



Uma breve história de Astropartículas no Brasil

Carola Dobrigkeit Chinellato (Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP)

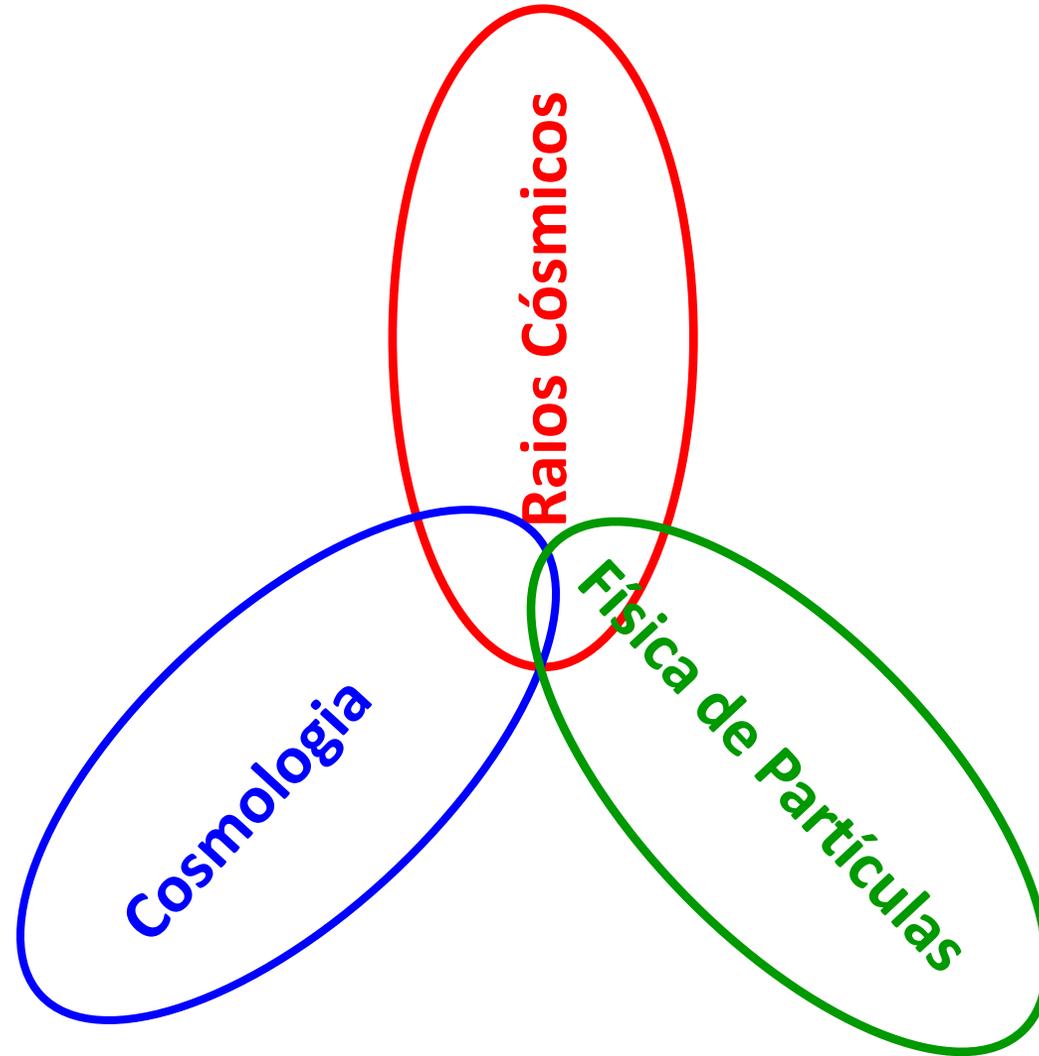
01/07/2024

LATTES 100, USP 90, CERN 70

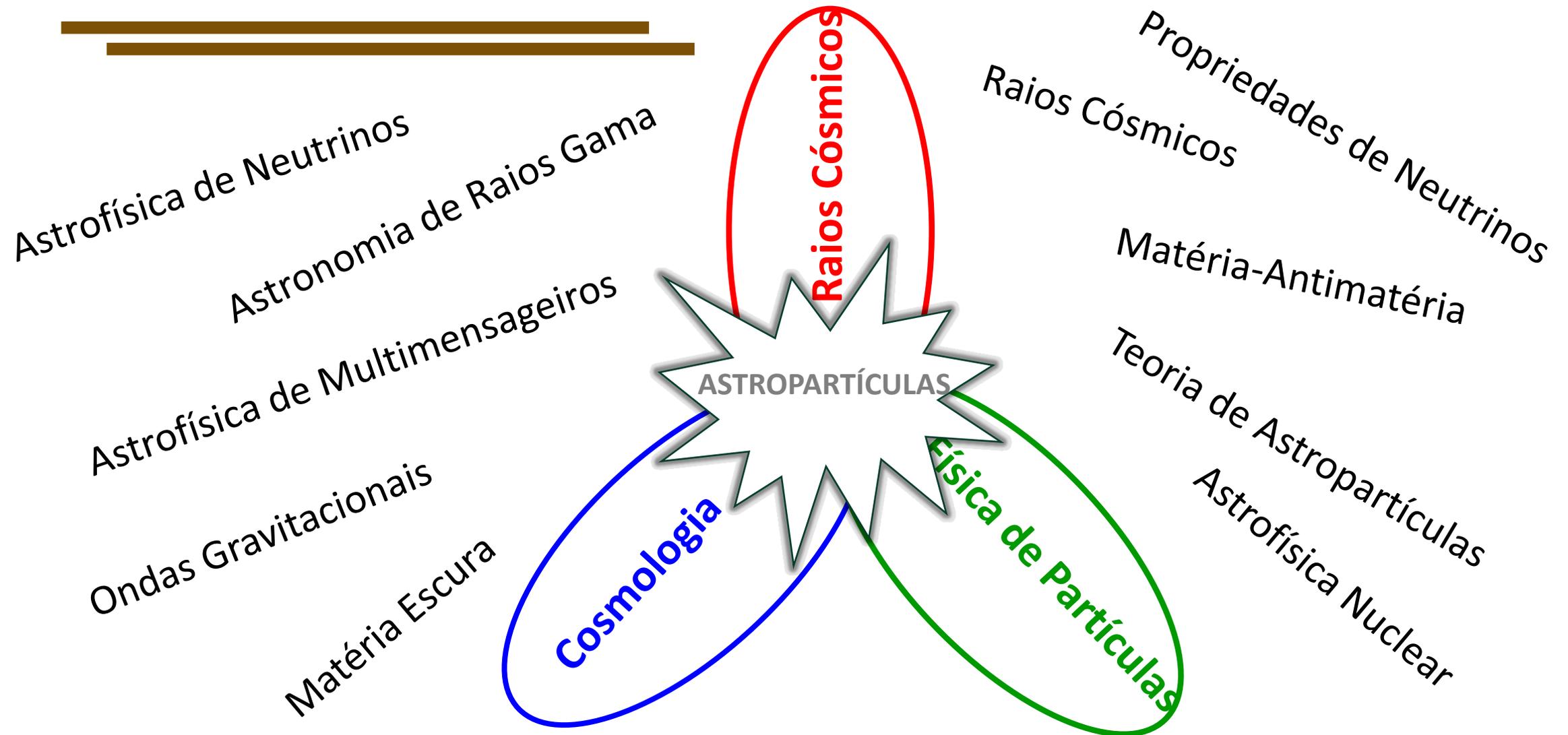
Raios C3smicos

Cosmologia

F3sica de Part3culas



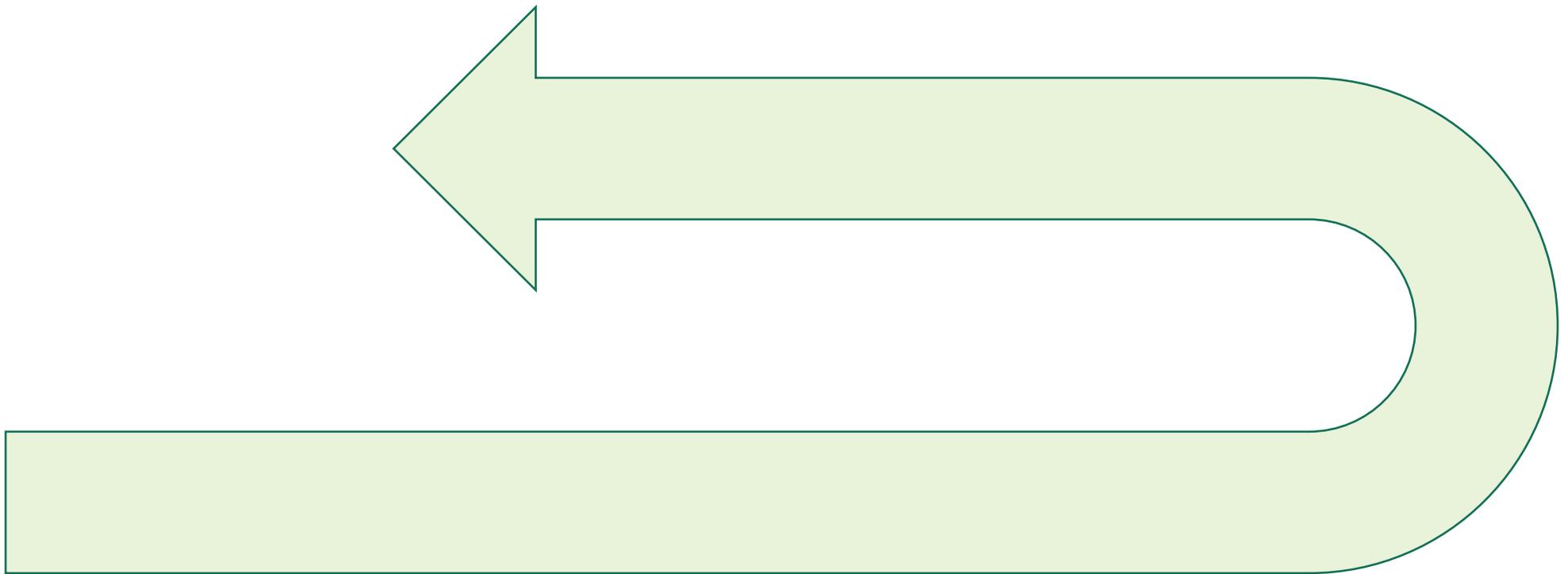
Astropartículas, uma área inclusiva e em expansão



Os pioneiros no Brasil



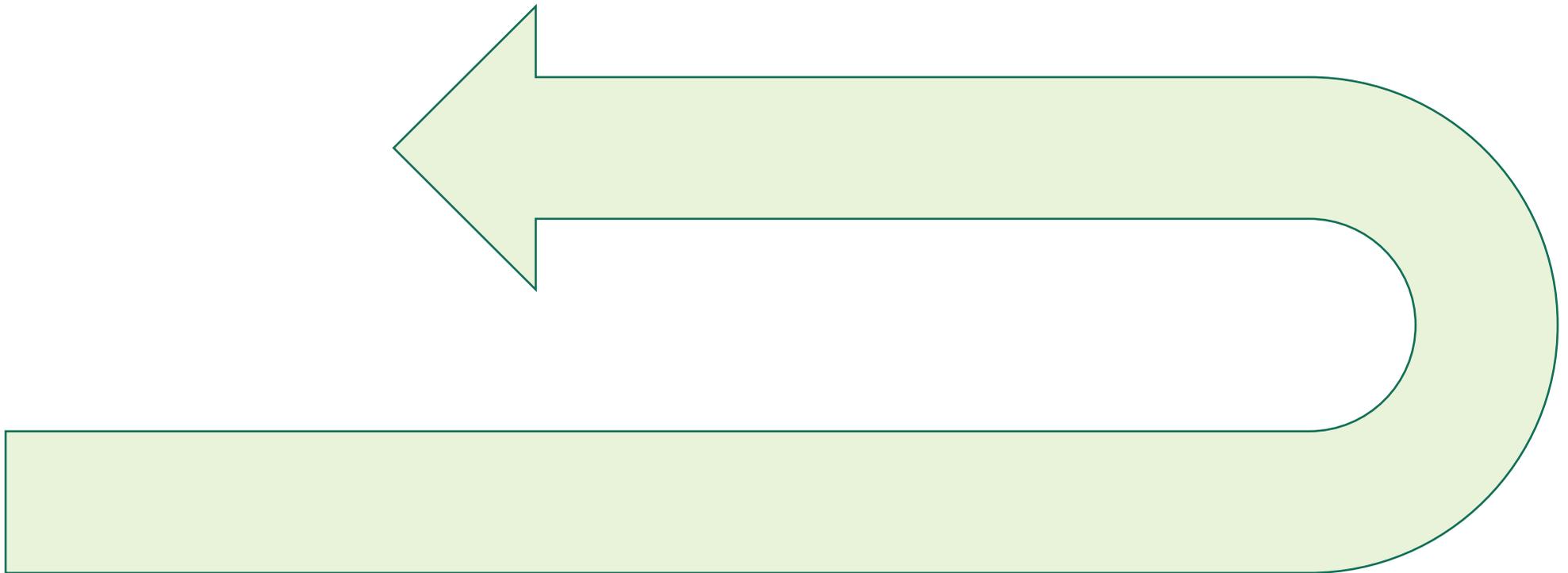
**Bernhard
Gross
1933
(Rio)**



Os pioneiros no Brasil



**Bernhard
Gross
1933
(Rio)**



Bernhard Gross

- Gross havia obtido seu doutorado em 1931, em Stuttgart, Alemanha, com Erich Regener, com medidas de raios cósmicos com balões (a 20.000 m de altitude) e no Lago de Constança (a uma profundidade de 250 m).
- Na Escola Politécnica do Largo de São Francisco, no Rio, Gross logo reuniu um grupo de jovens estudantes interessados em estudar raios cósmicos.
- Já em 1934, suas medidas de raios cósmicos na estratosfera e sob água foram publicadas na Revista Brasileira de Engenharia.
- Com interesses amplos, passou a se dedicar a pesquisas experimentais e teóricas sobre dielétricos sólidos, viscoelasticidade, e em instrumentação.
- Gross teve suas pesquisas com eletretos reconhecidas mundialmente.

Os pioneiros no Brasil



**Bernhard
Gross
1933**



**Gleb
Wataghin
1934**



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Uma das poucas fotos da época

Gleb Wataghin



Acervo FFCL-USP

Gleb Wataghin

- Nasceu em 1899 em Birsula (posteriormente Kotovsk, e, a partir de maio de 2016, Podilsk), naquela época na Rússia, e, atualmente, na Ucrânia.
- De família nobre, o pai engenheiro cuidava das ferrovias imperiais no sul do país.
- Ingressou na Universidade de Kiev em 1918.
- Fugiu da Ucrânia para a Itália em 1919.
- Em Turim, Itália, laureou-se em 1922 com louvor em Física e, em 1924, em Matemática.
- Tornou-se cidadão italiano em 1929, casou-se e teve três filhos. Dois deles também se tornariam físicos.

Gleb Wataghin

- Uma vez formado, passou a dar aulas na Academia Real e na Escola de Aplicação, Artilharia e Inteligência em Turim, entre 1925 e 1929.
- Obteve o título de livre docente em 1929 e assumiu posição na Universidade de Turim (1929-1934), ficando responsável pelos cursos de Mecânica Racional e Física Superior.
- Atento aos desenvolvimentos da Física na década de 1920, acompanhou o advento da Mecânica Quântica e os estudos sobre a composição da matéria: produção de partículas subatômicas em interações de raios cósmicos.

