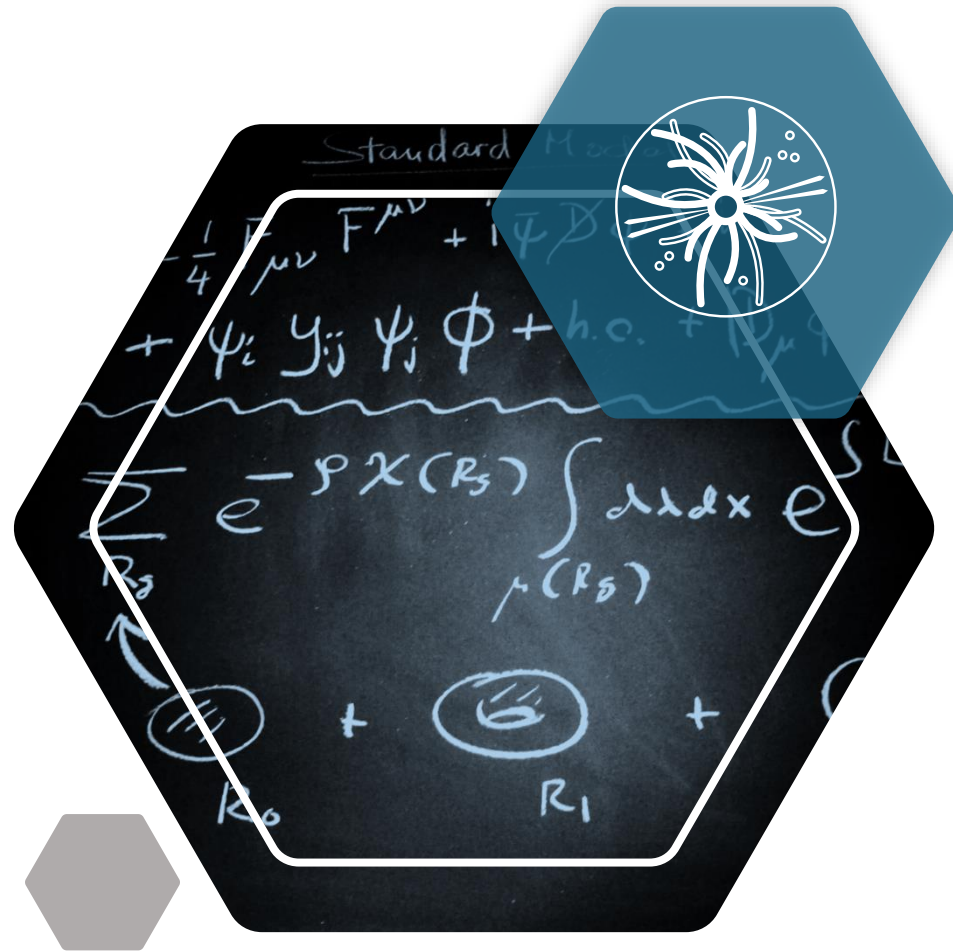


CONSTRUINDO O MODELO PADRÃO

IMPLEMENTANDO UMA
DISCIPLINA DE FÍSICA DE
PARTÍCULAS EM UM CONTEXTO
DE LICENCIATURA EM FÍSICA

RENAN MILNITSKY
JULIEN MINERBO
MARCELO MUNHOZ
IVÃ GURGEL



PANORAMA DA PESQUISA

Física Moderna e Física de
Partículas nas Licenciaturas
do Brasil

LICENCIATURAS NO BRASIL

Disciplinas obrigatórias nas Licenciaturas

NORTE

LIC	TOT
UFAM	39
UFPA	38
UFAC	43
UFPR	33
UNIR	46
UNIFAP	45

NORDESTE

LIC	TOT
UFBA	36
UFMA	36
UFPI	43
UFPR	42
UFRN	39
UFPR	38
UFAL	43
UFCE	32
UFPB	36

CENTRO-OESTE

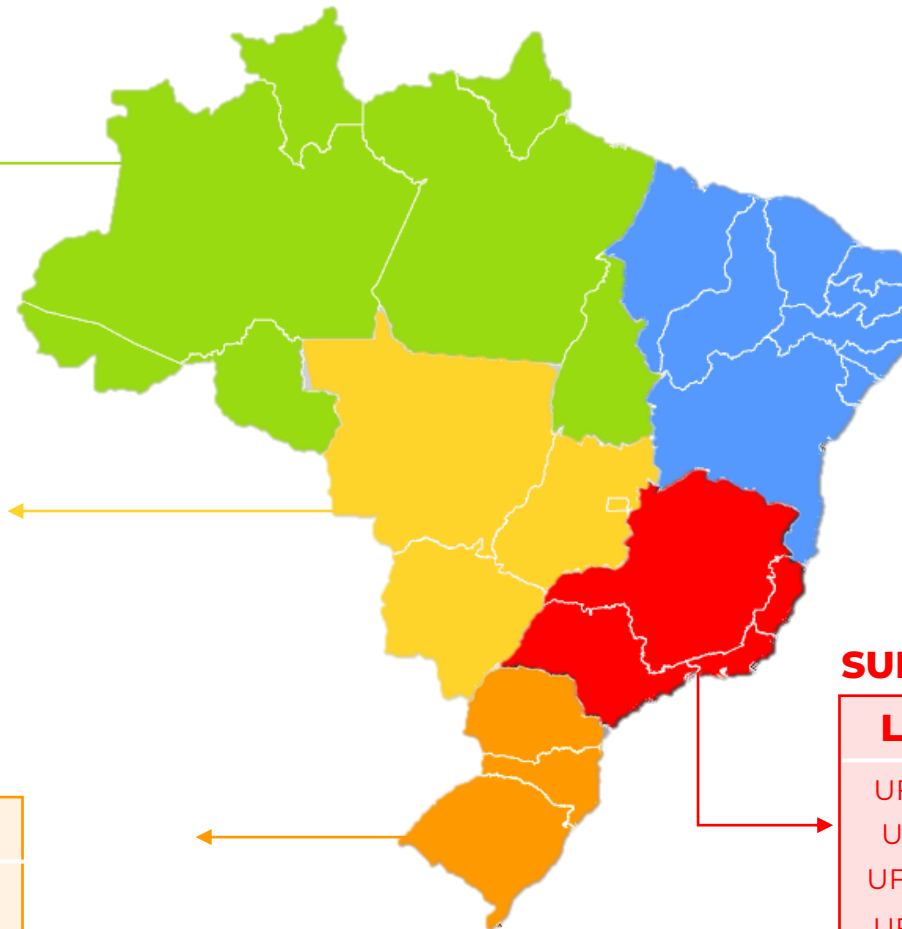
LIC	TOT
UFMT	40
UFMS	42
UFG	44

SUL

LIC	TOT
UFRGS	54
UFSC	47
UFPR	45

SUDESTE

LIC	TOT
UFRJ	47
USP	37
UFMG	38
UFES	44



LICENCIATURAS NO BRASIL

Disciplinas obrigatórias de Física Moderna

NORTE

LIC	TOT	FMC
UFAM	39	7
UFPA	38	3
UFAC	43	3
UFPR	33	2
UNIR	46	5
UNIFAP	45	3

NORDESTE

LIC	TOT	FMC
UFBA	36	2
UFMA	36	3
UFPI	43	4
UFPR	42	4
UFRN	39	5
UFPR	38	7
UFAL	43	5
UFCE	32	3
UFPB	36	6

CENTRO-OESTE

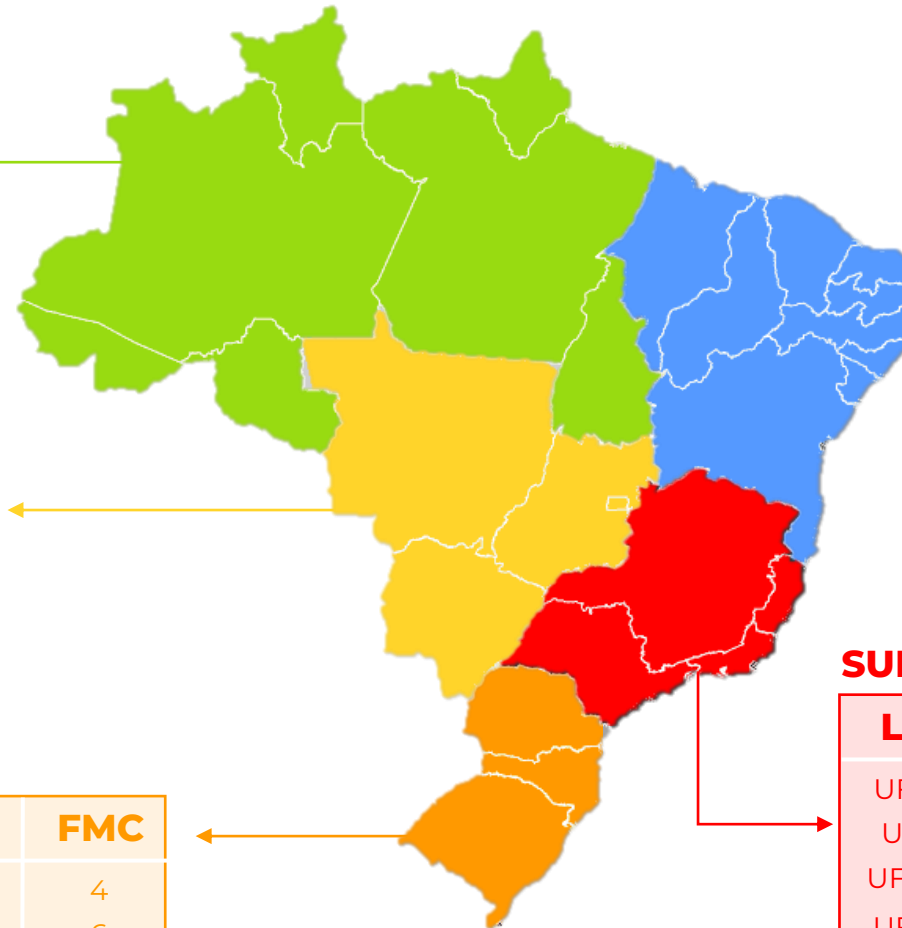
