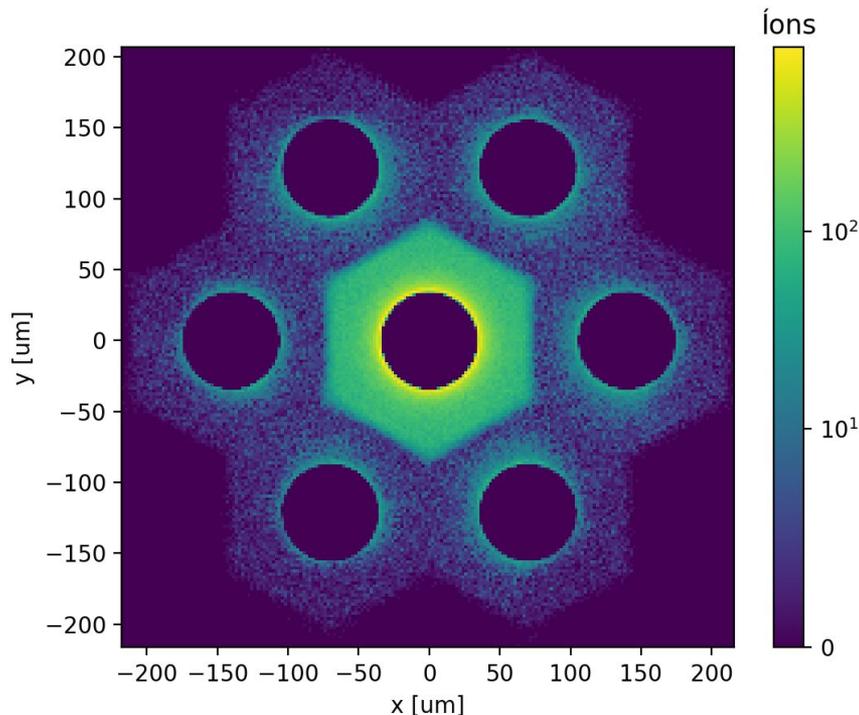




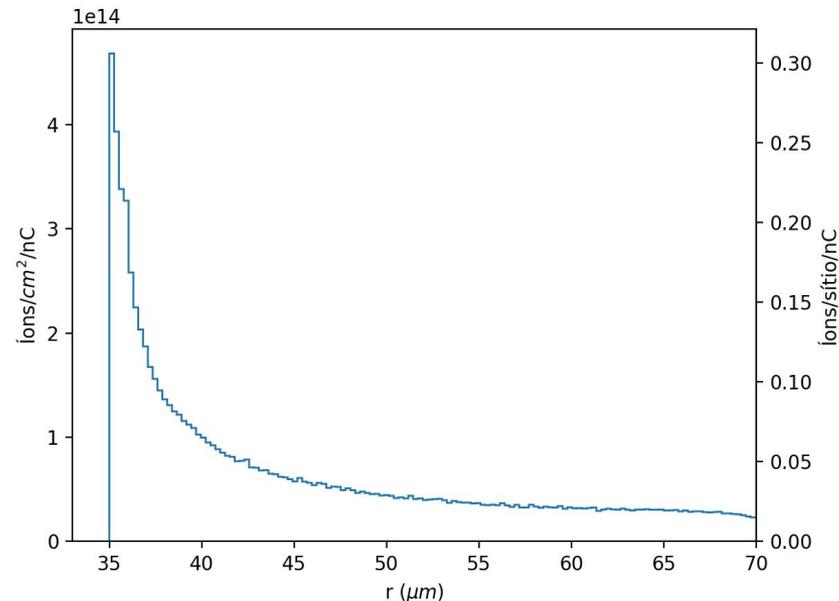
Acúmulo de poluentes internos



Padrão de colisão de íons sobre o GEM



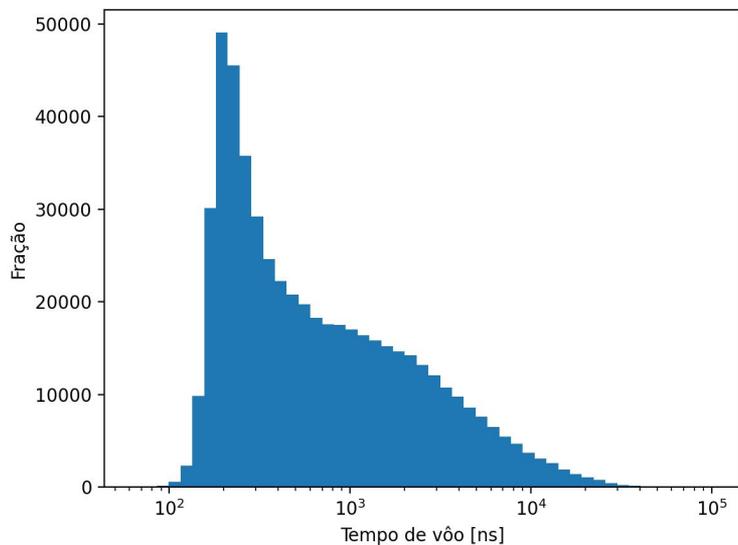
Concentração de íons sobre o GEM a partir do centro do furo em função da carga coletada do anodo



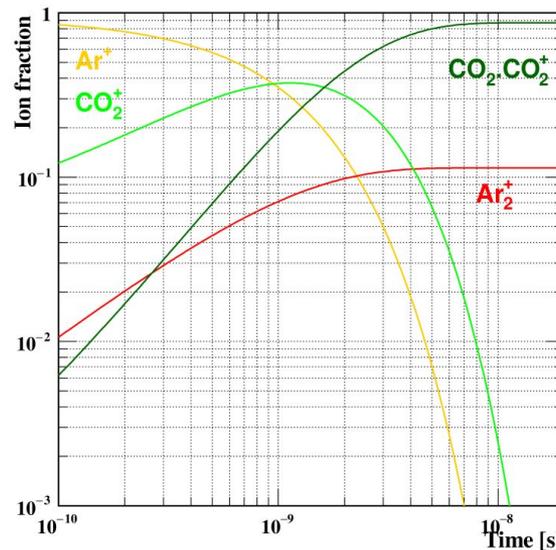
A partir de 3,3 nC por furo ou 194 nC/mm² podemos ter a formação de uma monocamada atômica