Gleb Wataghin

- Nos anos entre 1929 e 1934, participou de várias conferências internacionais, passando a conhecer os pesquisadores famosos e visitar importantes centros de Física da época.
- Em 1933, foi convidado por Rutherford para visitar a Universidade de Cambridge, onde conheceu Dirac. Visitou também Bohr em Copenhague e Heisenberg em Leipzig.
- Muito bem relacionado com os físicos famosos dos primeiros anos do século XX: tornou-se amigo pessoal de Dirac, Pauli, Heisenberg e Schrödinger, entre outros famosos da época dos primórdios da Mecânica Quântica.

São Paulo no início da década de 1930

- Instituições de ensino superior: Faculdade de Direito (1827), Escola Politécnica (1893) e Faculdade de Medicina (1912).
- Não existia ainda uma universidade, para atender a outros interesses (como Filosofia, Literatura, Biologia, Física, Química, Matemática).
- Havia um movimento entre intelectuais demandando a criação de uma universidade.

Mas por que Wataghin veio a São Paulo?

- Em 1934, o professor Theodoro Augusto Ramos recebeu do então governador Armando de Salles Oliveira a incumbência de convidar eminentes professores na Europa para vir participar da implantação da **Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, idealizada para ser um polo agregador para a criação da **USP**.
- Da Alemanha, vieram biólogos, botânicos, zoólogos. Da França, vieram os humanistas. Da Itália, vieram os matemáticos e físicos.



*Theodoro Augusto Ramos
Matemático e Político*

O convite a Wataghin

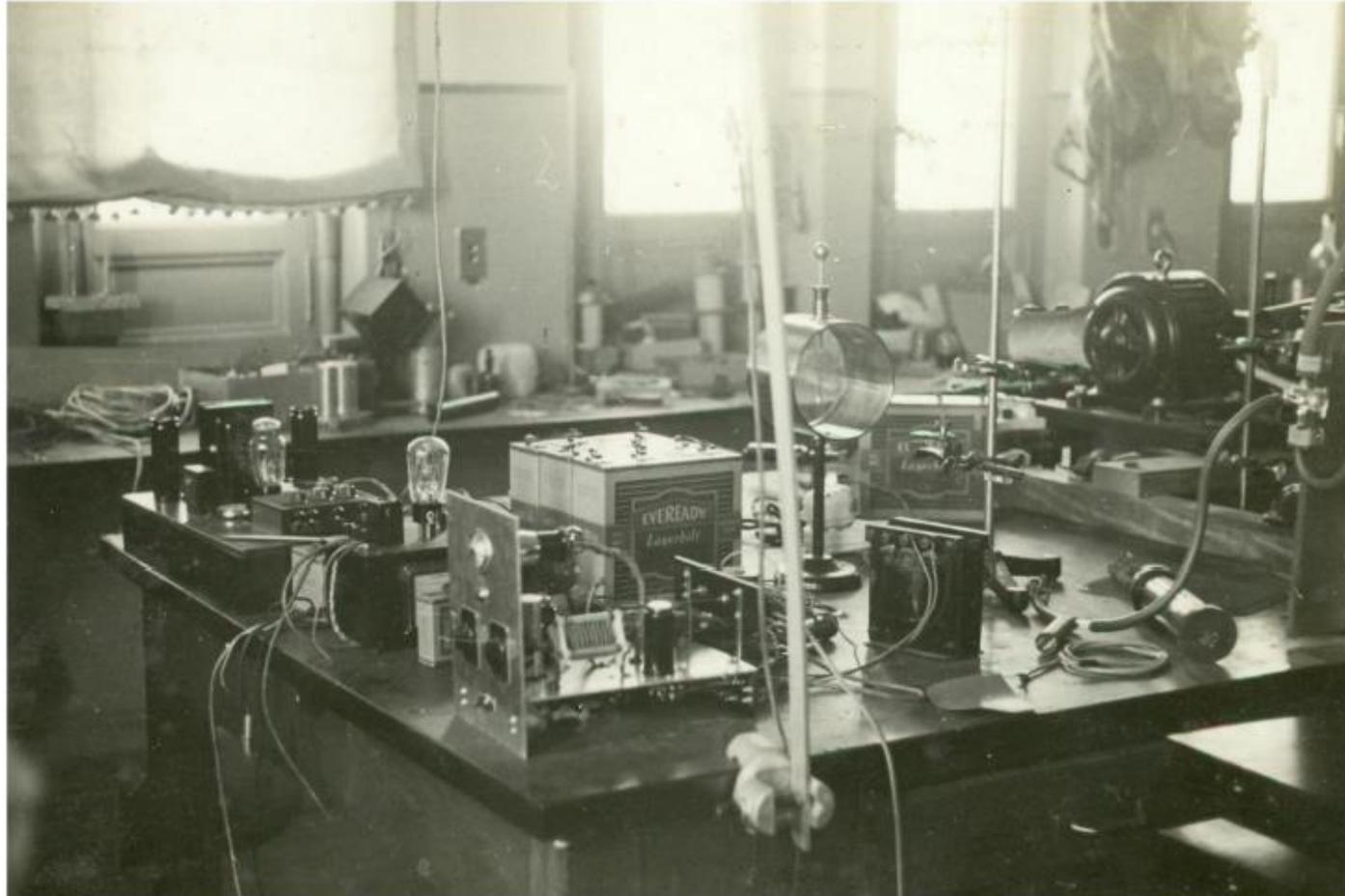
- Wataghin foi indicado por Fermi, e apesar de alguns amigos tentarem dissuadi-lo (entre eles, o amigo John von Neumann), acabou aceitando o convite e o desafio: trabalhar junto a outros ilustres convidados, Claude Lévi-Strauss (filósofo), Luigi Fantappiè (matemático), Giacomo Albanese (matemático), Giuseppe Occhialini (físico), Hans Stammreich (químico), entre muitos outros.

Wataghin na FFCL

- Iniciou aulas de Física para engenheiros e físicos: vários “engenheiros” trocaram a Engenharia pela Física!
- Apresentou a Física Moderna a seus alunos (sua segunda missão de *evangelização*, como Fermi chamava a tarefa de introduzir a Mecânica Quântica em ambiente novo – a primeira missão tinha sido em Turim).
- Mesmo sendo ele um físico teórico, Wataghin organizou um grupo de **Física Experimental** contando com a colaboração de jovens estudantes, como Marcello Damy e Paulus Aulus Pompéia para estudar **interações induzidas por partículas cósmicas**.
- A instrumentação eletrônica desenvolvida por seu grupo era competitiva em nível mundial.

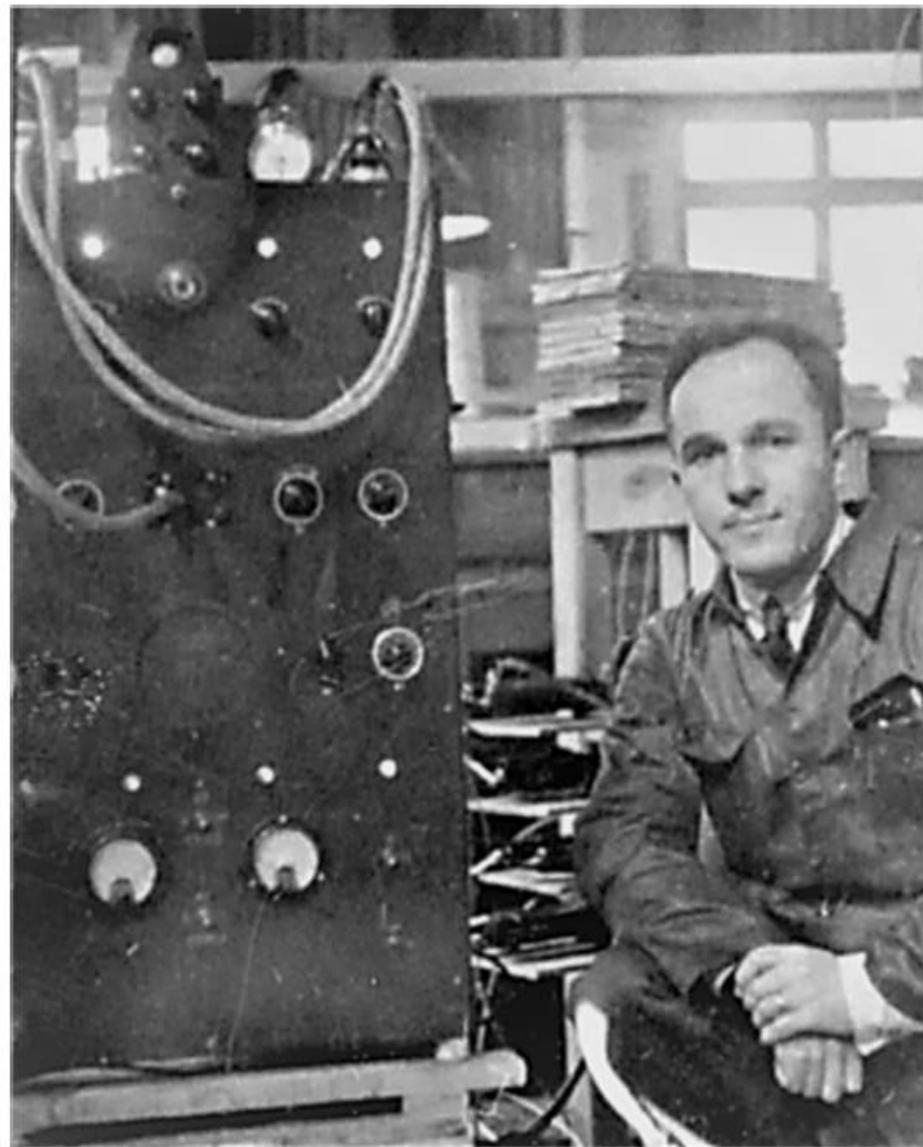
O primeiro laboratório de Wataghin (8×8 m²)..

- Ainda no sótão da Escola Politécnica..



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Wataghin no Laboratório de Física da USP, nos anos 1930, junto ao contador Geiger utilizado em experiências com raios cósmicos.



A próxima geração



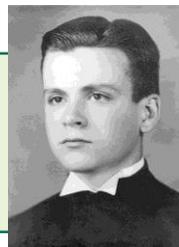
**Bernhard
Gross
1933**



**Gleb
Wataghin
1934**

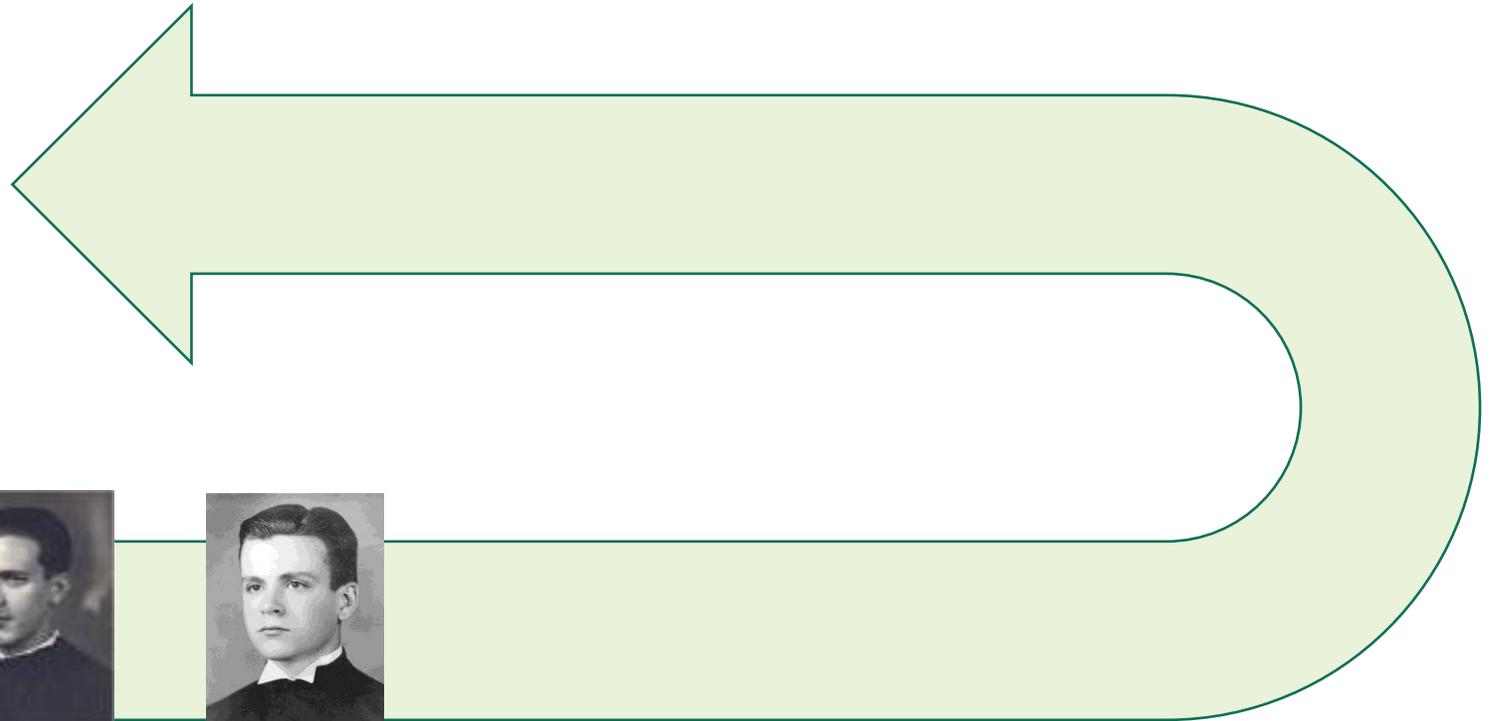


**Paulus Aulus Pompeia
& Marcello Damy
1939-1940**



**Cesar Lattes
1941-1943**

LATTES 100, USP 90, CERN 70



O jovem assistente Marcello Damy, em 1939, no experimento na mina de Morro Velho



ANNAES
DA
ACADEMIA BRASILEIRA DE SCIENCIAS

COSMIC-RAY SHOWERS AT GREAT DEPTHS

G. WATAGHIN AND M. DAMY DE SOUSA SANTOS
Departament of Physics. University of São Paulo

Arrangements for fourfold coincidences measurements with G. M. counters were employed to study shower intensities under different thicknesses of rock and different experimental conditions. Measurements were made in the mine of Morro-Velho (Brasil) at depths of 200 and 400 m. water equivalent below the surface and in São Paulo at a depth of 50 m. water equivalent.

Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation*

LETTERS TO THE EDITOR

61

Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation

Some experiments were made to examine whether showers with two or more penetrating particles could be found in cosmic radiation.

The apparatus used has been described in a previous paper.¹ It consisted of a fourfold coincidence set provided with a Neher-Harper circuit; its coincidence time was of 7×10^{-7} min. The counters used were of 100 cm² area and were filled with hydrogen and argon at a total pressure of 15 mm of mercury. Their efficiency, measured according to the method of Street and Woodward, was 100 percent.

The arrangement of the counters consisted of two sets of telescopes in coincidence (Fig. 1), each counting only rays which produce coincidences through a layer of lead 16 cm thick.

The results of the measurements (made at an altitude of 800 m above sea level), are given in Table I. The observed

Souza Santos have indepently discussed the absorpton processes of the mesotron producing radiation in the high atmosphere and have pointed out that in order to explain the high absorpton of this radiation in the upper region of the atmosphere and the penetrating power of the mesons, it is necessary to assume that at least two mesotrons are simultaneously created (which makes improbable the inverse process.)

A further report of these measurements will be published elsewhere.