LIC	TOT	FMC
UFMT	40	3
UFMS	42	4
UFG	44	3

SUL

LIC	TOT	FMC
UFRGS	54	4
UFSC	47	6
UFPR	45	4

SUDESTE

LIC	TOT	FMC
UFRJ	47	6
USP	37	5
UFMG	38	4
UFES	44	4



LICENCIATURAS NO BRASIL

Disciplinas obrigatórias de Física de Partículas

NORTE

LIC	TOT	FMC	FP
UFAM	39	7	0
UFPA	38	3	0
UFAC	43	3	0
UFPR	33	2	0
UNIR	46	5	0
UNIFAP	45	3	0

0
CURSOS

NORDESTE

LIC	TOT	FMC	FP
UFBA	36	2	0
UFMA	36	3	0
UFPI	43	4	0
UFPR	42	4	0
UFRN	39	5	1
UFPR	38	7	1
UFAL	43	5	0
UFCE	32	3	1
UFPB	36	6	1

4
CURSOS

CENTRO-OESTE

LIC	TOT	FMC	FP
UFMT	40	3	0
UFMS	42	4	0
UFG	44	3	1

1
CURSO

SUL

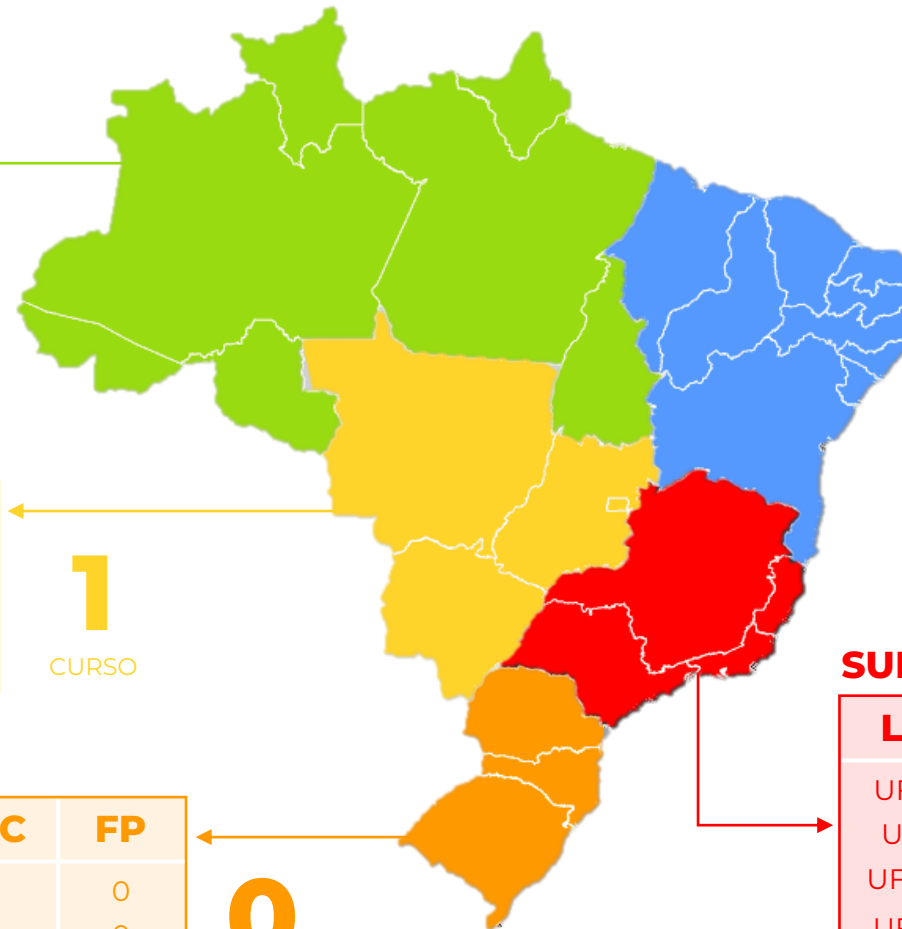
LIC	TOT	FMC	FP
UFRGS	54	4	0
UFSC	47	6	0
UFPR	45	4	0

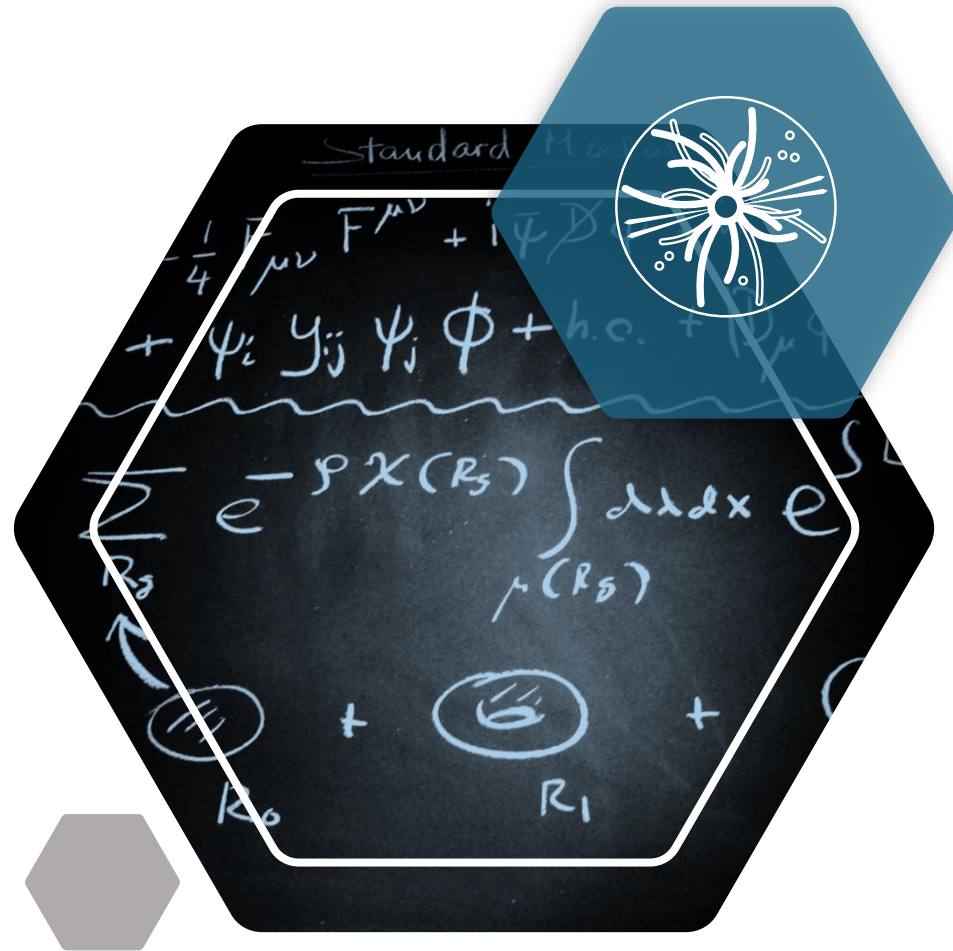
0
CURSOS

SUDESTE

LIC	TOT	FMC	FP
UFRJ	47	6	0
USP	37	5	1
UFMG	38	4	0
UFES	44	4	0

1
CURSO





TRAJETÓRIAS

ENSINO DA FP

O famoso quadro do Modelo Padrão e a aproximação entre docentes e cientistas

TRAJETÓRIAS ENSINO DA FP

Grandes projetos da FP desde os anos 80

SSC

(Superconducting Super Collider)