- Fim do regime de Langmuir
- TPC do ALICE ~ 1,2 mC/mm² em 10 anos de atividade

Tempo de vôo dos íons que colidem com o topo do GEM

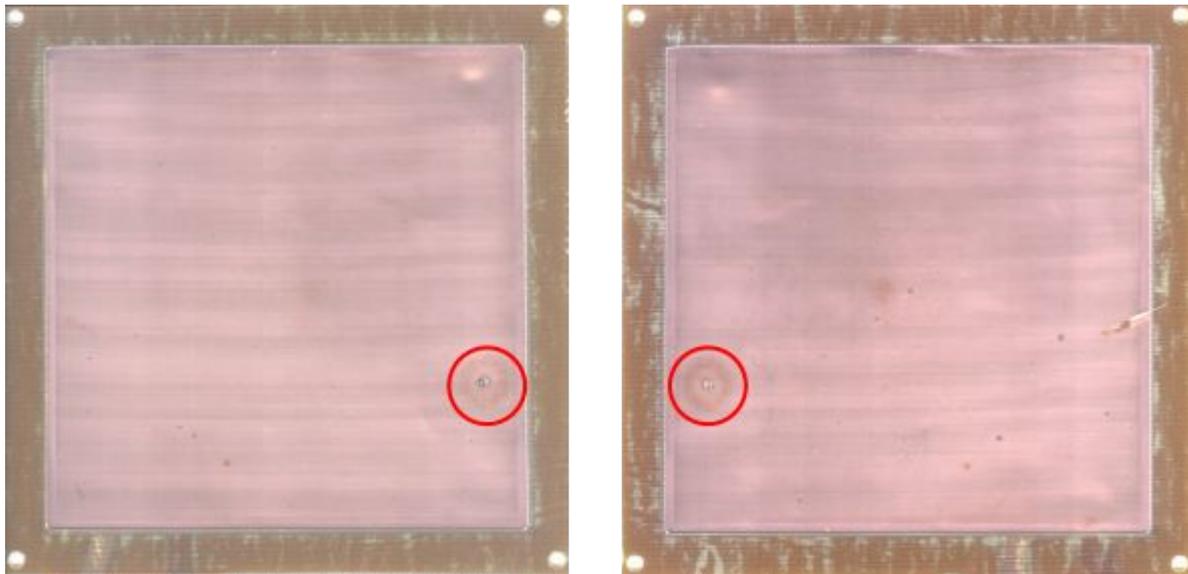


Evolução no tempo das frações iônicas



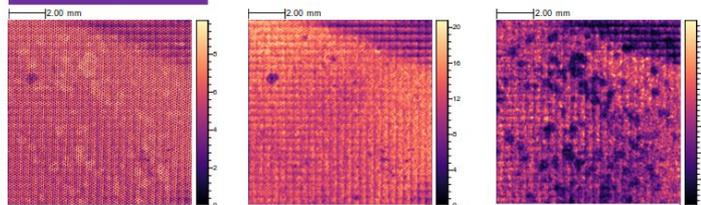
Tempo de vôo > 100 ns -> Clusters de CO_2^+ e Ar^+

Amostra



- GEM usado um readout ótico
- Usado rotineiramente até falha
- Mistura de gás Ar/CF₄
- Danificado por faísca