G. WATAGHIN
M. D. DE SOUZA SANTOS
P. A. POMPEIA

Department of Physics,
São Paulo University,
São Paulo, Brazil,
December 8, 1939.

¹ Annaes da Academia Brasileira de Sciencias. T. XI, p. 1.

² La Ricerca Scient., in the press.

³ Annaes da Academia Brasileira de Sciencias, in the press.

* "Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation", G. Wataghin, M. Damy de Souza Santos, P. A. Pompeia, The Physical Review, v.57, n.1, p.61, 1939

Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation*

Um trecho da conclusão:

- Further studies on the number of penetrating particles in a shower and on the extension of those showers are in course, and **results already obtained lead us to think that the observed particles are associated with the penetrating cores of the extensive air showers discovered by Auger and his co-workers.**

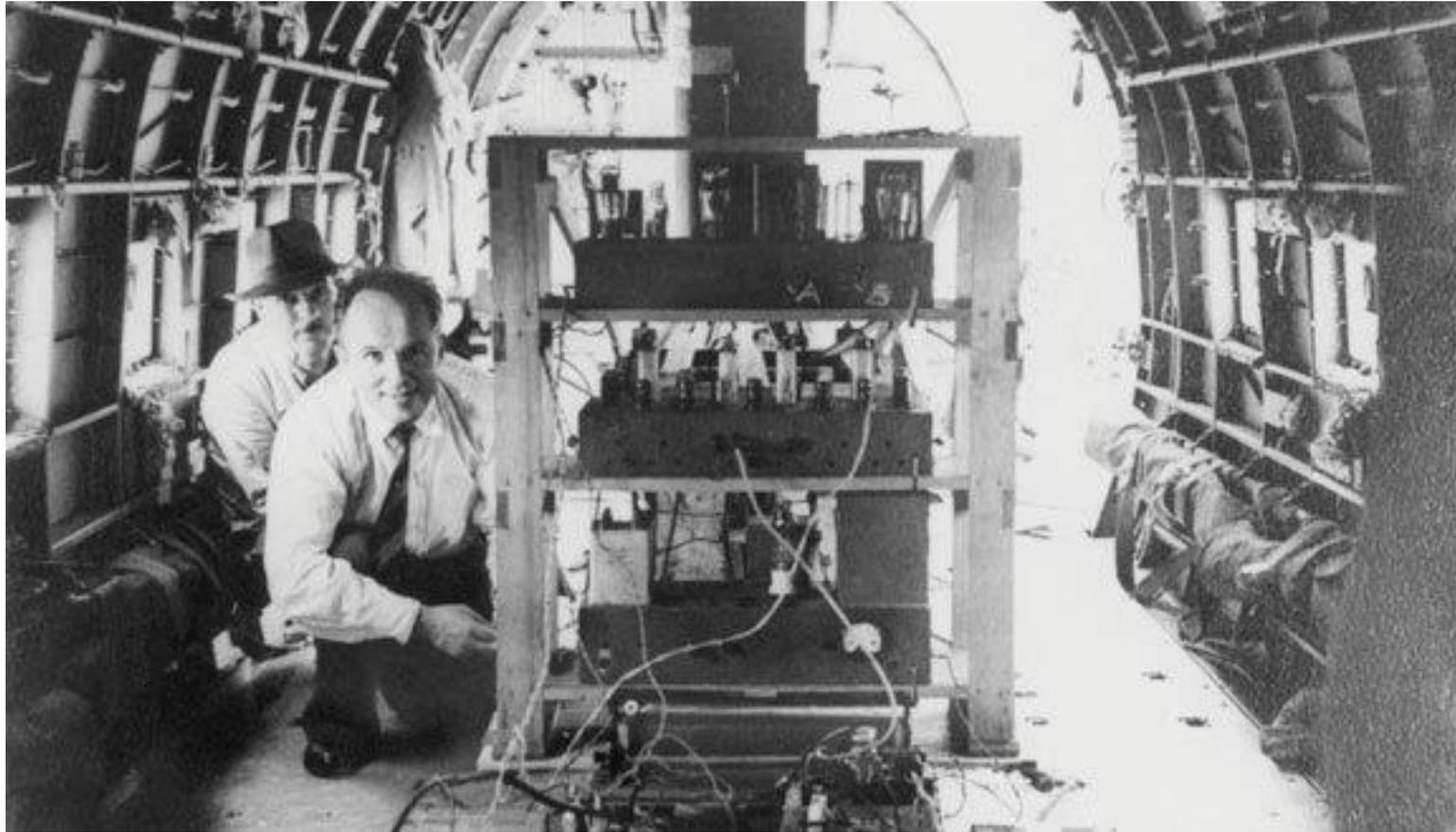
* "Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation", G. Wataghin, M. Damy de Souza Santos, P. A. Pompeia, *The Physical Review*, v.57, n.1, p.61, 1940



Década de 1940: Experiências realizadas em altitude com aviões cedidos pela Força Aérea Brasileira.

LATTES 100, USP 90, CERN 70

Wataghin também fez experimentos de raios cósmicos durante voos em aviões...



Francisco Bentivoglio Guidolin e Gleb Wataghin em 1940, em um avião da FAB para fazer medidas de raios cósmicos a grandes altitudes.

A próxima geração



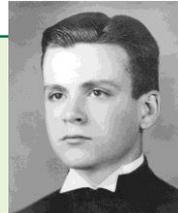
Gross
1933



Wataghin
1934



Paulus Aulus Pompeia &
Marcello Damy
1939-1940



Cesar Lattes
1941-1943



Cesar Lattes
~1949

LATTES 100, USP 90, CERN 70

Cesar Lattes

- Logo após terminar sua graduação na Universidade de São Paulo em 1943, Lattes se tornou um dos assistentes de Wataghin. Lattes construiu e operou, ainda estudante, uma câmara de nuvens (câmara de Wilson), por sugestão de Giuseppe Occhialini.
- Em 1946, Lattes viajou a Bristol para juntar-se ao grupo de Cecil Powell nas pesquisas de traços de partículas usando as novas emulsões nucleares, com maior concentração de brometo de prata, que tinham sido desenvolvidas especialmente pela Ilford para as pesquisas do grupo.
- A ideia era expor as placas de emulsão a raios cósmicos em altitudes de montanha. Occhialini expôs algumas emulsões no Pic du Midi, nos Pirineus.
- As pesquisas com raios cósmicos usando a técnica rendeu uma série de publicações e, finalmente, o Prêmio Nobel a Cecil Powell em 1950.

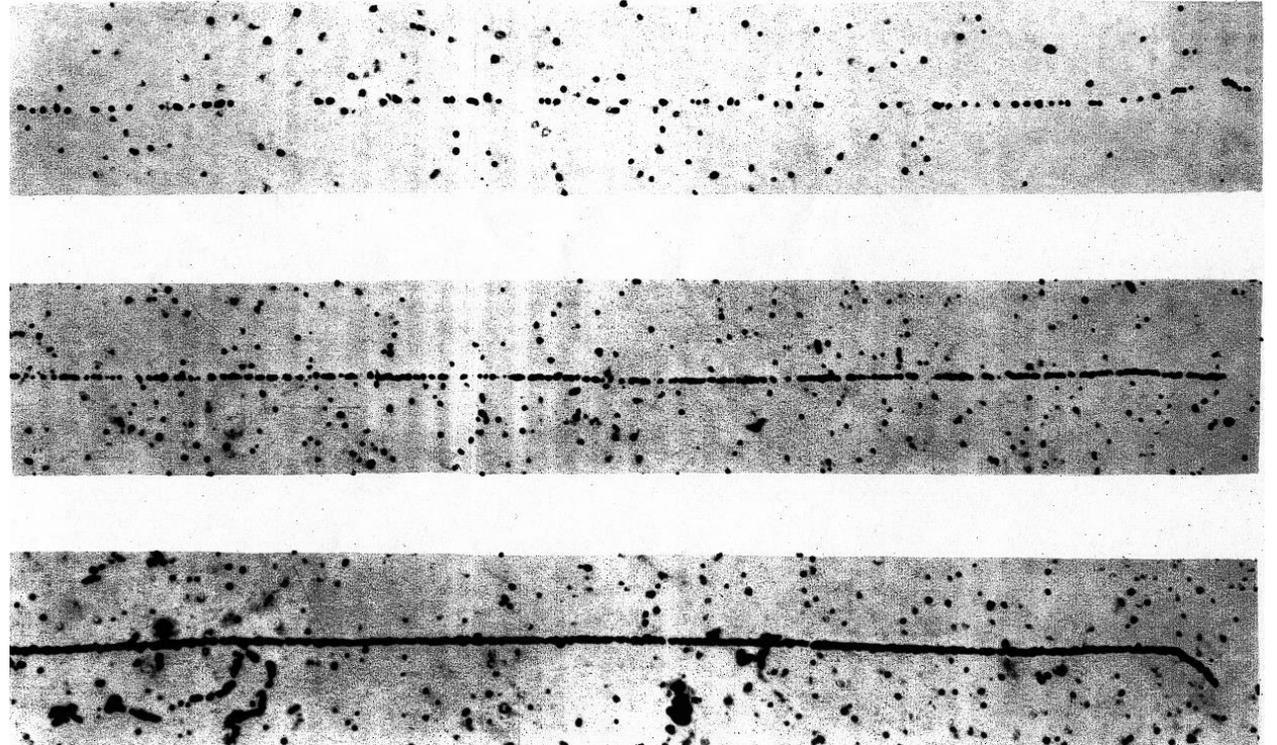
Um pedido de Lattes

- Um pedido de Lattes à empresa fabricante das emulsões foi determinante para aprimorar ainda mais o seu desempenho na detecção de partículas.
- Lattes sugeriu para a Ilford acrescentar um **borato** nas emulsões concentradas, tornando-as mais resilientes à perda do sinal e fazendo com que o sinal permanecesse registrado por mais tempo.
- Lattes também pesquisou e descobriu um sítio ideal para expor as emulsões a um fluxo maior de raios cósmicos: **Monte Chacaltaya**, Bolívia.

Emulsões nucleares

Emulsões nucleares (gelatina contendo brometo de prata) foram exploradas a partir de 1935 e aperfeiçoadas como detectores de partículas a partir de 1946.

Lattes, Occhialini & Powell expuseram algumas delas a raios cósmicos em diferentes altitudes de montanha. O experimentos culminaram com a descoberta dos mésons pi, hoje chamados de píons.

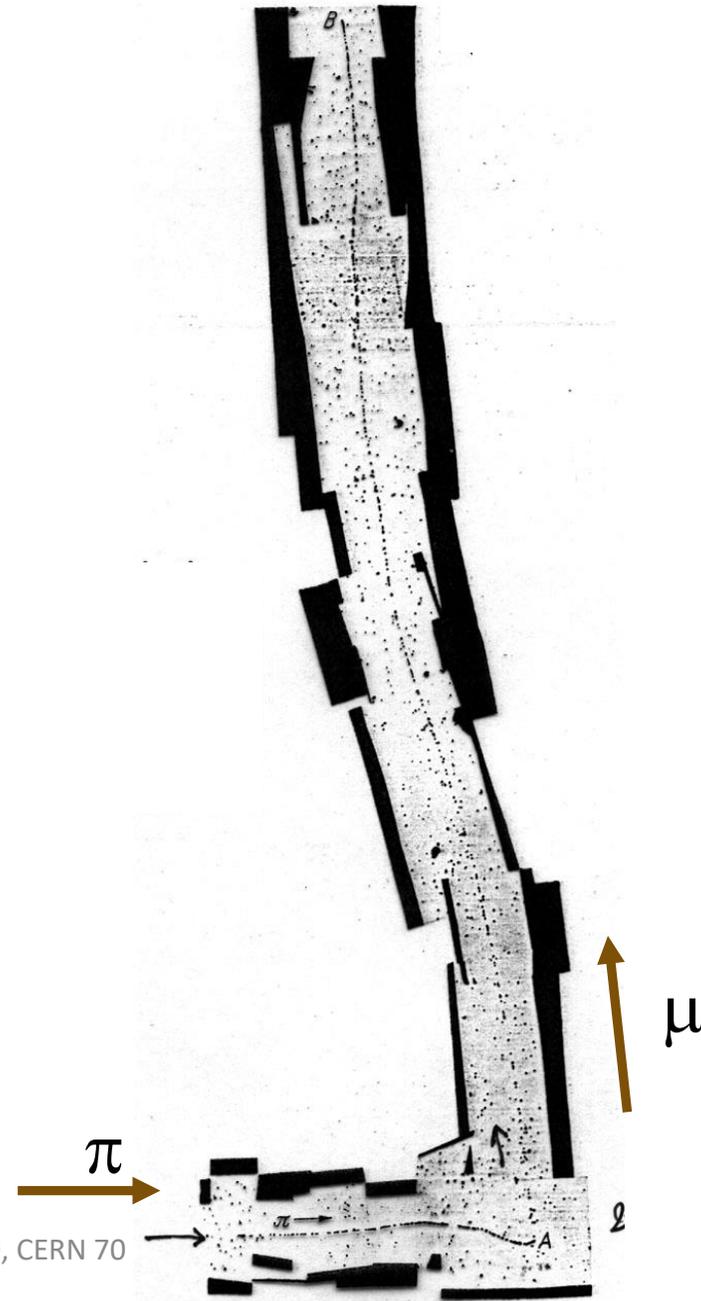
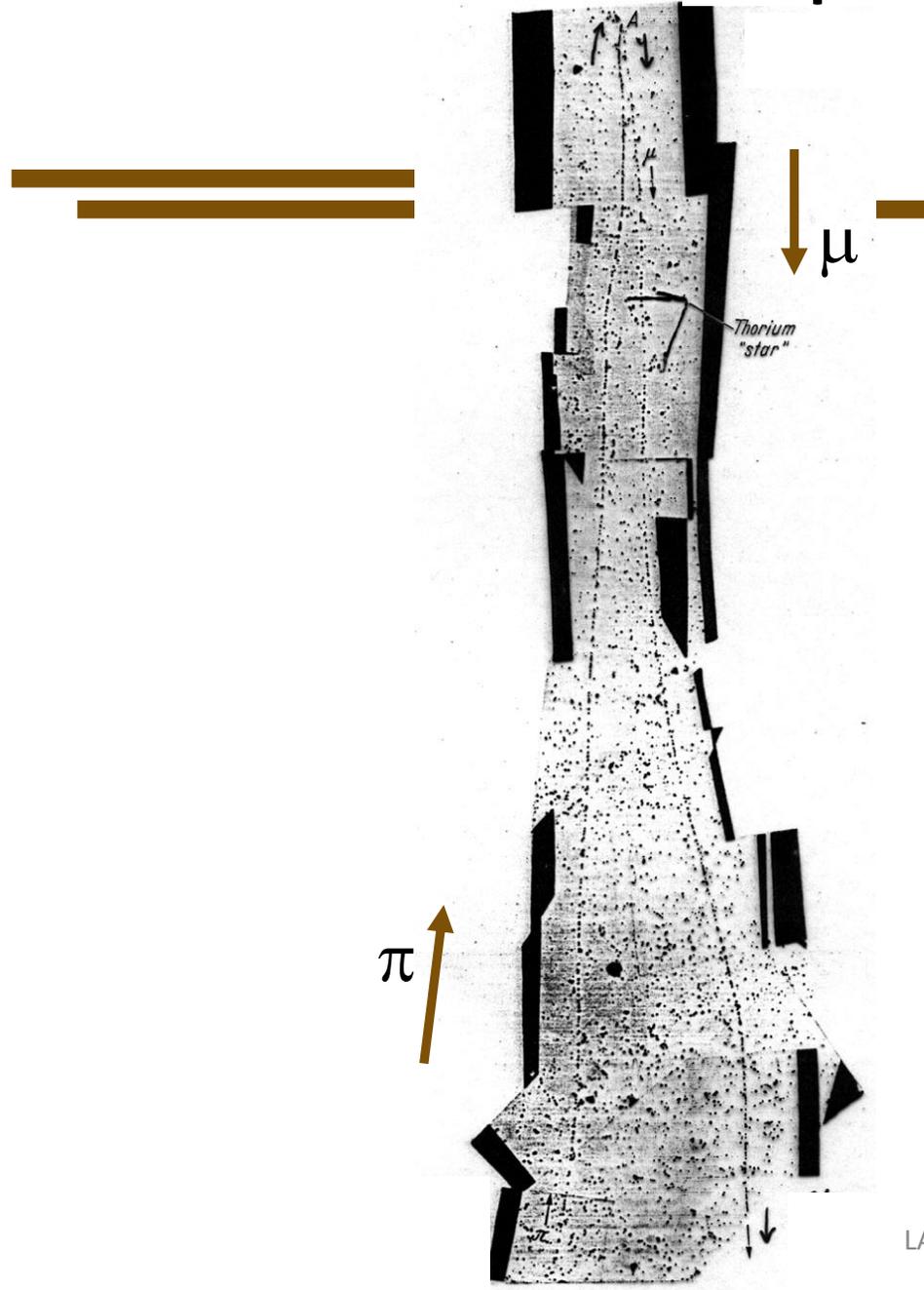


Cesar Lattes ao microscópio

Muita calma e paciência é necessária para contar os grãos da prata ao microscópio e conseguir estabelecer uma relação entre o alcance de uma partícula na emulsão e a sua energia.