1987 - 1993

LHC

(Large Hadron Collider)



1994 - 2008

FCC

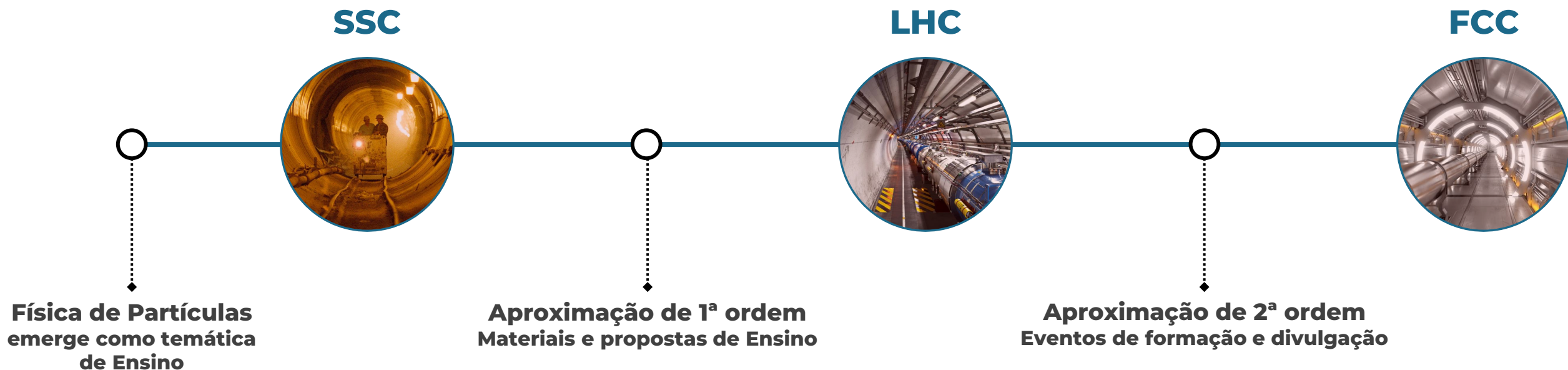
(Future Circular Collider)



2019 – 2040?

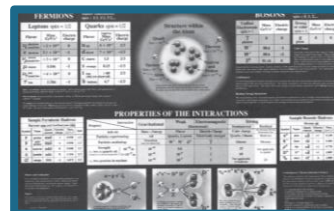
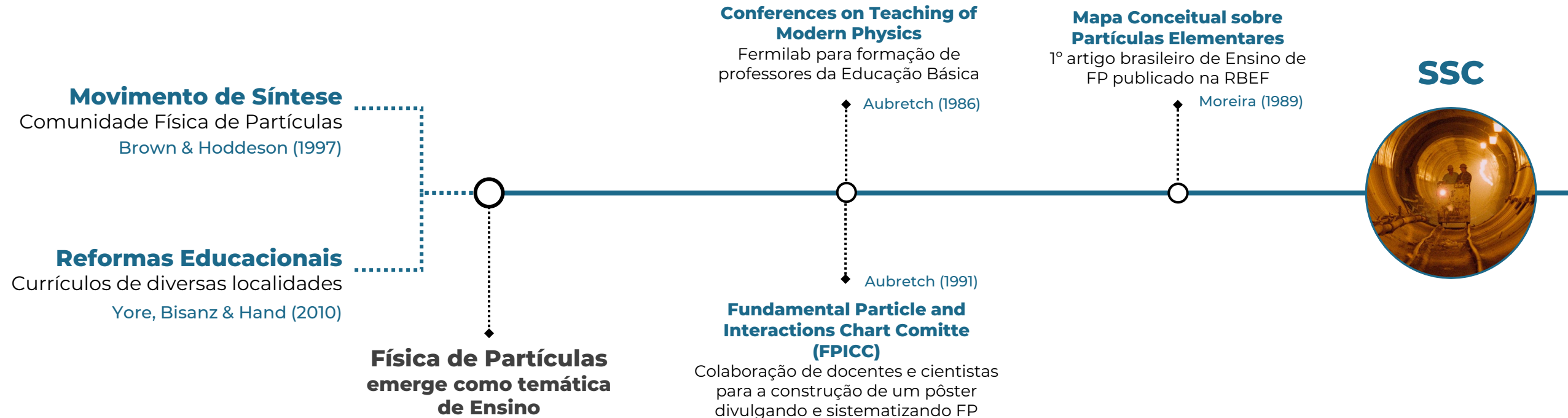
TRAJETÓRIAS ENSINO DA FP

A relação do ensino com grandes projetos da FP



TRAJETÓRIAS ENSINO DA FP

Emergência no ensino e aproximação de 1ª ordem



TRAJETÓRIAS ENSINO DA FP

Aproximação de 1ª ordem entre docentes e cientistas

SSC

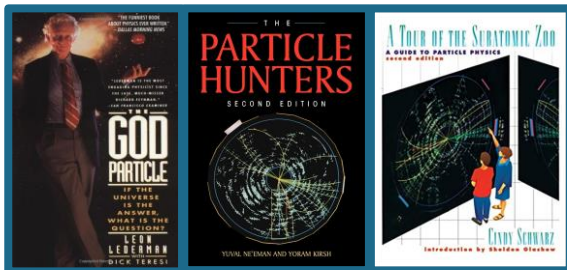


Crescente oferecimento de cursos de formação em FP
Oferecidos pelo FERMILAB e focados na educação básica

Aubretch (1991)

Lederman (1994)

Crescente publicação de obras de divulgação da FP
Destaque para The God Particle de Leon Lederman

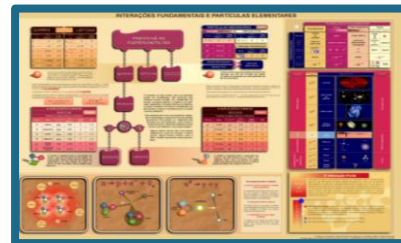


NUPIC e o Currículo do Estado de São Paulo
Transposição Didática e FP no Ensino Médio

Siqueira (2006)

Ostermann (1999, 2001)

Ação com Licenciandos e Formação Inicial de Professores
Tradução de textos e adaptação do pôster do FPICC

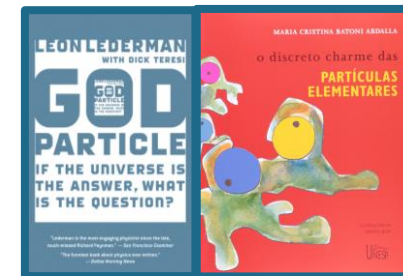


Difusão e crescente número de propostas de Ensino de FP
Presença em Teses, Dissertações, Congressos e Artigos

Mosinahti & Londero (2015)

Abdalla (2006)
Lederman (2006)

Revisitação e publicação de novas obras de divulgação
Destaque de o Discreto Charme das Partículas Elementares



LHC



TRAJETÓRIAS ENSINO DA FP

Aproximação de 2ª ordem entre docentes e cientistas

LHC



Escolas de Física do CERN
Participação na versão portuguesa e criação de grupo brasileiro

Garcia (2015)

Watanabe, Gurgel & Munhoz (2014)

Begali & Billow (2019)

Masterclasses Hands-On Particle Physics

Participação brasileira nos eventos internacionais



Dinâmica da Interação entre docentes e cientistas

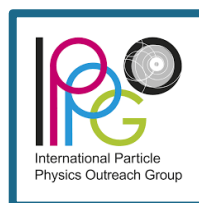
Investigando significados atribuídos por docentes e cientistas

Watanabe (2012, 2015)
Harre (2017, 2018)

Goldfarb (2019)

International Particle Physics Outreach Group (IPPOG)

Ampliação do grupo europeu e institucionalização de um grupo internacional para coordenar as ações de divulgação



Criação do IPPOG-Brasil

Braço brasileiro do IPPOG que organiza atividades no Brasil

FCC



I Encontro de Divulgação e Ensino da FP – IPPOG Brasil
Ampliação dos estudos sobre divulgação e sobreposição sobre os de Ensino



O FAMOSO QUADRO DO MODELO PADRÃO

- 1 **ESTRUTURA**
Interações Fortes
- 2 **DECAIMENTOS**
Interações Fracas
- 3 **INTERAÇÕES**
Fortes, Fracas e Eletromagnéticas
- 4 **ORIGEM DAS MASSAS**
Mecanismo de Higgs

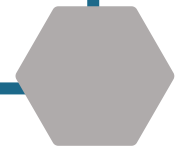
three generations of matter (fermions)			interactions / force carrier (bosons)		
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

QUARKS (I, II, III)

LEPTONS (e, μ , τ , ν_e , ν_μ , ν_τ)

GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS (g, γ , Z, W)

SCALAR BOSONS (H)



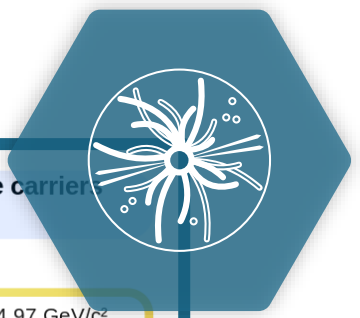
COMO

esse quadro foi construído?