Cu oxide / Cu

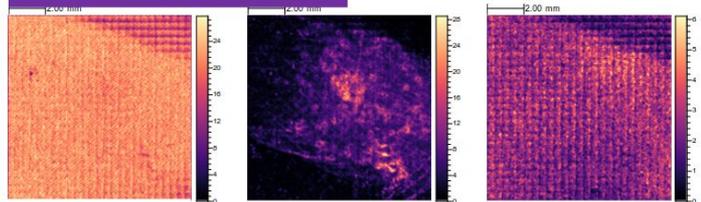


Cu^+

Cu_2OH^+

Cu^-

Surface contamination

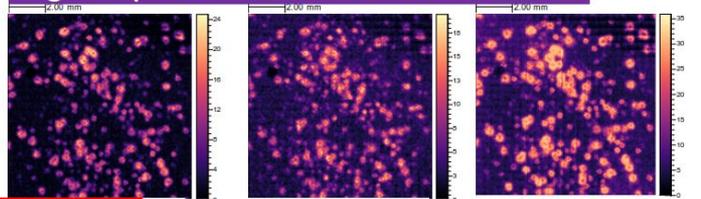


C_3H_5^+

Na^+

C_2^-

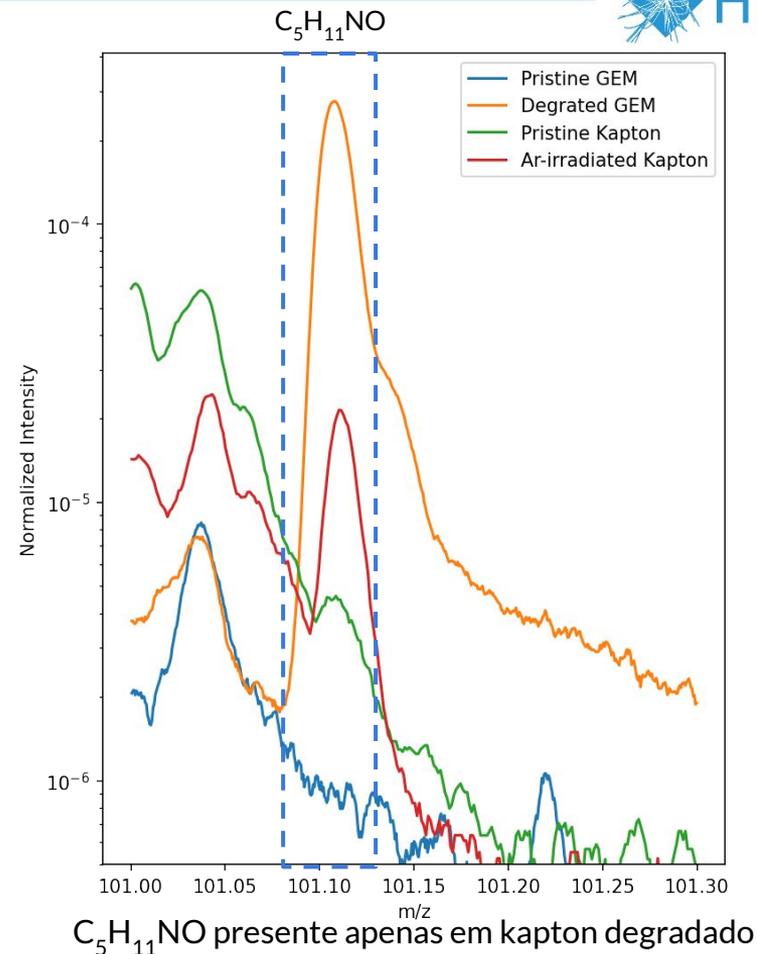
Organic pattern adsorbed onto surface