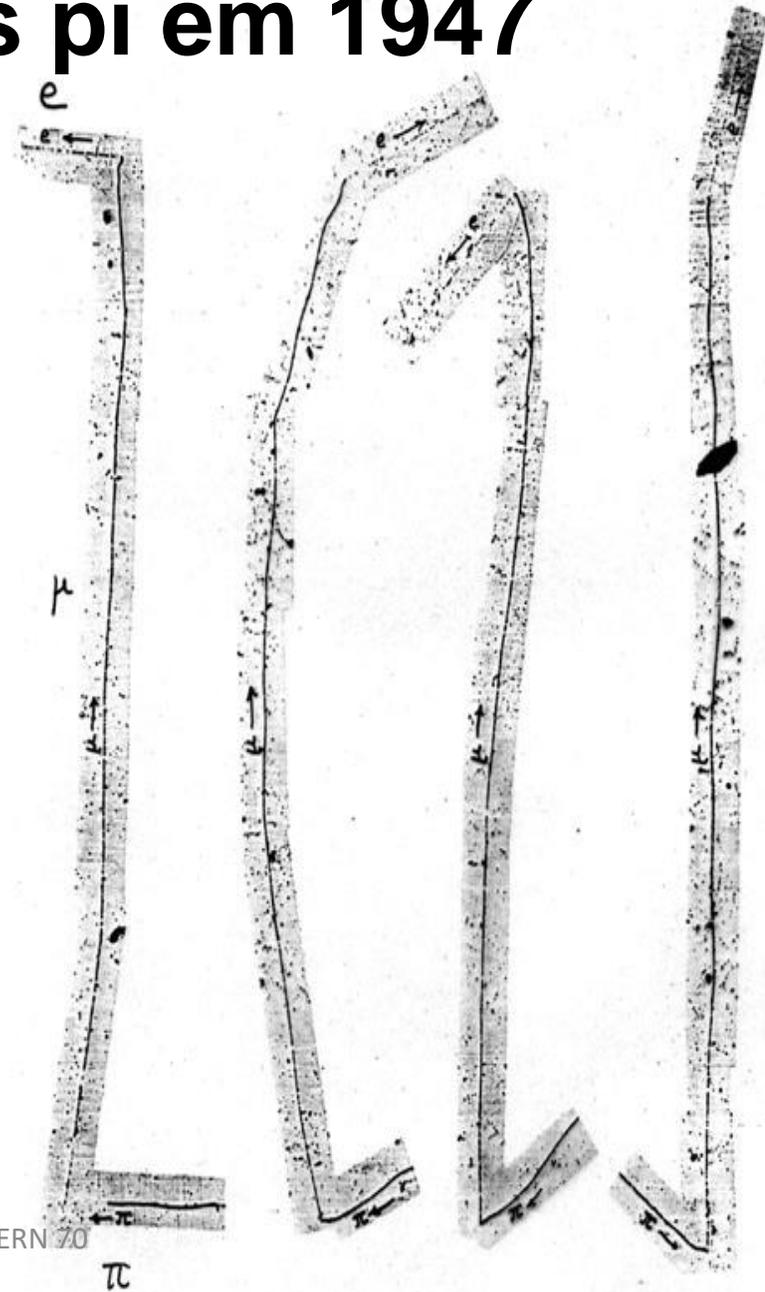
Os primeiros mésons pi



LATTES 100, USP 90, CERN 70

A descoberta dos mésons pi em 1947

Os traços das partículas nas emulsões expostas no Mt. Chacaltaya revelaram decaimentos sucessivos dos mésons pi:
píons \rightarrow múons \rightarrow \rightarrow elétrons.



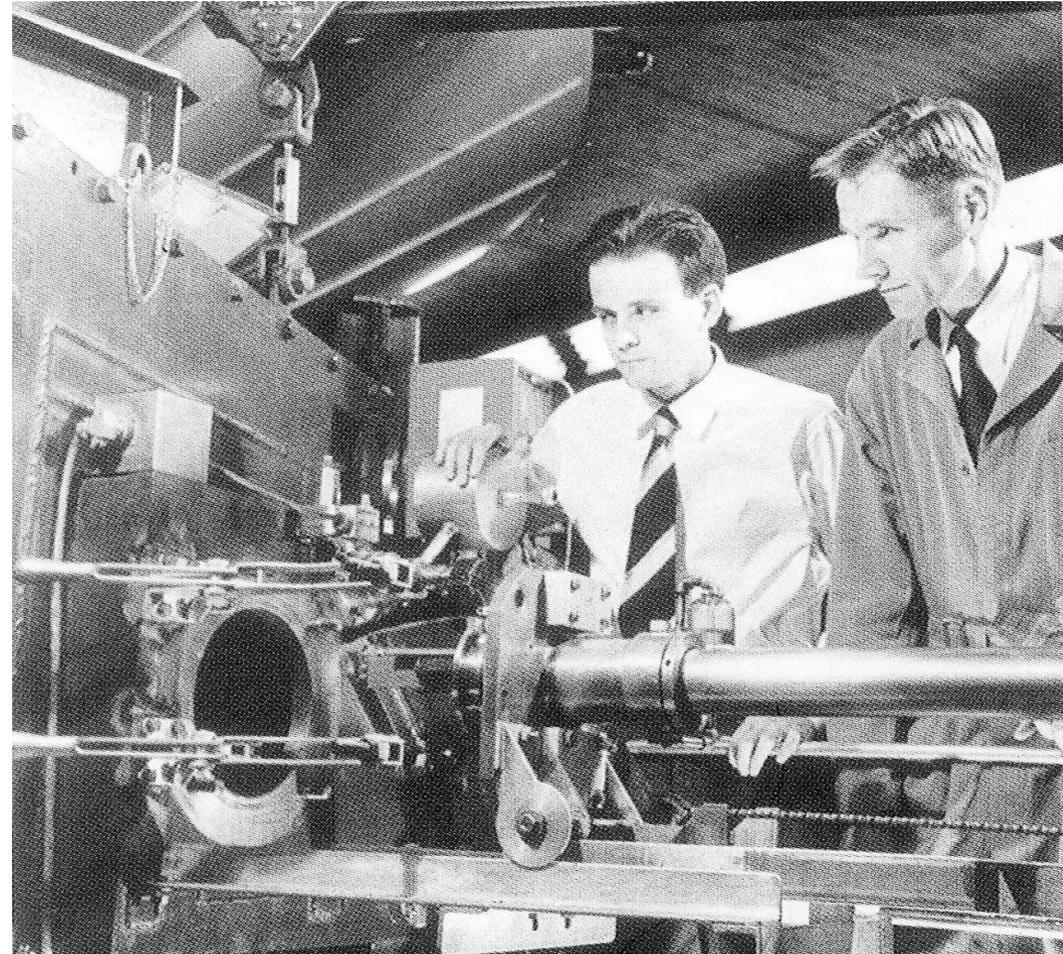


O grupo de Cecil Powell (à esquerda), com Lattes (no centro) e Giuseppe Occhialini (à frente de Lattes, à direita na foto).

LATTES 100, USP 90, CERN 70

Detectando píons produzidos em aceleradores

- Em 1948, Lattes levou algumas emulsões aos EUA e as expôs no cíclotron de 380 MeV do Berkeley Laboratory (partículas alfa incidindo sobre um alvo de carbono).
- Cesar Lattes e Eugene Gardner mostraram que esses píons estavam sendo produzidos artificialmente no acelerador.





Ainda em 1949,...

- Lattes participou, juntamente com Edwin McMillan, da **primeira observação de fotoprodução de píons** no síncrotron da Universidade da Califórnia, que acelerava elétrons até 300 MeV.
- Sabendo o que procurar, Lattes imediatamente encontrou dezenas de traços de píons nas emulsões expostas aos raios gama produzidos no acelerador.
- Desafortunadamente, este resultado nunca foi publicado.

Voltando ao Brasil

- Participou da criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) no Rio de Janeiro em 1949, e foi seu primeiro diretor científico até 1955.
- Participou ainda da criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), hoje o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (1951).
- No início da década de 1950, o CBPF dispunha da instrumentação necessária para Lattes criar um grupo de pesquisas dedicado a raios cósmicos. Quando necessário, os instrumentos eram levados para o Mt. Chacaltaya.



Década de 1960 – Lattes na USP

- Entre 1955 e 1956, Lattes passou um ano sabático nos Estados Unidos, inicialmente como pesquisador associado no Instituto Enrico Fermi para Estudos Nucleares da **Universidade de Chicago** e, posteriormente, na **Universidade de Minnesota**. Participou de estudos do decaimento de píons produzidos em interações de raios cósmicos de altas energias.
- No início dos anos 1960, Lattes assumiu interinamente a cadeira de Física Superior na **Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da USP**, a convite de Mario Schenberg.
- Nessa época participou dos **International Cooperative Emulsion Flights (ICEF)**. Coordenado por Marcel Schein, de Chicago, expondo pilhas de emulsões a raios cósmicos em voos de balão. Também deu os primeiros passos para a dar início às pesquisas da **Colaboração Brasil-Japão** em interações de raios cósmicos de altíssimas energia.
- Lattes permaneceu na USP até meados da década, quando se integrou ao projeto de fundação da Universidade de Campinas. Para lá transferiu a liderança científica da parte brasileira do projeto da Colaboração Brasil-Japão que já substituíra as atividades do ICEF na USP.

Lattes na Bolívia



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Lattes no Mt. Chacaltaya



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Lattes
carregando
caixas com
emulsões.



A primeira colaboração internacional



Gross
1933



Wataghin
1934



Paulus Aulus Pompeia &
Marcello Damy
1939-1940



Cesare Lattes
1943-1949
píon



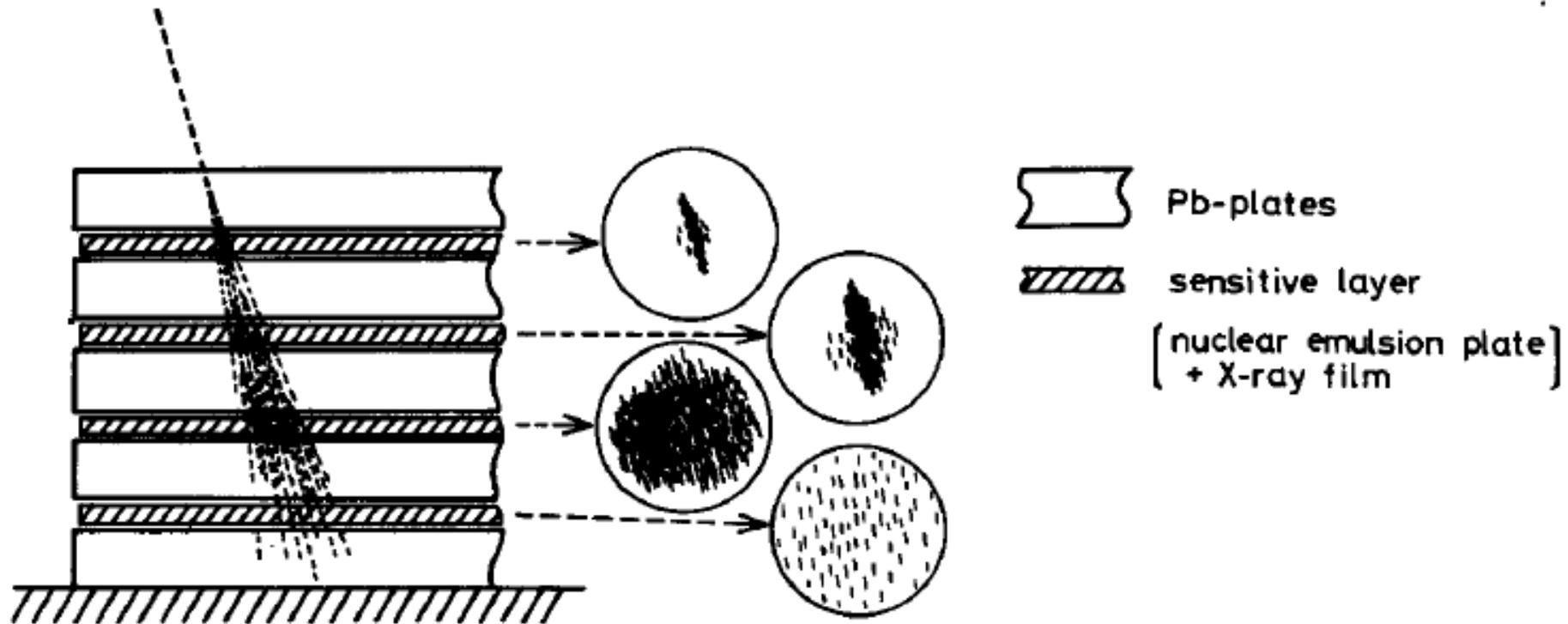
Colaboração Brasil – Japão
Mt. Chacaltaya
1959 – final década de 1980
USP - UNICAMP