O QUE

esse quadro representa?

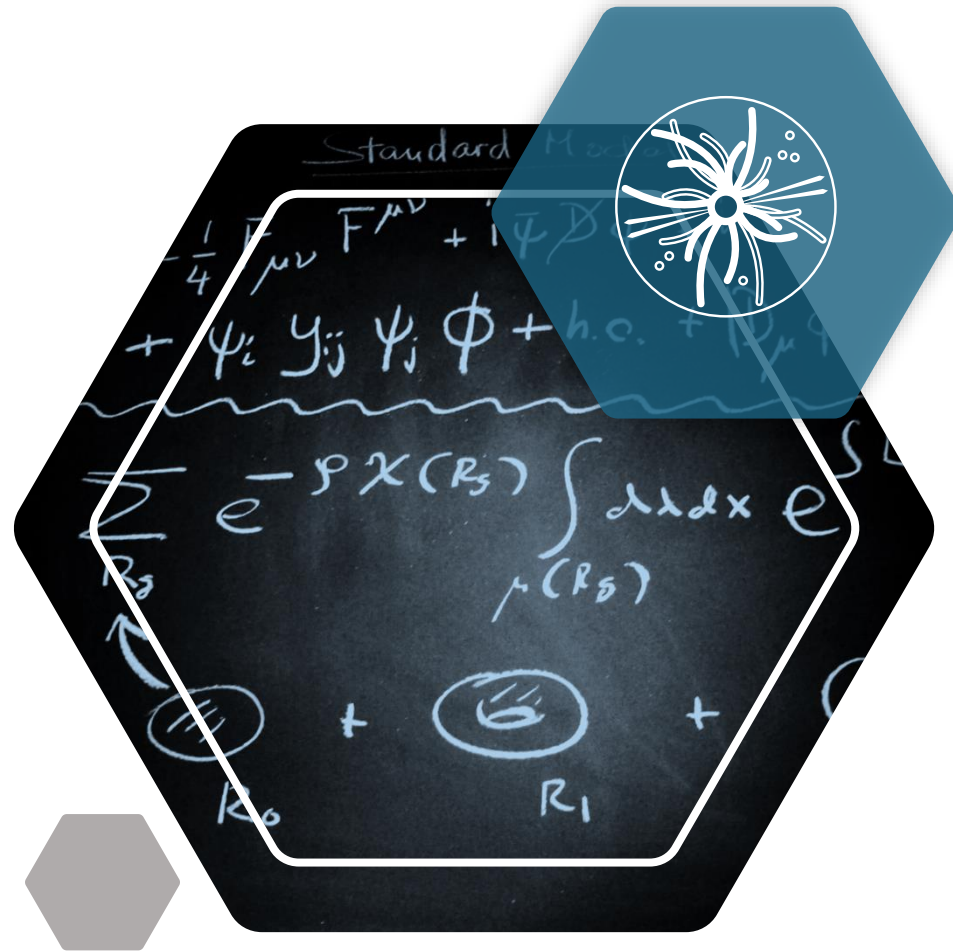
	three generations of matter (fermions)			interactions / force carrier (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
LEPTONS	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.360 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS
					SCALAR BOSONS



PROPOSTA DAS PESQUISAS

Elaborar e implementar uma disciplina de Física de Partículas para Licenciatura em Física, dando enfoque em aspectos históricos, teóricos e experimentais que nos permitam **compreender o processo de construção do Modelo Padrão** da Física de Partícula, **promovendo reflexões e ações sobre seu ensino** na educação básica





ÓBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Fundamentos Teóricos que
inspiraram a construção da disciplina

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Fundamento Teórico-Epistemológico

HIPÓTESES NORTEADORAS DA DISCIPLINA



RUPTURAS EPISTEMOLÓGICAS E ENSINO DA FMC

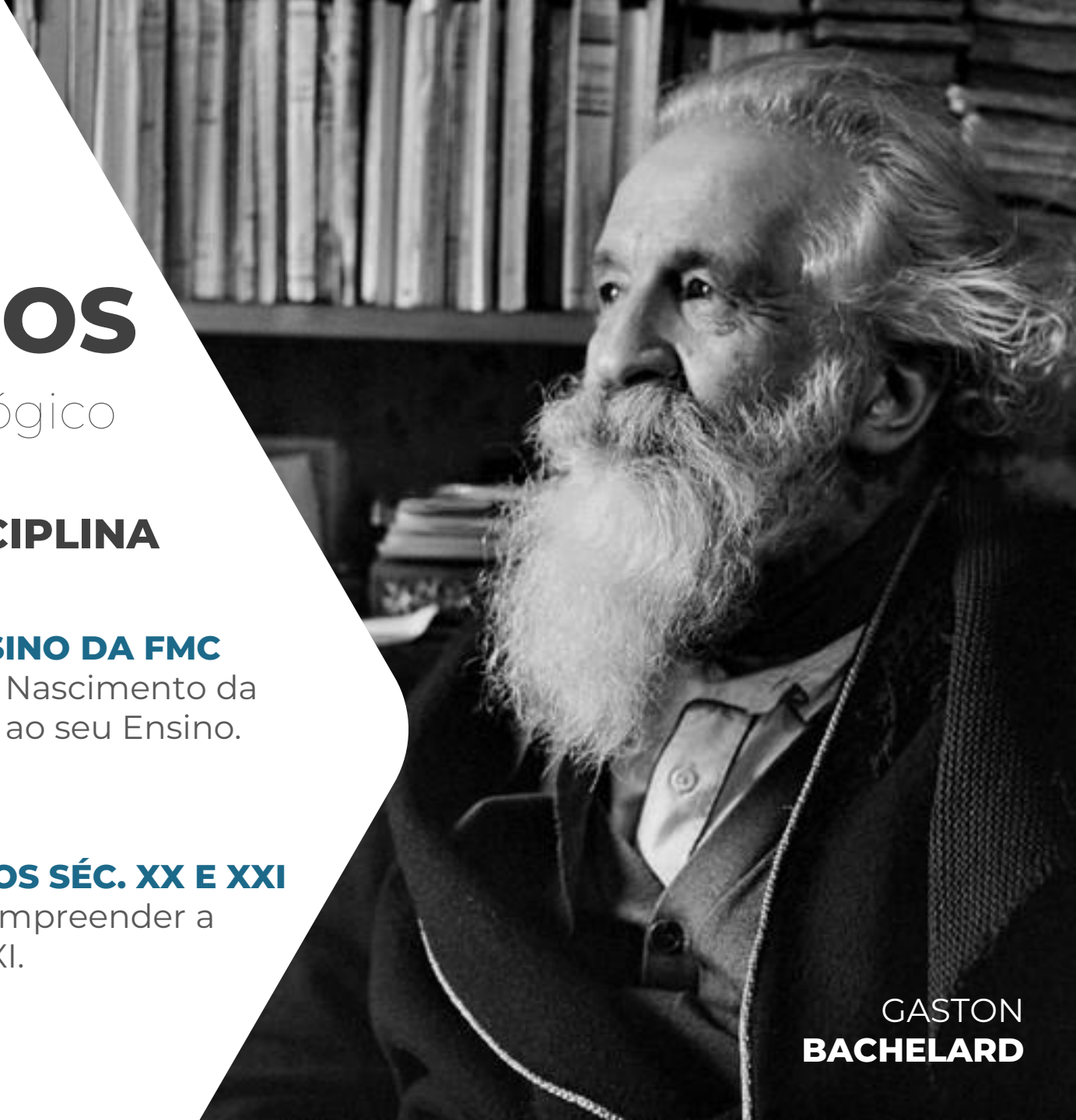
Obstáculos e dilemas enfrentados pelo Nascimento da Física no séc XX são também inerentes ao seu Ensino.