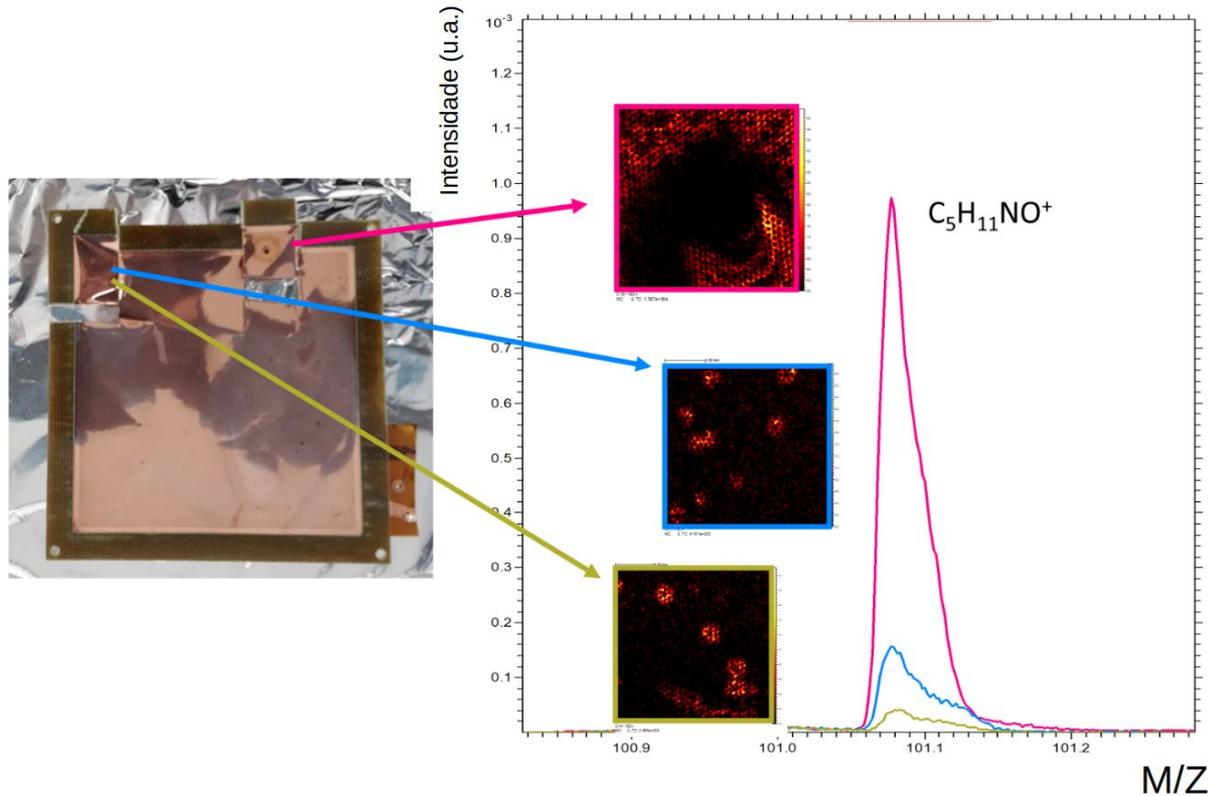


$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}^+$

CNCu_2^+

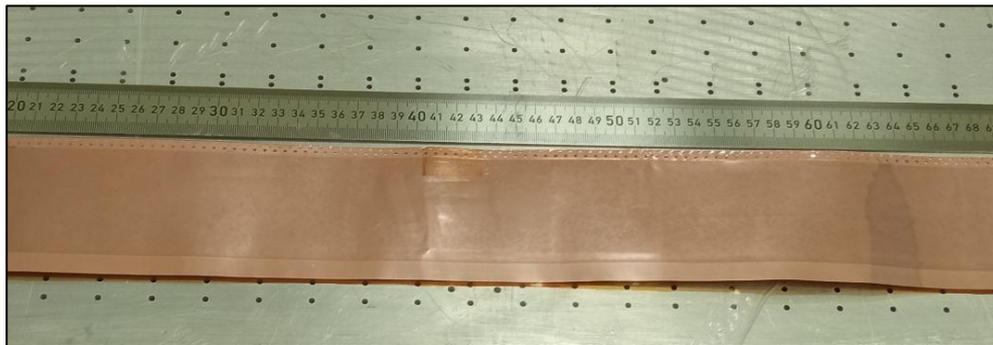
F^-





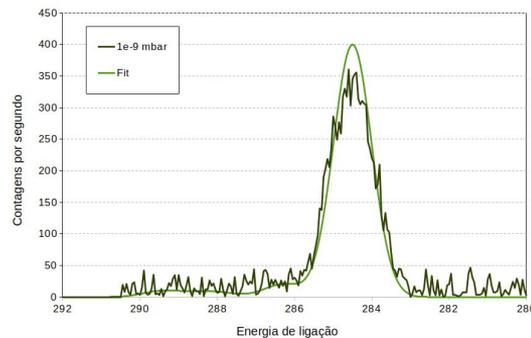
Alta concentração ao redor da faísca que danificou a detector