LATTES 100, USP 90, CERN 70

A Colaboração Brasil – Japão

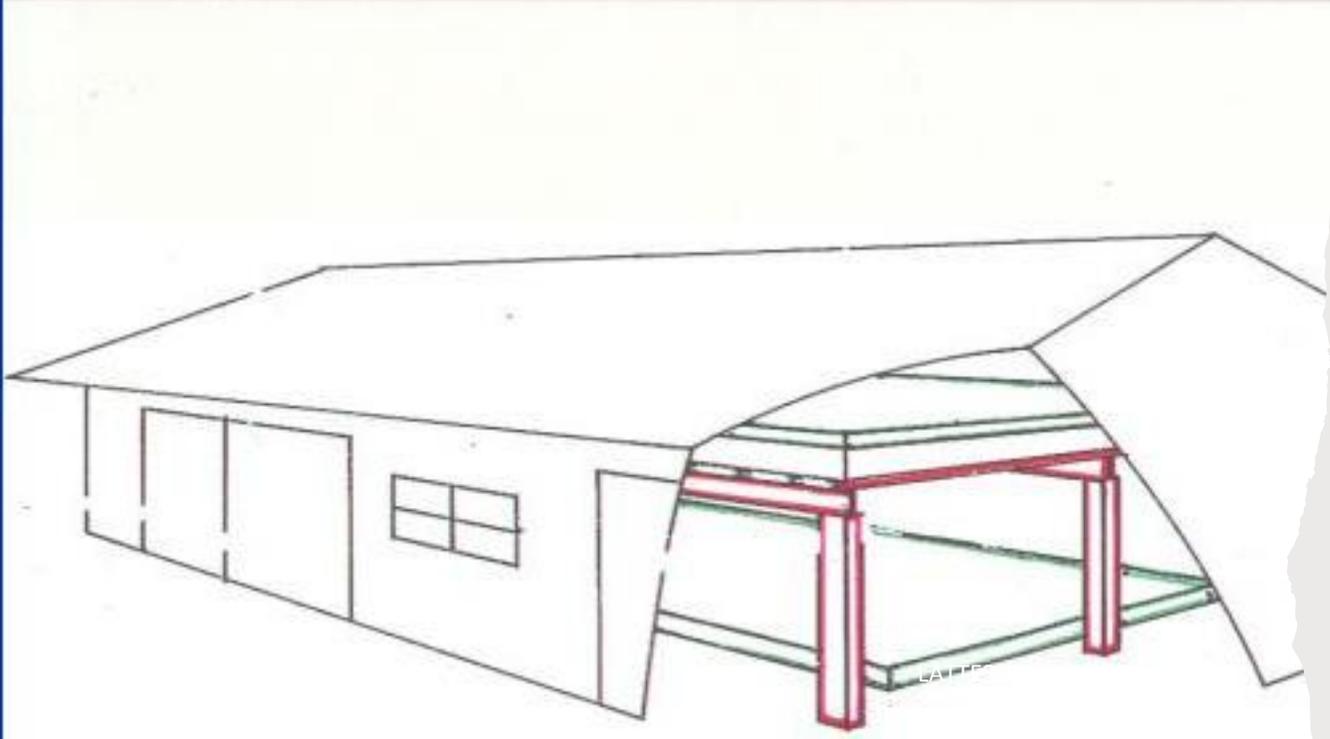
- No final da década de 1950, **Hideki Yukawa e Cesar Lattes** eram as maiores autoridades em píons no Japão e no Brasil.
- Em 1959, Yukawa escreveu uma carta a Lattes, relatando as atividades de um grupo de jovens físicos japoneses no Monte Fuji relacionadas aos raios cósmicos e sugerindo uma **colaboração com físicos brasileiros no Monte Chacaltaya**.
- A primeira câmara de emulsão foi exposta no Mt. Chacaltaya em 1962, com mais vinte outras expostas nas décadas seguintes.
- Yoichi Fujimoto e Shun-ichi Hasegawa foram as principais forças por trás da equipe japonesa.

Uma câmara de emulsões, raios-X e chumbo



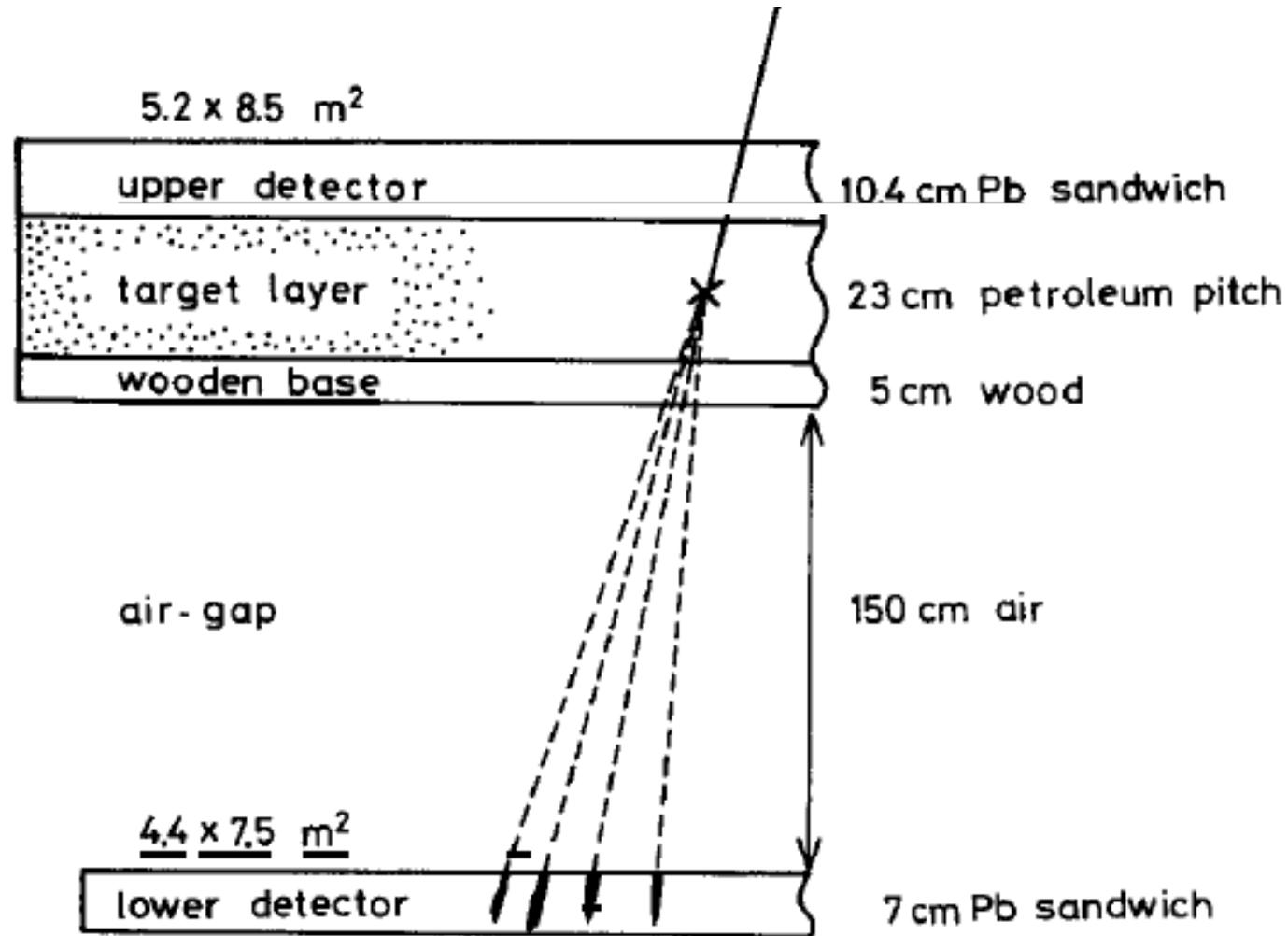
Estrutura básica de uma câmara de emulsões como um detector de cascatas eletromagnéticas.

Arranjo experimental



O Laboratório de Raios Cósmicos no Mt. Chacaltaya (Bolívia) a 5220 m

Uma câmara de dois andares



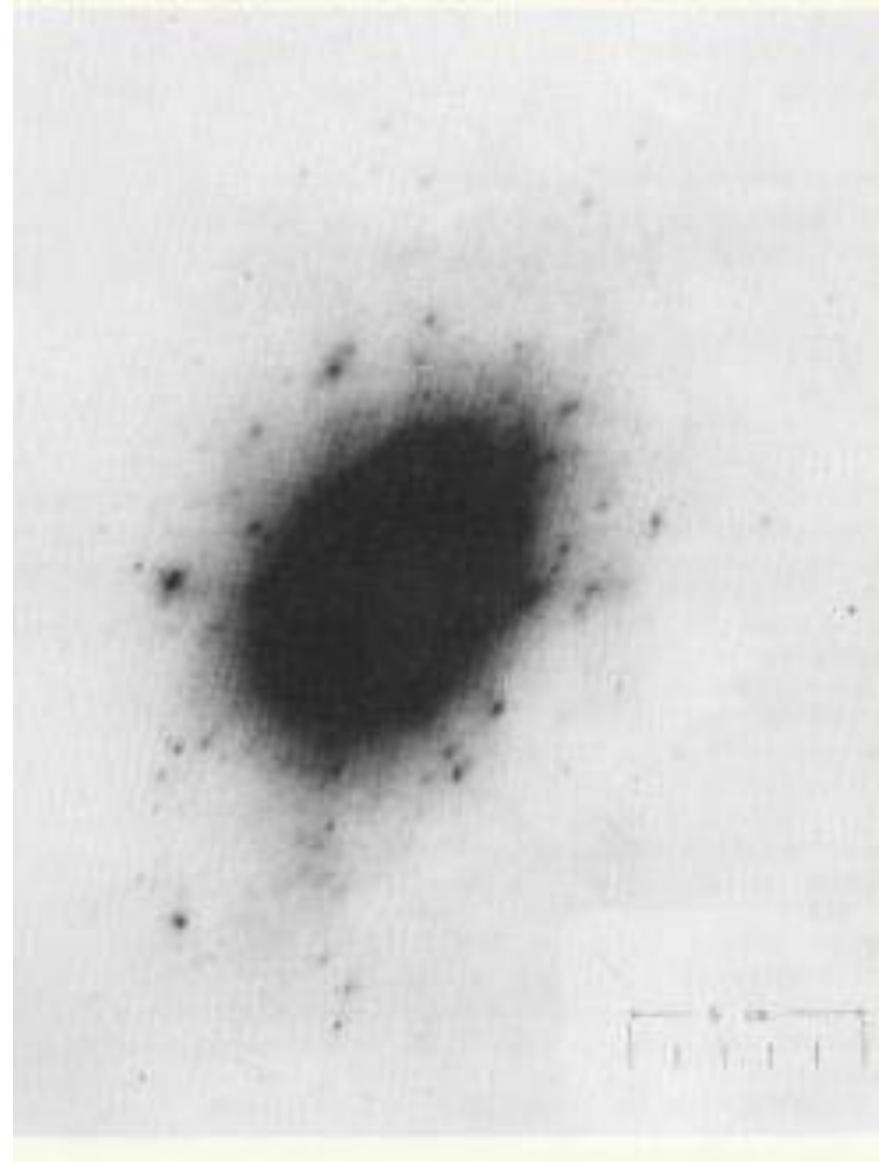
Uma câmara de emulsões de dois andares como as expostas no Mt. Chacaltaya pela CBJ.

Uma câmara de emulsões



O evento Andromeda

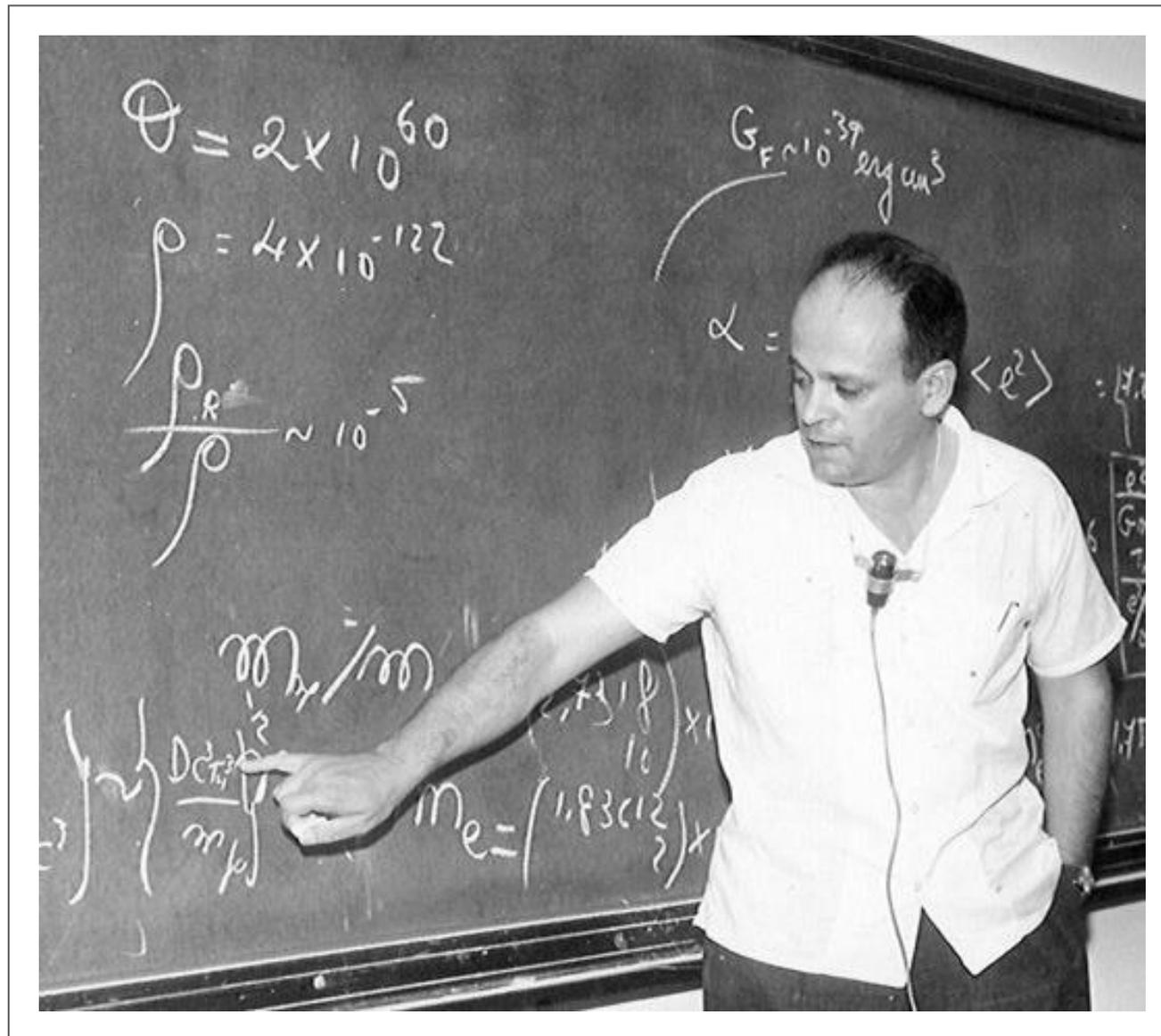
Este resultado e outros estão publicados em Physics Reports **65** (1980) 151-229.



Lattes na UNICAMP (1966 – 1985)

- Marcello Damy, que fora aluno de Wataghin na década de 1930, torna-se o primeiro diretor do Instituto de Física da UNICAMP e convida Lattes para se juntar à nova instituição.
- Lattes muda-se para a UNICAMP e traz consigo participantes do grupo de pesquisadores que com ele trabalhavam na USP.
- Lattes e seu grupo dão continuidade às pesquisas em colaboração com os cientistas japoneses, expondo câmaras de emulsão e raios-X na Bolívia. A Colaboração Brasil-Japão perdurou por muitas décadas, estudando as características de **interações hadrônicas de energias entre 10^{14} e 10^{17} eV que ocorrem na atmosfera ou no chumbo ou no piche na câmara.** Publicações analisando os resultados perduram até no século XXI.