FÍSICA DE PARTÍCULAS E A FÍSICA DOS SÉC. XX E XXI

Física de Partículas como meio para compreender a natureza da ciência dos séculos XX e XXI.

GASTON
BACHELARD





OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

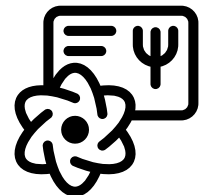
Fundamento Teórico-Epistemológico



Quando se avalia as condições de progresso da ciência, logo se chega à conclusão de que **é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado.**

Bachelard (1938, p.17)

Segundo Bachelard, a ciência se desenvolve a partir da superação de obstáculos, isto é, pela **reavaliação dos aspectos teóricos e experimentais** que guiam seu desenvolvimento.



OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

Fundamento Teórico-Epistemológico

“

Acompanhando a atividade da física do século XX com atenção, vemos um **diálogo filosófico entre o experimentador dotado de instrumentos rigorosos e o matemático que ambiciona de perto a experiência.** [...] será preciso que o experimentador se informe sobre o aspecto teórico [...] será também necessário que o teórico se informe sobre todas as circunstâncias da experimentação.

Bachelard (1949, p. 7)



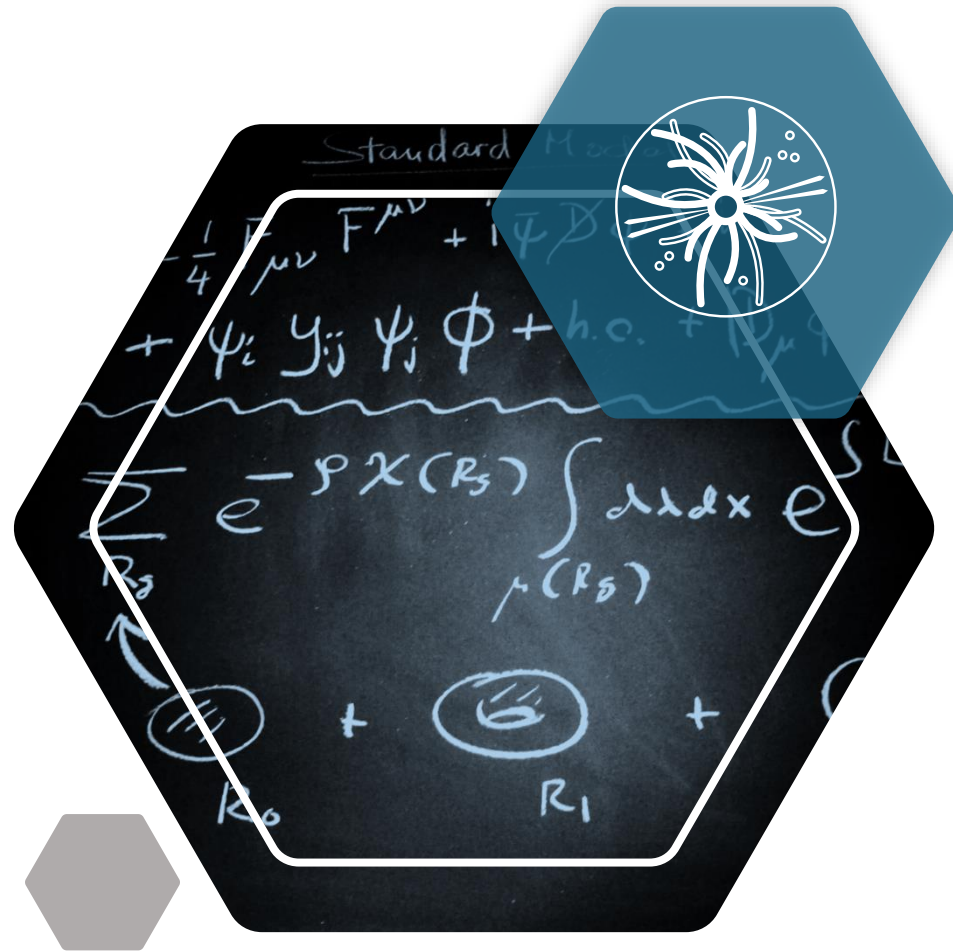
GASTON
BACHELARD

“

Acompanhando a atividade da física do século XX com atenção, vemos um **diálogo filosófico entre o experimentador dotado de instrumentos rigorosos e o matemático que ambiciona de perto a experiência.** [...] será preciso que o experimentador se informe sobre o aspecto teórico [...] será também necessário que o teórico se informe sobre todas as circunstâncias da experimentação.

Bachelard (1949, p. 7)





A CONSTRUÇÃO DA DISCIPLINA

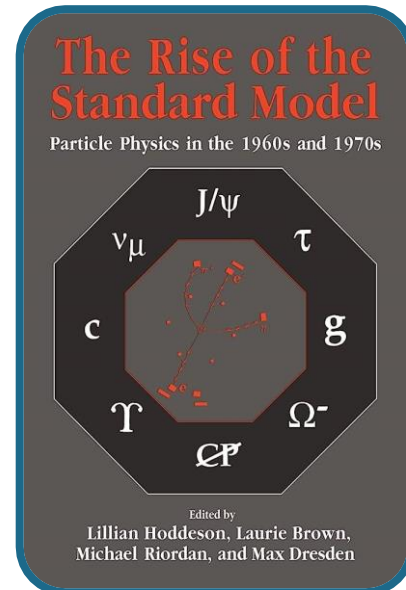
Construindo o Modelo Padrão
como a Narrativa Conceitual da
disciplina



INSPIRANDO A DISCIPLINA

Two Previous Standard Models

2006



“

Meu propósito é revelar que outros contextos também tiveram os impulsos intelectuais que movem a física de partículas atualmente, e que, assim como hoje, **eles revelaram evidências persuasivas para apoiar o “modelo padrão” de seu próprio tempo.**

Heilbron (2006, p.45)



PONTO DE PARTIDA

A famosa tabela do Modelo Padrão

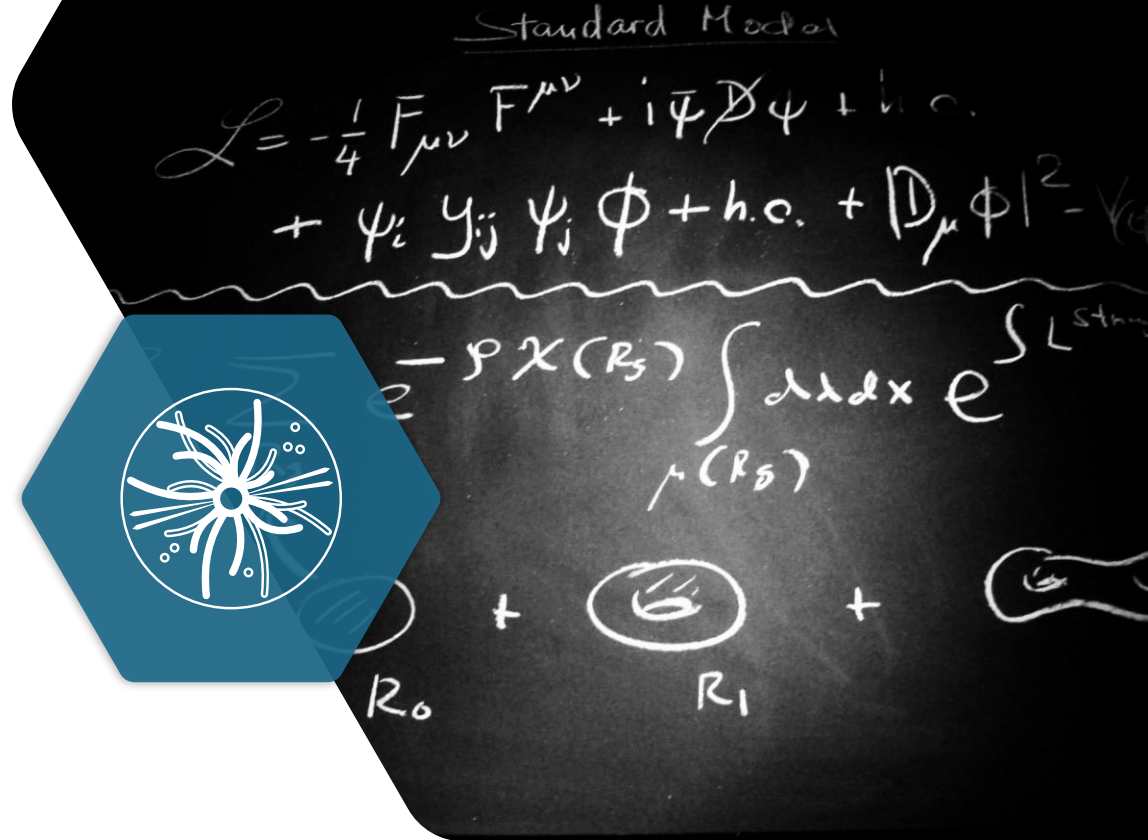
AO INVÉS DE INICIAR,
ENCERRAR COM ELA

MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

1964 - Atual

			three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
			I	II	III		
QUARKS	+1/6 baryon	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs	SCALAR BOSONS
	+2/3 baryon	d down	s strange	b bottom	γ photon		
	+1/3 baryon	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson		
LEPTONS	+1/2 baryon	ν _e electron neutrino	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	W W boson		GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS
	+1/6 baryon						