O depósito pode ser gerado por faíscas, mas também induzi-las

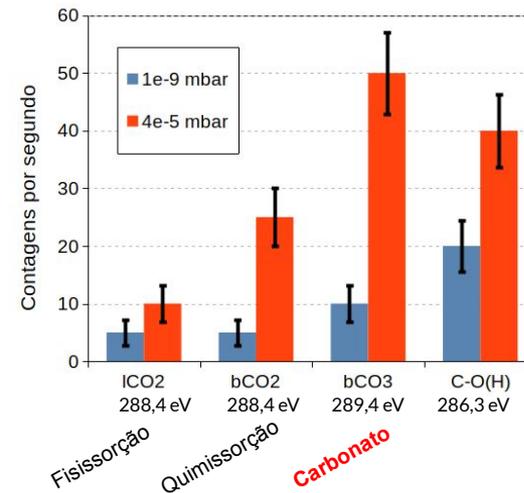
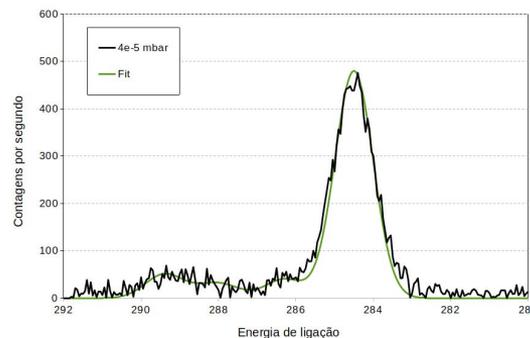


Informação sobre as ligações químicas das moléculas da superfície.