Lattes na UNICAMP (1966 – 1985)



O patrono do Instituto de Física Gleb Wataghin, da UNICAMP



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Wataghin descerrando a placa com seu nome em 1971



LATTES 100, USP 90, CERN 70

Novo século, novas colaborações



Gross
1933



Wataghin
1934

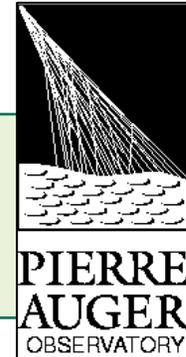


Paulus Aulus Pompeia &
Marcello Damy
1939 – 1940



Cesare Lattes
1943 – 1949
píon

LATTES 100, USP 90, CERN 70

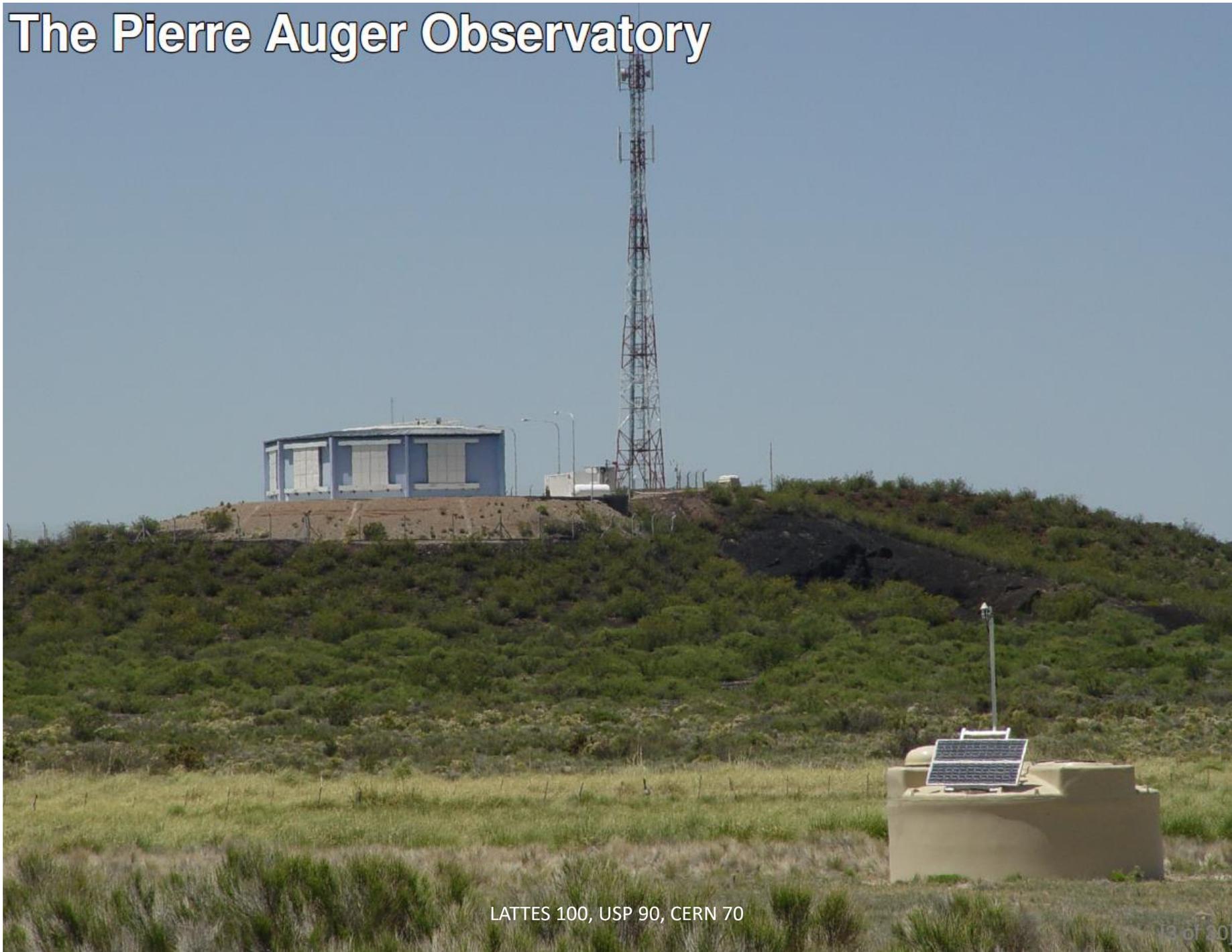


1999 – hoje



Colaboração Brasil – Japão
Mt. Chacaltaya
1959 – final década de 1980
USP – UNICAMP

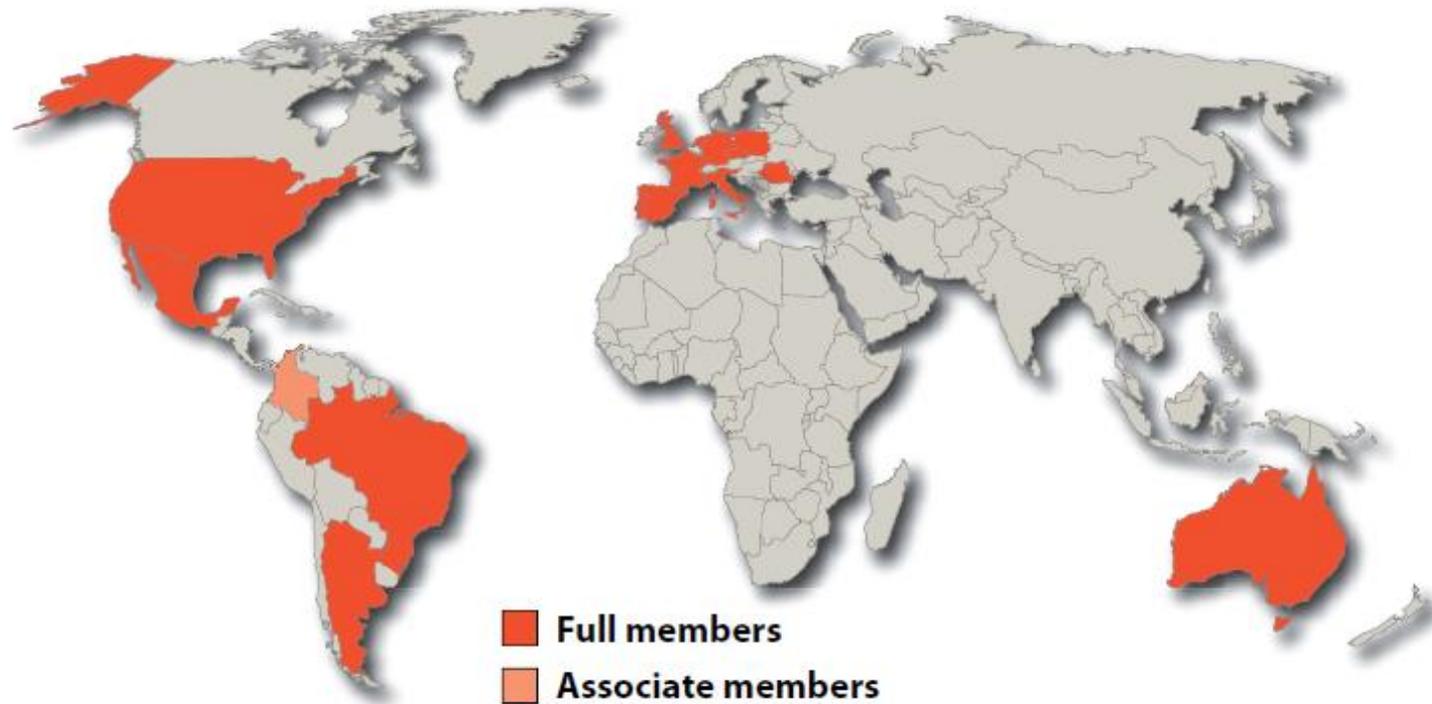
The Pierre Auger Observatory



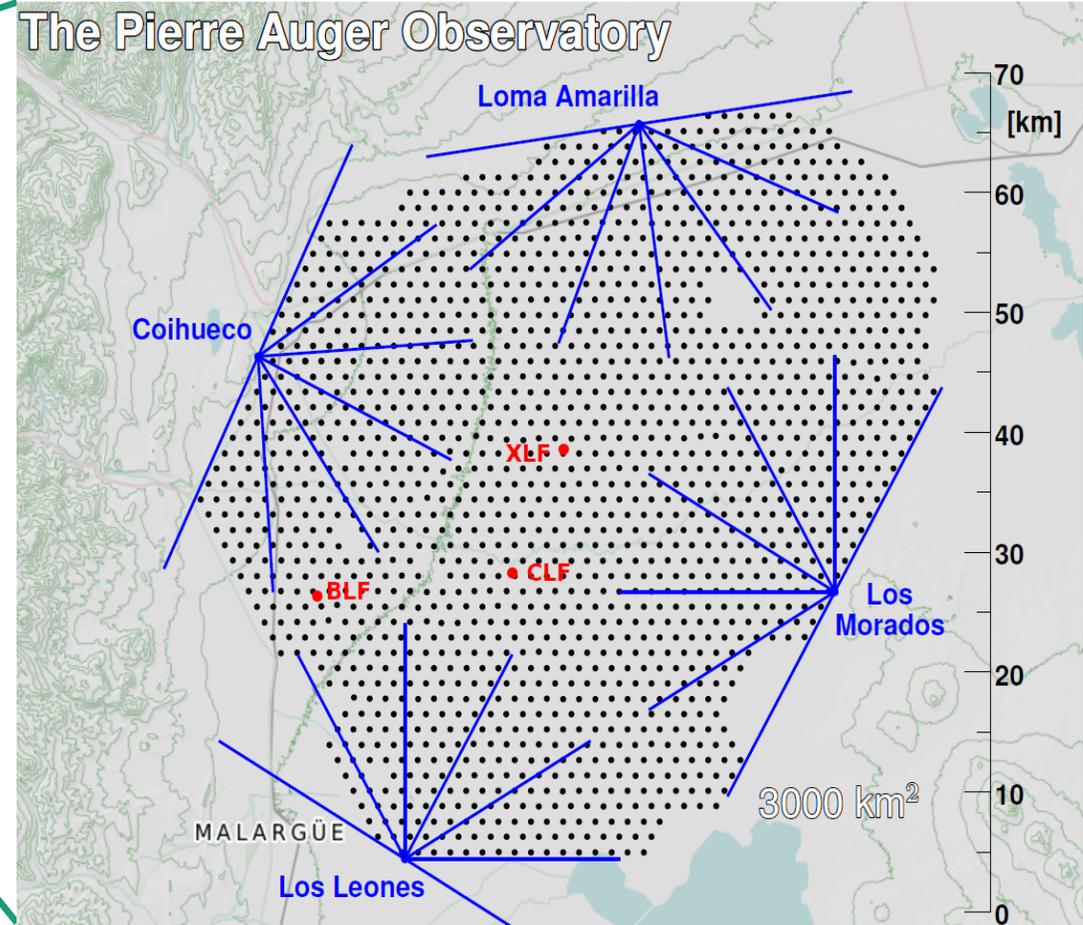
LATTES 100, USP 90, CERN 70

13 of 30

A Colaboração Pierre Auger



O Observatório Pierre Auger



- Área: 3000 km² (4×Berlim, 3×Roma, 2×São Paulo)
- Tomando dados continuamente desde 01.01.2004

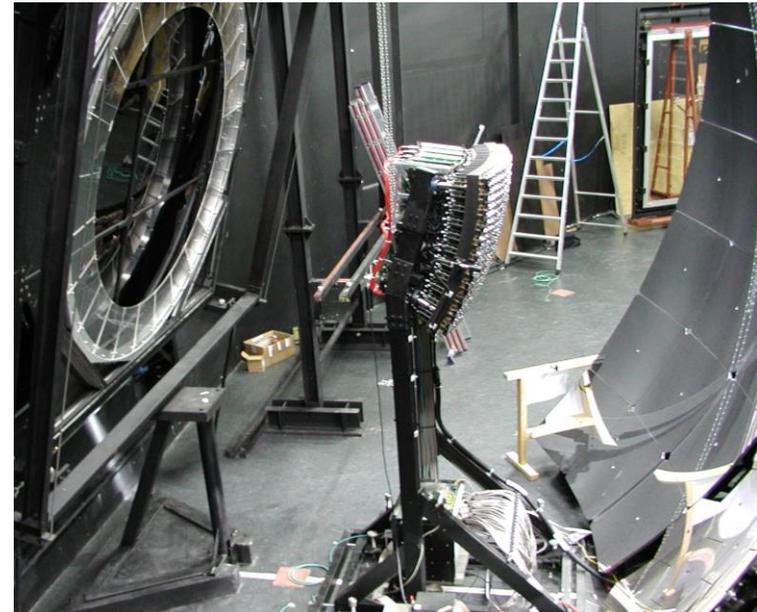
O Observatório Pierre Auger



1600 estações Cherenkov com água (distantes entre si de 1500 m)
+ 60 estações Cherenkov com água (distantes entre si de 750 m)
~ operando 100% do tempo