ENTENDÊ-LA NÃO COMO PRODUTO,
MAS COMO UM PROCESSO HISTÓRICO



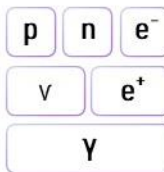
A DISCIPLINA

NARRATIVA CONCEITUAL

IDEAIS DE MODELO PADRÃO

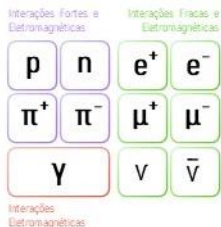
MODELO ESTRUTURAL ATÔMICO

1890 - 1935



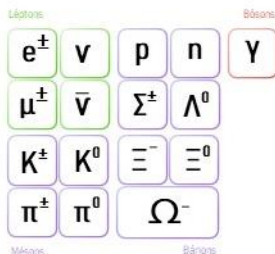
MODELO QUÂNTICO DE INTERAÇÕES

1935 - 1947



MODELO SIMETRIAS E CONSERVAÇÕES

1947 - 1964



PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO

1964

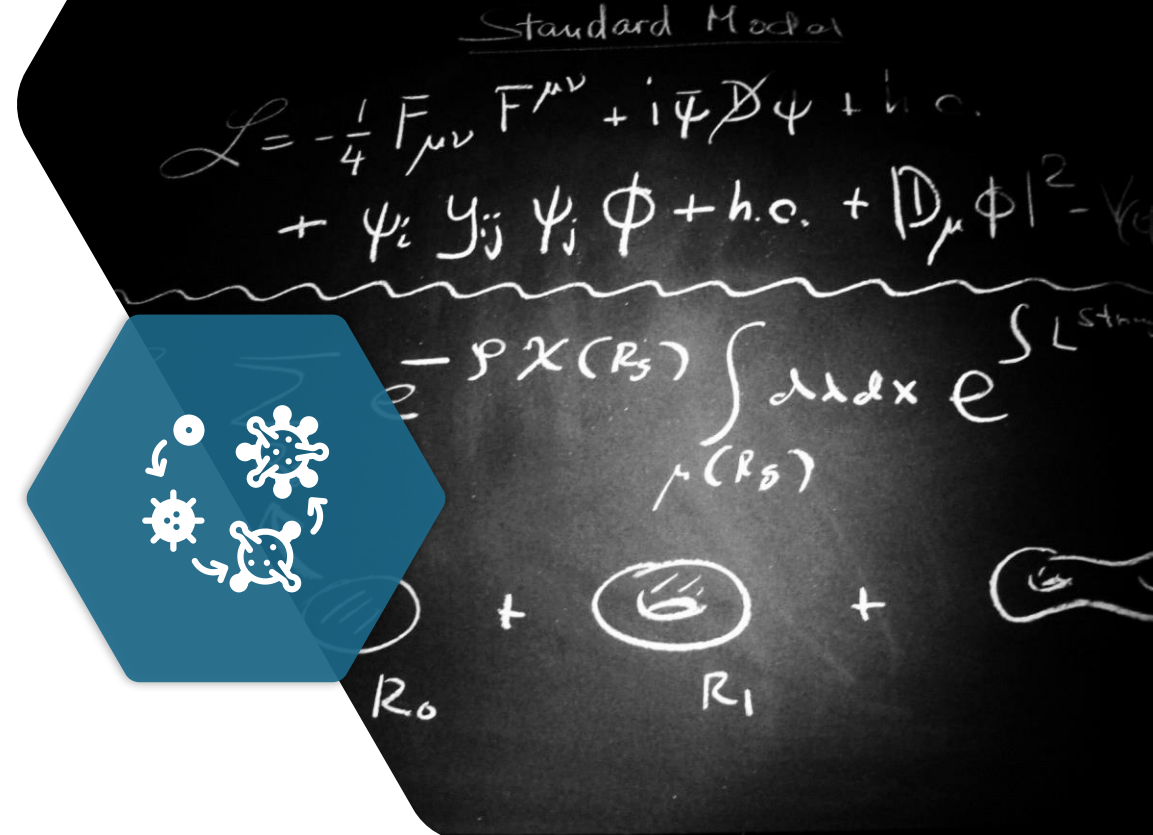


MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

1964 - Atual



AO LONGO DA FÍSICA DO SÉCULO XX



A DISCIPLINA NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?

MODELO

ESTRUTURAL E ATÔMICO

p

n

e⁻

v

e⁺

γ

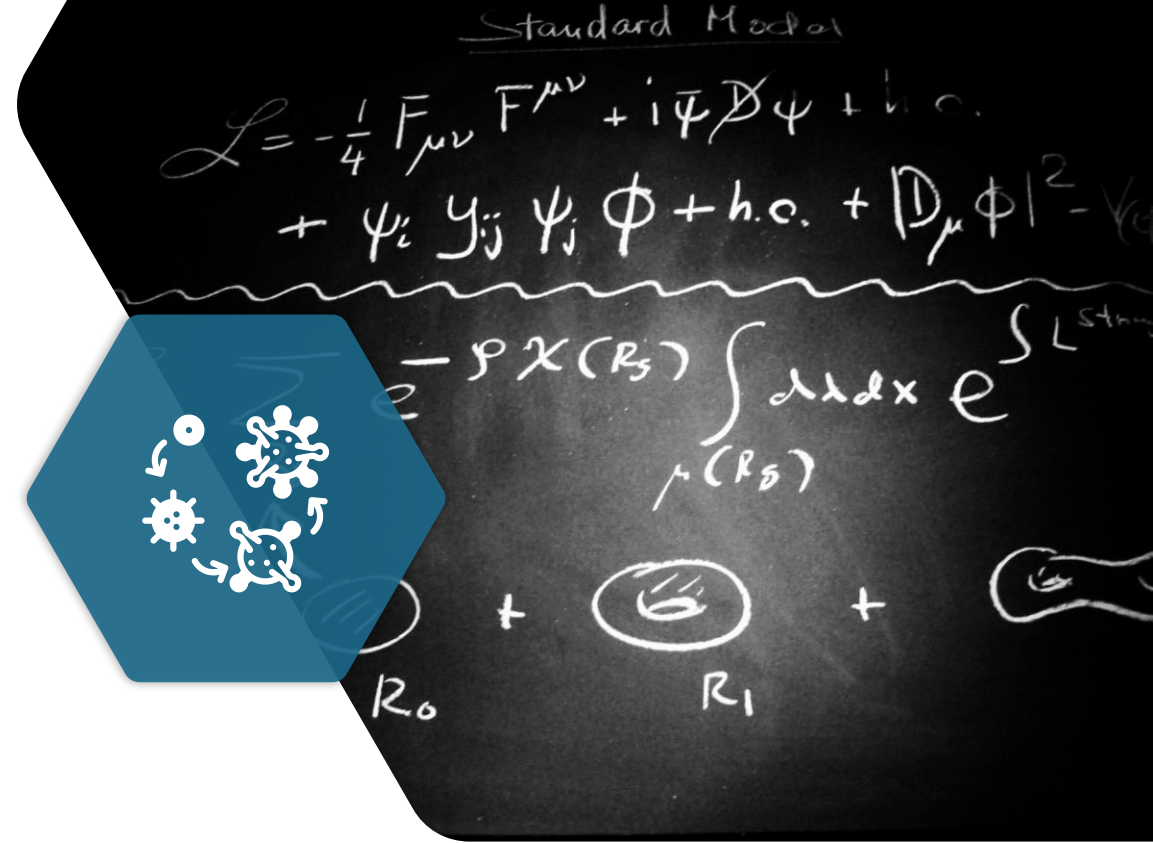
ACOMPANHA A BUSCA POR UMA MECÂNICA QUÂNTICA RELATIVÍSTICA E BUSCA EXPLICAÇÕES A PARTIR DE ESTRUTURAS ELEMENTARES



A DISCIPLINA

NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?