Amostra após limpeza



Exposição à 4×10^{-5} mbar de CO_2





Rugosidade < 0,4 um



Câmara de degradação: Teste de Vazamento

Estanqueidade:

$<1e-3$ Torr $\sim 1e-6$ Atm



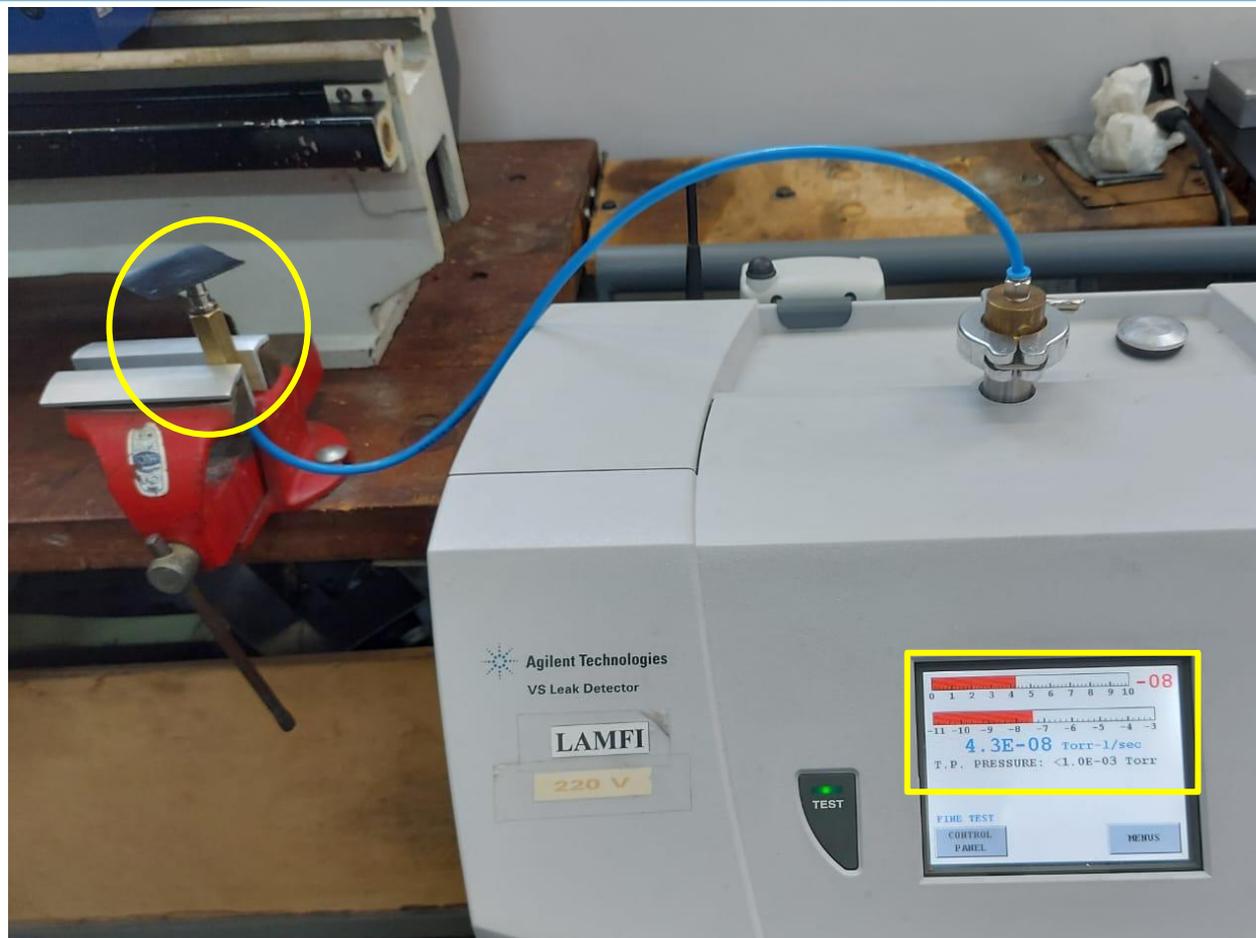
Câmara de degradação: Teste de Vazamento

Estanqueidade:

$<1e-3$ Torr $\sim 1e-6$ Atm

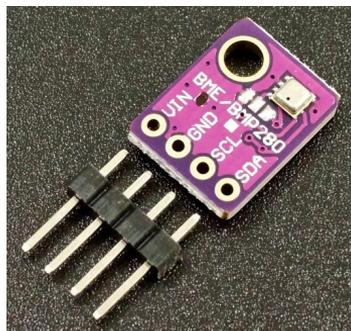
Vazamento de He nos conectores elétricos:

$4,3e-8$ Torr L/s $< 5,7e-8$ cm³/s (1 atm He)



Condições do Gás

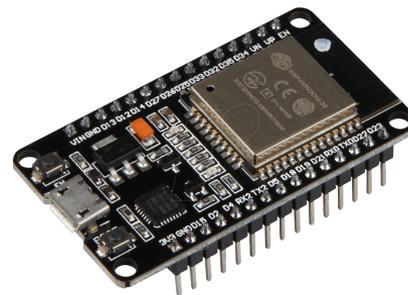
Aquisição



BME-280

Pressão: $\pm 0,2$ Pa (~ 1.7 cm)
Temperatura: ± 0.2 °C
Umidade relativa: $\pm 3\%$

Envio por WIFI



ESP32

Armazenamento e Monitoramento Online



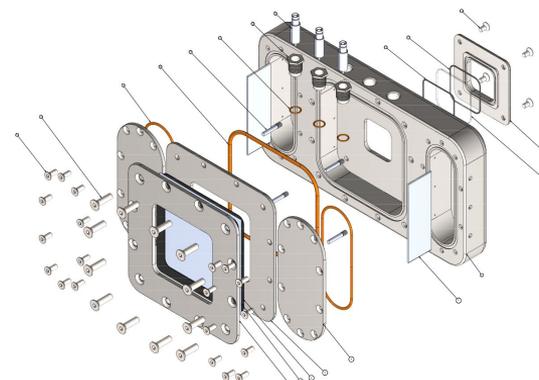
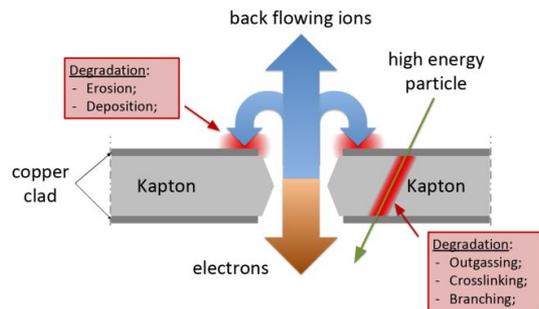
MySQL
API web
Grafana

- O objetivo é contribuir para o entendimento das causas da degradação de detectores gasosos
- Realização de degradação controlada de amostras para evitar ambiguidades
- Utilização de simulações física para auxiliar no design do experimento e entendimento dos resultados experimentais
- Diversos parâmetros de teste
 - Mistura gasosa: CO_2 , CH_2 , CF_4 , butano, ...
 - Taxa e fonte de radiação
 - Amplificação e faíscas
- Produção de amostras usando o material idêntico ao TPC do ALICE
- Técnicas de análise de superfícies como o TOF-SIMS e NAP-XPS são a chave para o avanço no entendimento dos processos de degradação

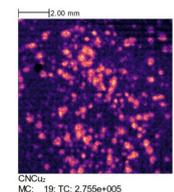
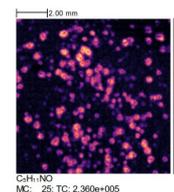
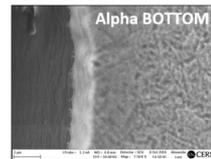
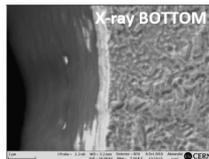
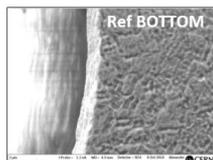
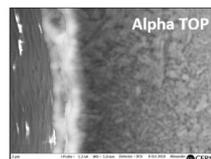
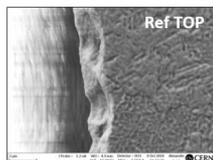
Estudos de Degradação de GEMs

Obrigado!





Lado A



Lado B