Quatro prédios cada um abrigando seis telescópios



24 telescópios operando ~14% do tempo



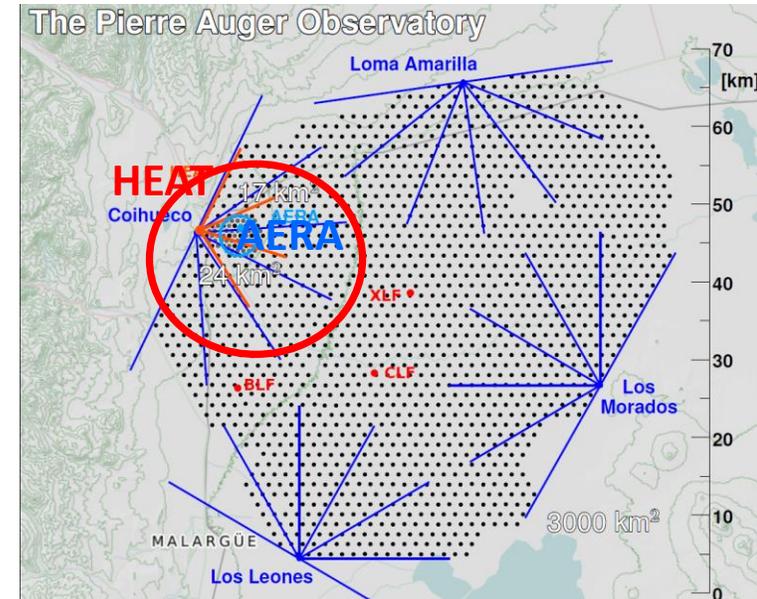
Telescópios em prédios reclináveis



Antenas para detecção do sinal em rádio



Detectores subterrâneos de múons

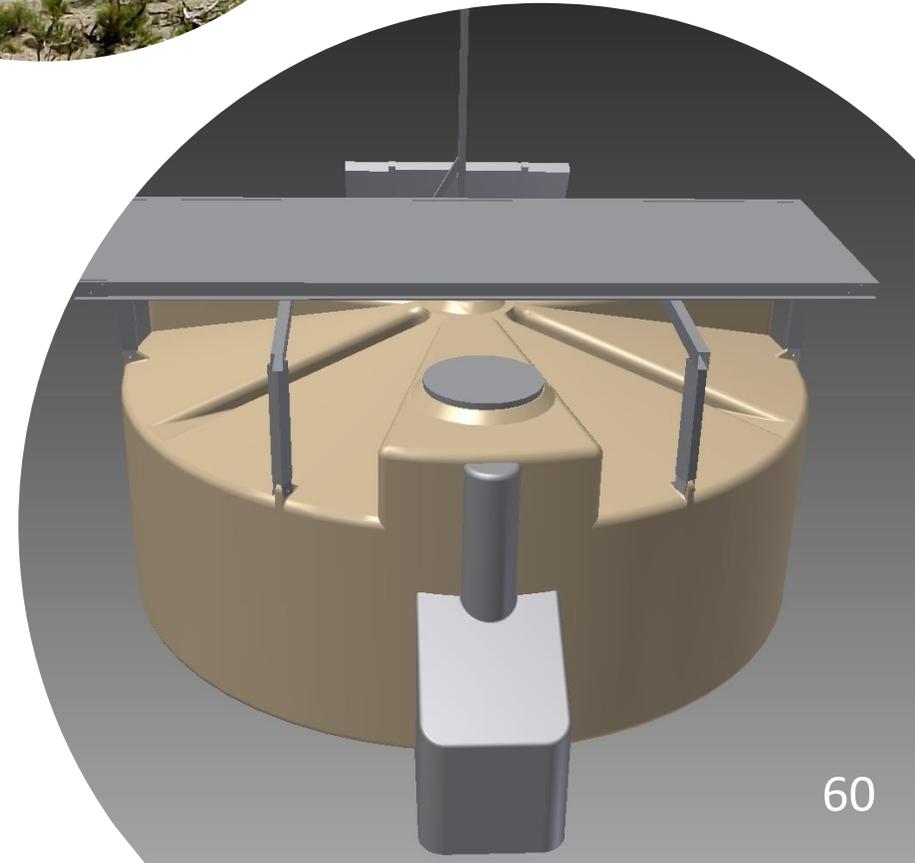


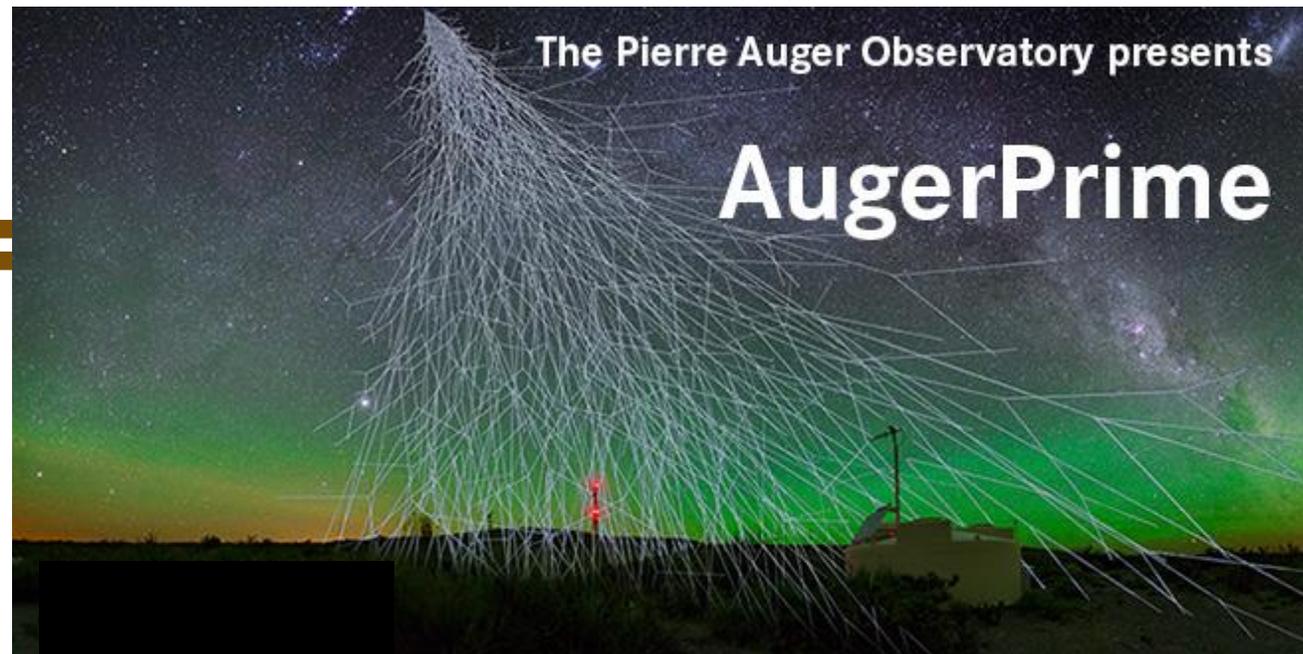
Destaques científicos já alcançados

- Caracterização do espectro de energia (supressão do fluxo) e espectro de massas das partículas cósmicas primárias
- Análises de direções dos raios cósmicos, caracterização de um dipolo e correlação com fontes astrofísicas conhecidas
- Física hadrônica: medidas da seção de choque próton – ar e hélio – ar a energias $\sqrt{s} = 57$ TeV
- Física hadrônica: produção de múons em interações na atmosfera
- Procura por fontes pontuais de nêutrons, de neutrinos e de gamas de altíssimas energias, e fornecer limites superiores para seus fluxos
- Procurar por neutrinos em coincidência com ondas gravitacionais
- Testar modelos de interações hadrônicas
- Fazer medidas de chuveis através dos seus sinais em rádio
- Estudar a física da atmosfera
- Estabelecer limites superiores para monopolos magnéticos e outras partículas exóticas.

O novo Observatório Auger: AugerPrime

- Cintiladores foram adicionados no topo das estações que constituem o detector de superfície.
- Uma pequena fotomultiplicadora foi adicionada a cada estação do detector de superfície, aumentando a capacidade de reconstrução dos chuveciros mais energéticos, que saturam as fotomultiplicadoras normais.
- Modernização de toda a eletrônica de aquisição de dados,
- Detectores subterrâneos de múons instalados em parte da área.
- Extensão do período de operação dos telescópios para períodos de noites com céu mais claro.





O Observatório AugerPrime permitirá:

- selecionar chuveiros iniciados por prótons para estudos de anisotropias.
- estudar as massas das partículas primárias em energias $> 10^{19}$ eV.
- estudar interações e contribuir para física de partículas estudando, p.ex., seções de choque e o excesso de múons produzidos observado experimentalmente.

O futuro na Astronomia de Raios Gama



1999 - 2035



Gross
1933



Wataghin
1934



Paulus Aulus Pompeia &
Marcello Damy
1939 - 1940



Cesare Lattes
1943 - 1949
píon



Colaboração Brasil - Japão
Mt. Chacaltaya
1959 - final década de 1980
USP - UNICAMP

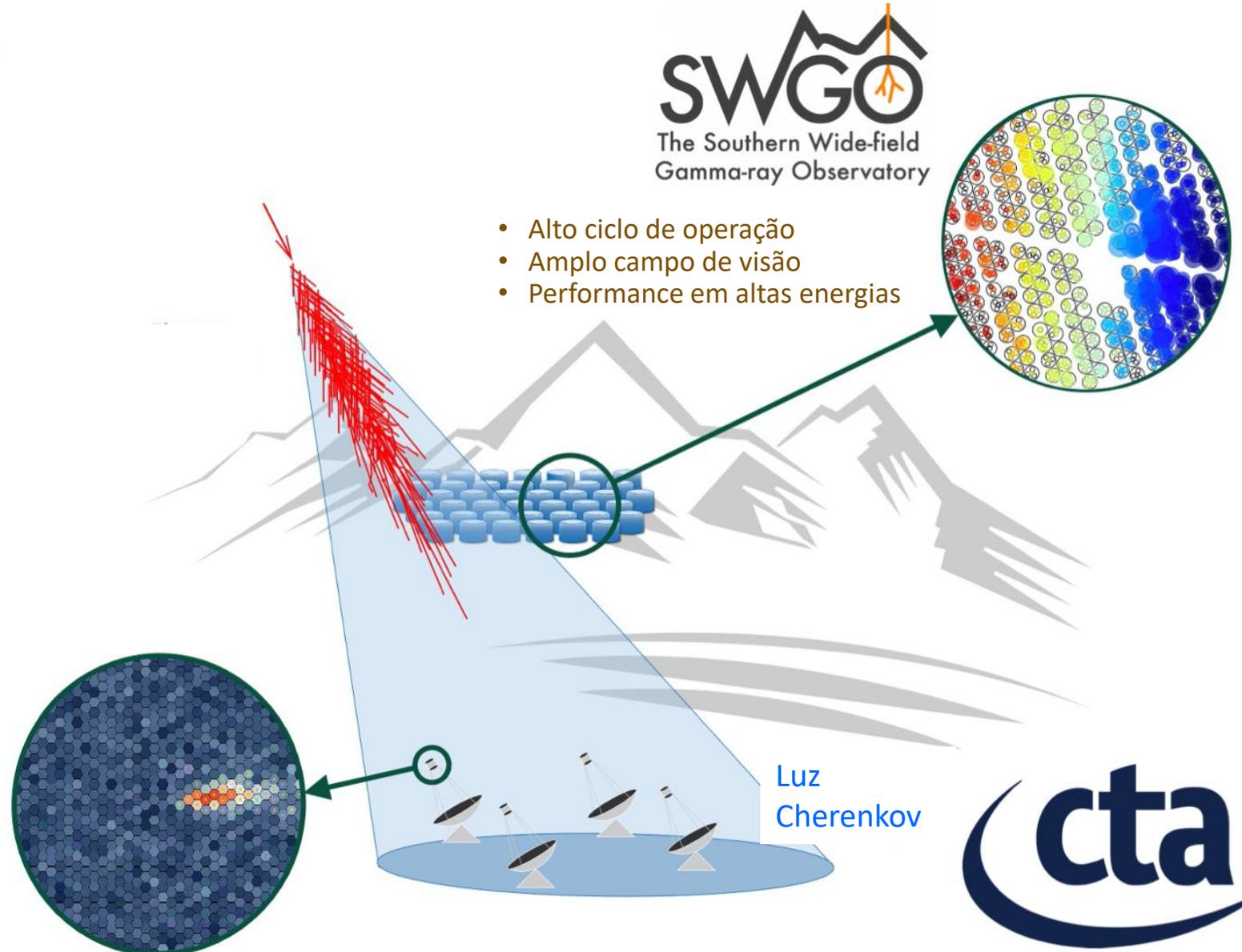
LATTES 100, USP 90, CERN 70

Resumo do estado atual da astronomia gama

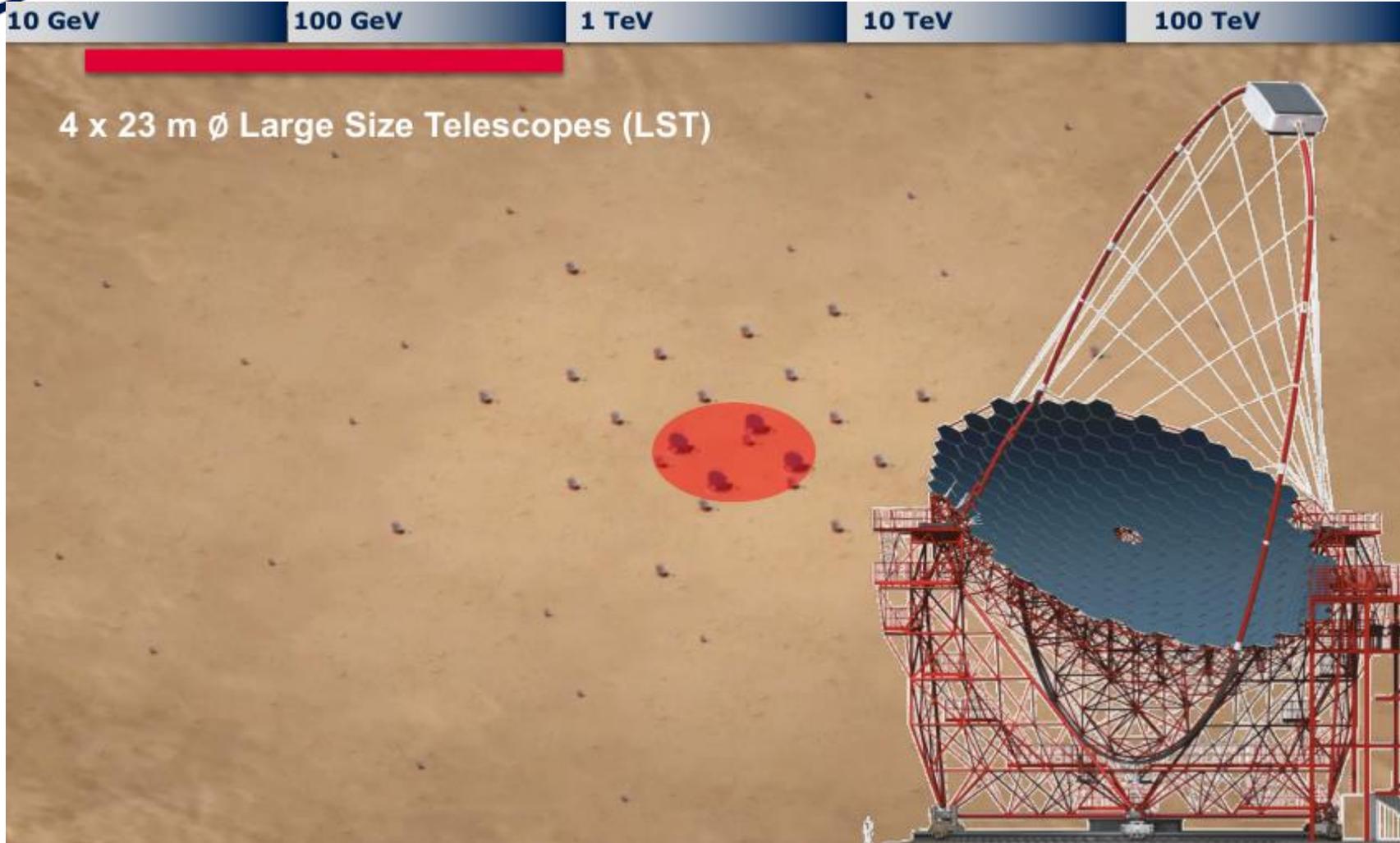
Duas técnicas:

- CTA : Telescópios para Cherenkov no ar
- SWGO: Arranjos de detectores em altitude elevada