MODELO

QUÂNTICO DE INTERAÇÕES

Interações Fortes

p

n

π^0

π^+

γ

Interações Fracas

e^+

e^-

μ^+

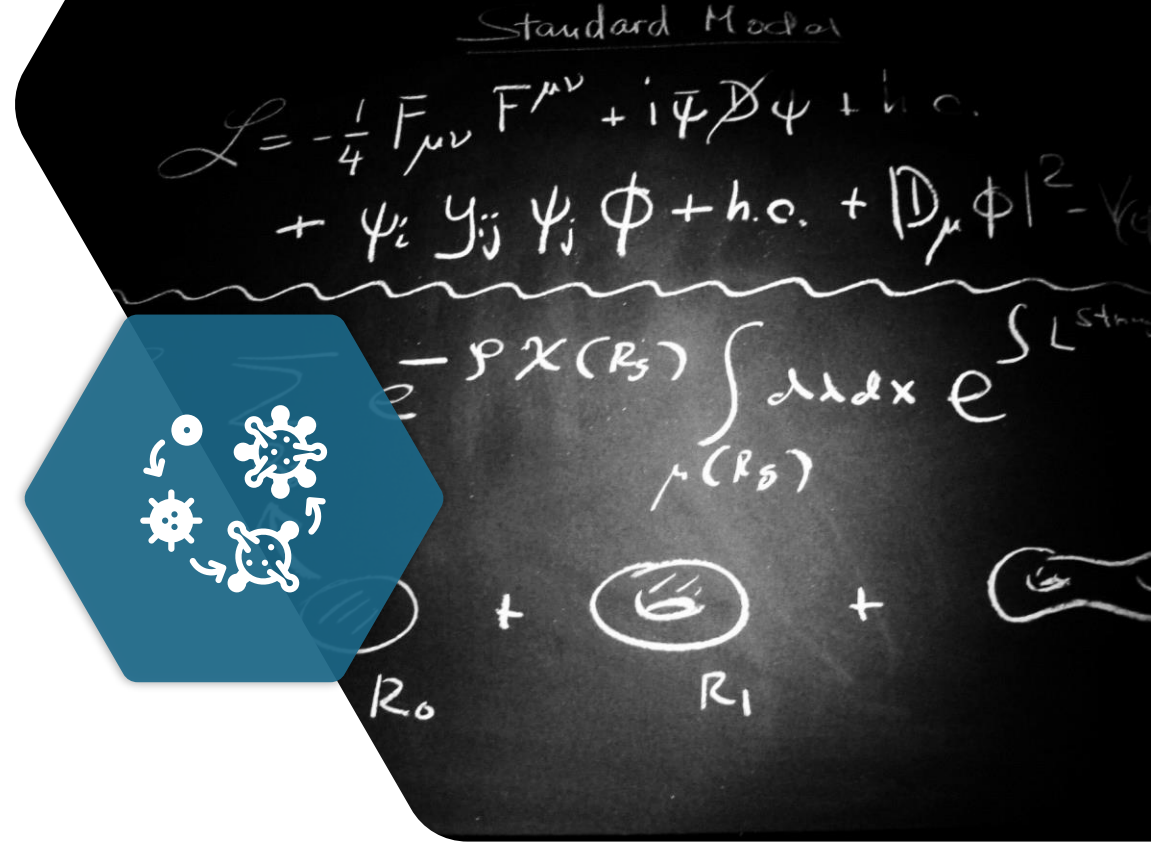
μ^-

ν

$\bar{\nu}$

Interações
Eletromagnéticas

**DESLOCA A BUSCA DE UMA
MECÂNICA QUÂNTICA PARA UMA
TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS**



A DISCIPLINA

NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?