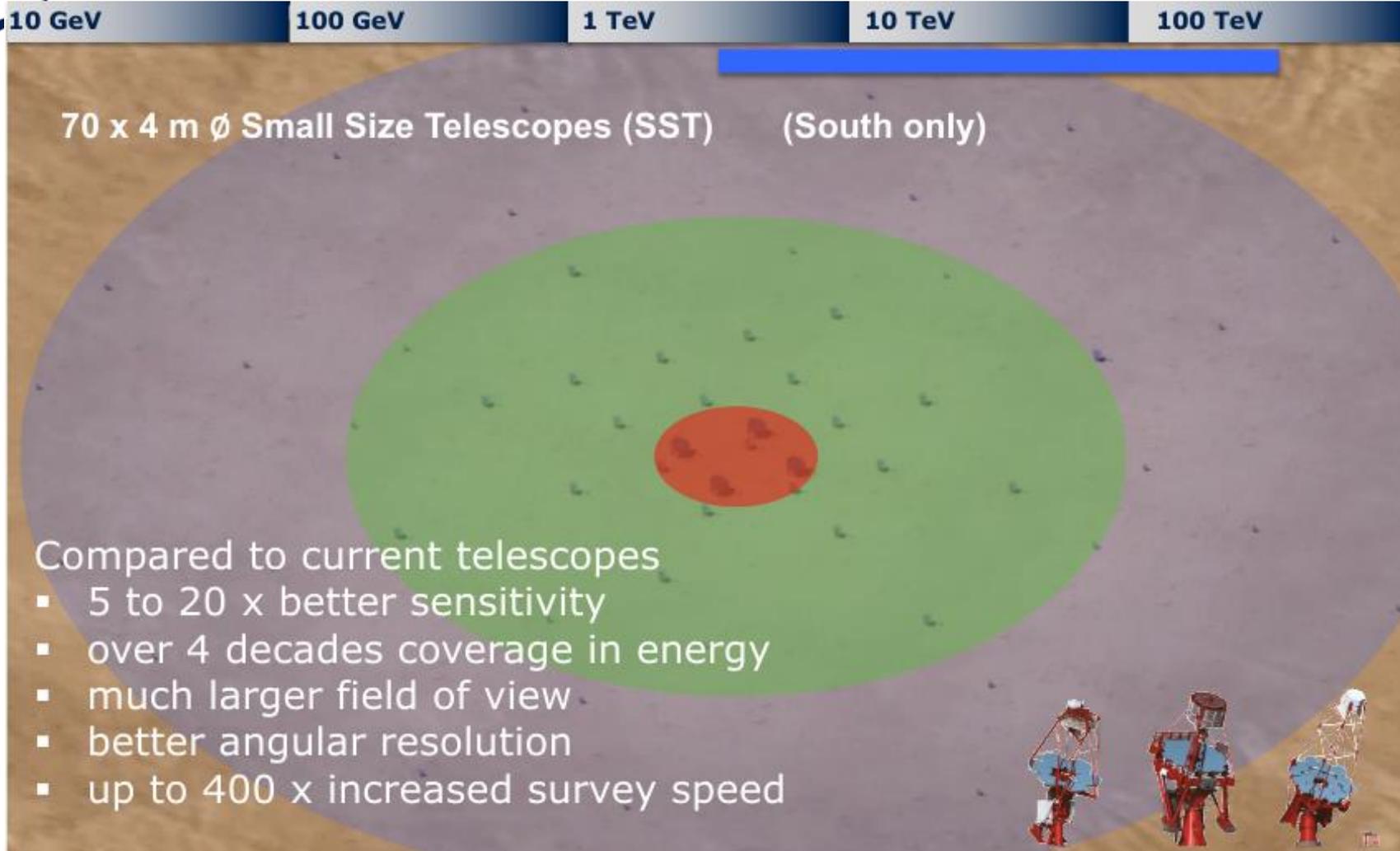
- Baixo ciclo de operação
- Instrumentos com visada em alvos
- Astronomia de precisão em altas energias



- O Cherenkov Telescope Array é um consórcio multinacional para a construção em solo de um instrumento de nova geração para detecção de raios gama com energias entre algumas dezenas de GeV até ~ 300 TeV.
- Inclui dois sítios nos dois hemisférios, com telescópios em três tamanhos com diferentes propósitos.
- Em comparação com os telescópios atuais, terá uma sensibilidade de 5 a 20 vezes maior, cobrirá quatro décadas de energia, terá um campo de visão muito maior, além de melhor resolução angular e uma velocidade para cobertura do céu 400 vezes maior.



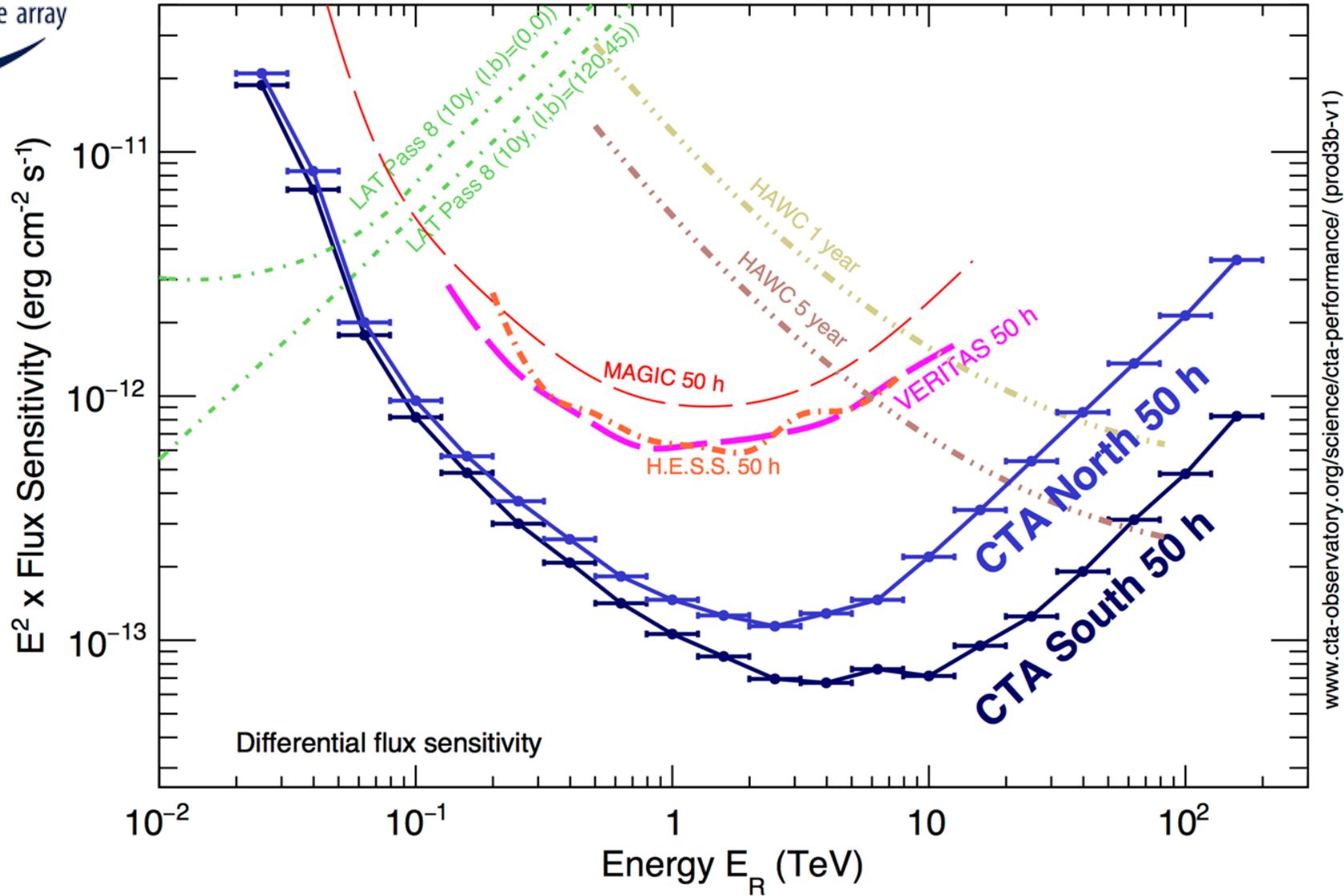




- Compared to current telescopes
- 5 to 20 x better sensitivity
 - over 4 decades coverage in energy
 - much larger field of view
 - better angular resolution
 - up to 400 x increased survey speed



Sensitividade do CTA



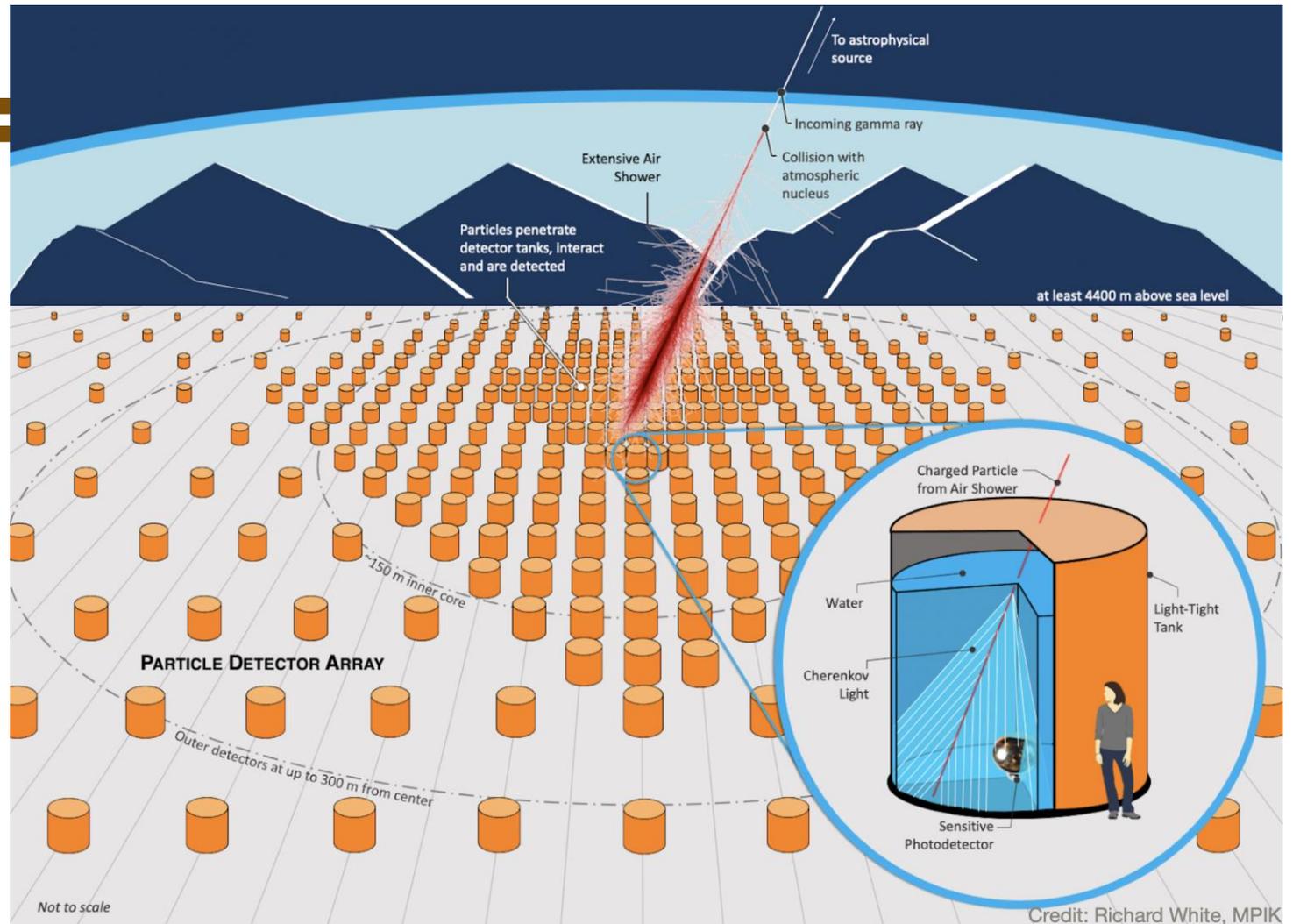
www.cta-observatory.org/science/cta-performance/(prod3b-v1)

The Southern Wide-Field Gamma-Ray Observatory

- O **potencial científico** de um amplo campo de visão e um longo ciclo de trabalho dos detectores de raios gama baseados em terra foi demonstrado pelos instrumentos da geração atual HAWC (México) e ARGO (Itália) e foi estendido no hemisfério norte pelo LHAASO e ARGO-YBJ (China) .
- Não existe um tal instrumento **no hemisfério sul**, onde existe um grande potencial para o mapeamento de emissões em grande escala, bem como para fornecer acesso ao céu completo para fenômenos transitórios e variáveis em comprimentos de onda múltiplos e multimessageiros.
- O acesso ao **Centro Galáctico** e a **complementaridade** com a principal instalação CTA-Sul são as principais motivações para tal observatório de raios gama no hemisfério sul.
- Há também um potencial significativo para estudos de **raios cósmicos**, incluindo anisotropia, complementando as observações com AugerPrime.

SWGO

The Southern Wide-field
Gamma-ray Observatory

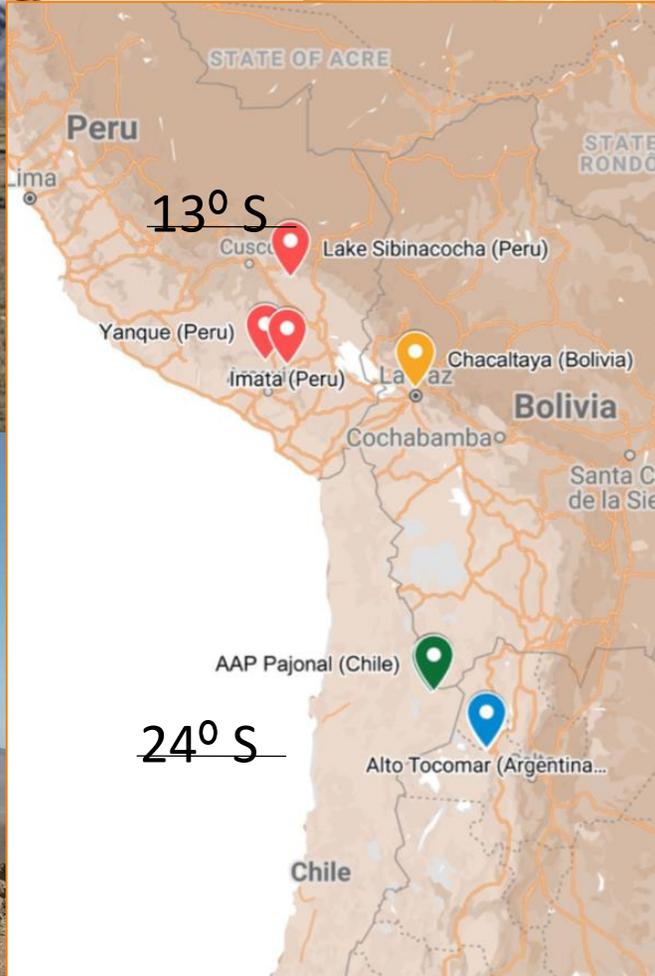
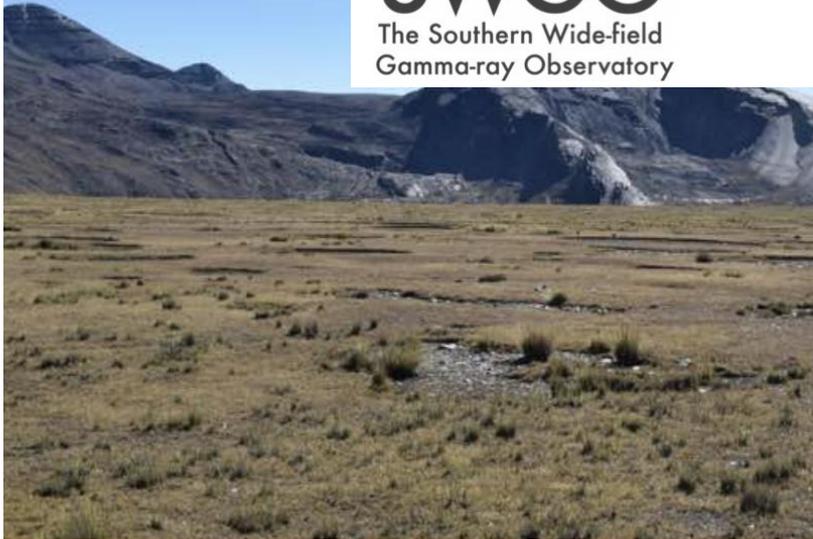


Bolivia 4700 m



Um observatório de raios gama no hemisfério sul

Chile 4800 m



Argentina 4800 m

LATTES 100, USP 90, CERN 70

Peru 4900 m

O futuro se anuncia brilhante!

*Minhas desculpas por não abordar outros
experimentos de raios cósmicos no Brasil.
Obrigada pela atenção.*

O futuro se anuncia brilhante!

*Minhas desculpas por não abordar outros
experimentos de raios cósmicos no Brasil.
Obrigada pela atenção.*