MODELO

SIMETRIAS E CONSERVAÇÕES

Léptons

e^\pm ν

μ^\pm $\bar{\nu}$

K^\pm K^0

π^\pm π^0

Mésons

Bárions

p n

Σ^\pm Λ^0

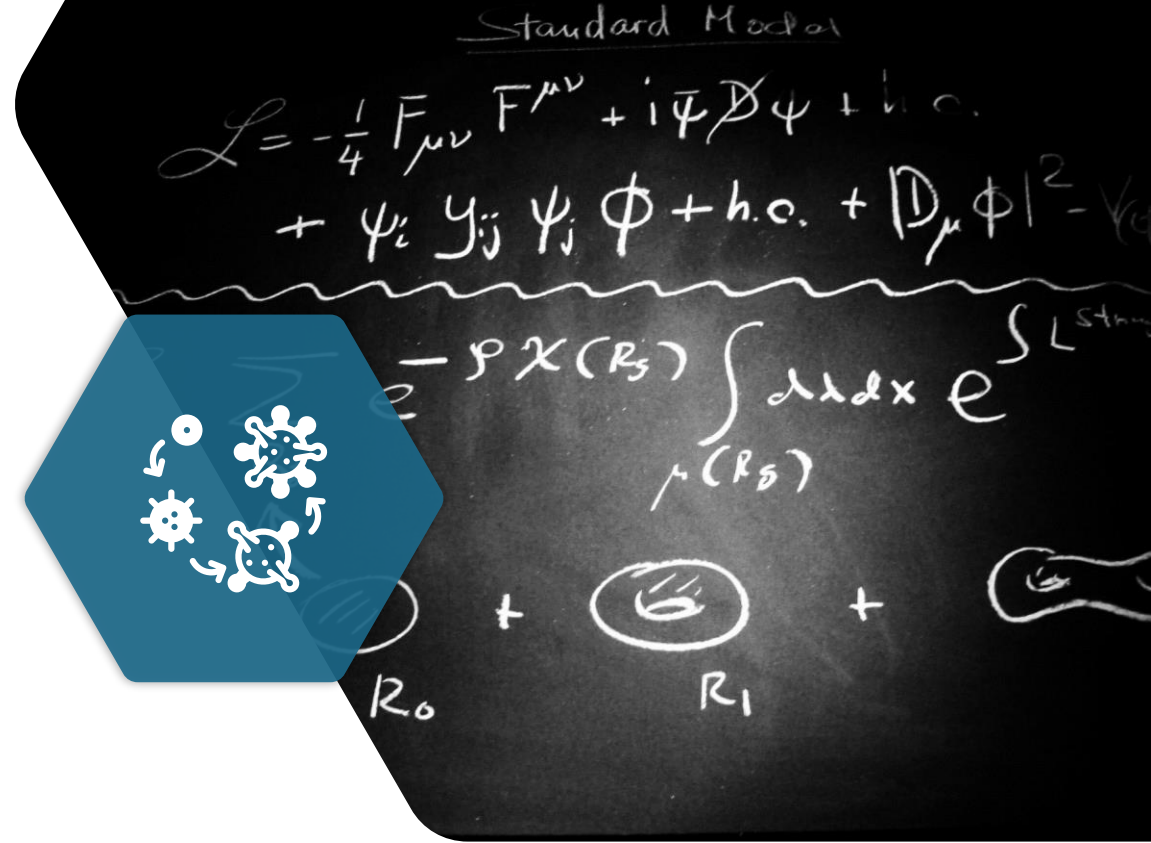
Ξ^- Ξ^0

Ω^-

γ

Bósons

INVESTIGAÇÃO DAS PARTÍCULAS
ESTRANHAS À LUZ DE **SIMETRIAS E**
PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO



A DISCIPLINA

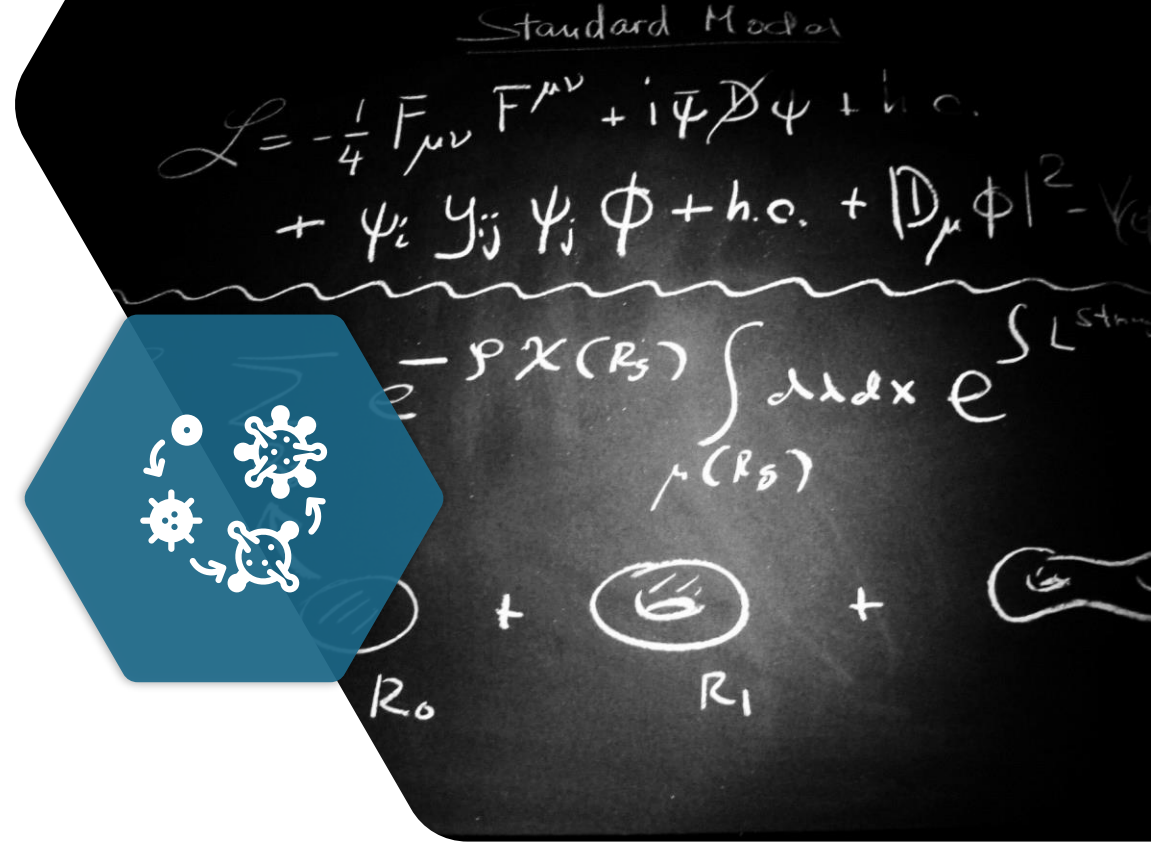
NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?

PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO

Quarks	Léptons	Bósons Vetoriais	Bósons Escalares
u	e	γ	H
d	μ	g	
s	ν	W^{\pm}	

DESCREVE ESTRUTURA E
INTERAÇÕES A PARTIR DE **GRUPOS**
E **QUEBRAS DE SIMETRIAS**



A DISCIPLINA NARRATIVA CONCEITUAL

Como seria o “Modelo Padrão” de diferentes momentos da Física ao longo do Séc. XX?

O FAMOSO QUADRO DO MODELO PADRÃO

- 1 **ESTRUTURA**
Interações Fortes
- 2 **DECAIMENTOS**
Interações Fracas
- 3 **INTERAÇÕES**
Fortes, Fracas e Eletromagnéticas
- 4 **ORIGEM DAS MASSAS**
Mecanismo de Higgs

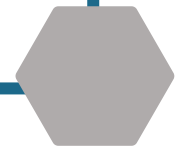
three generations of matter (fermions)			interactions / force carrier (bosons)		
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

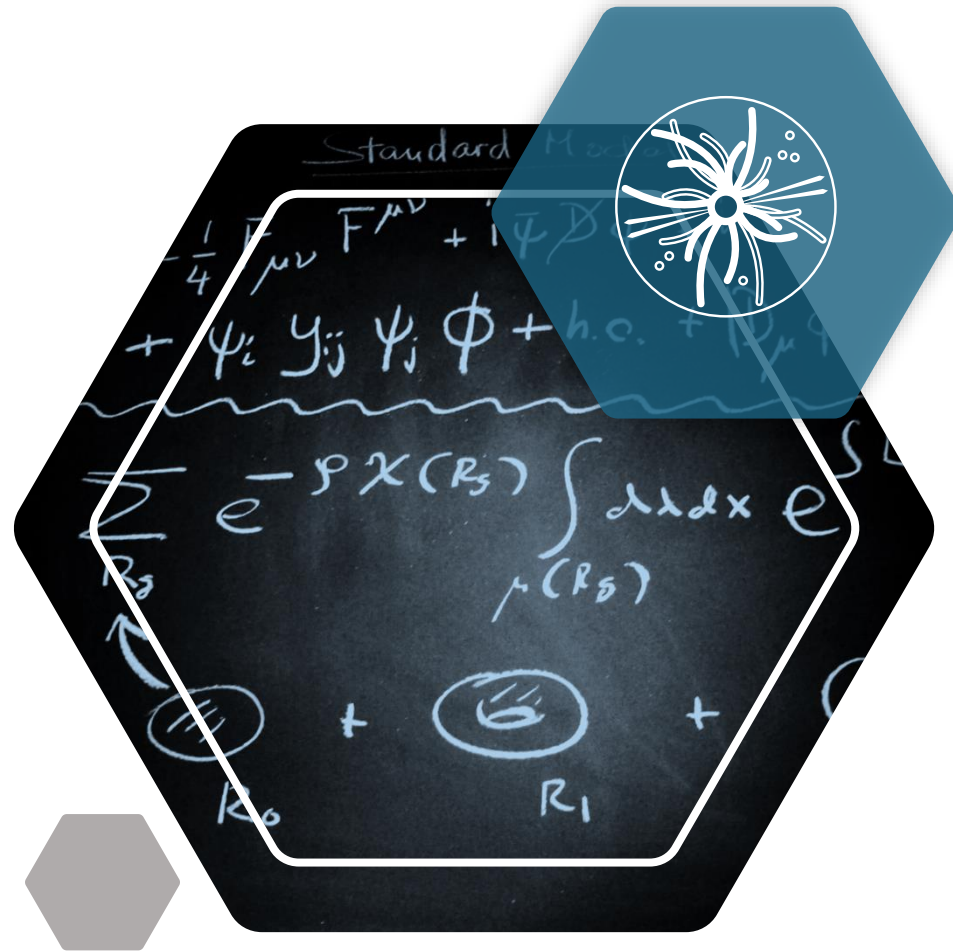
QUARKS (I, II, III)

LEPTONS (e, μ , τ , ν_e , ν_μ , ν_τ)

GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS (g, γ , Z, W)

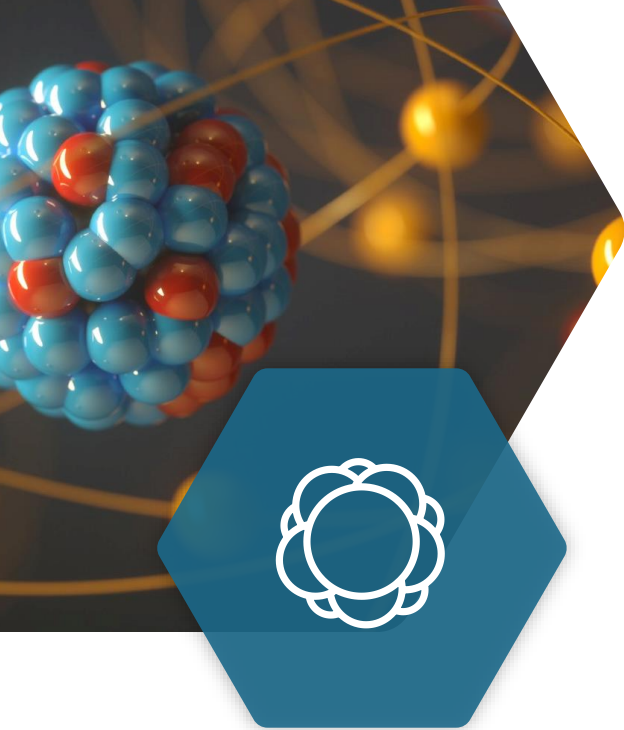
SCALAR BOSONS (H)





IMPLEMENTAÇÃO DA DISCIPLINA

Proposta, Ementa e Instrumentos de Avaliação: estrutura proposta para a disciplina Física Moderna IIA



ORGANIZAÇÃO DAS AULAS

Física Moderna IIA

 **Física de Partículas**

18
AULAS

Discussão e apresentação dos conceitos e bases teóricas e experimentais da Física de Partículas.



 **História da Física de Part.**

6
AULAS

Discussão histórica e reflexão epistemológica sobre a construção dos conceitos estudados na disciplina.

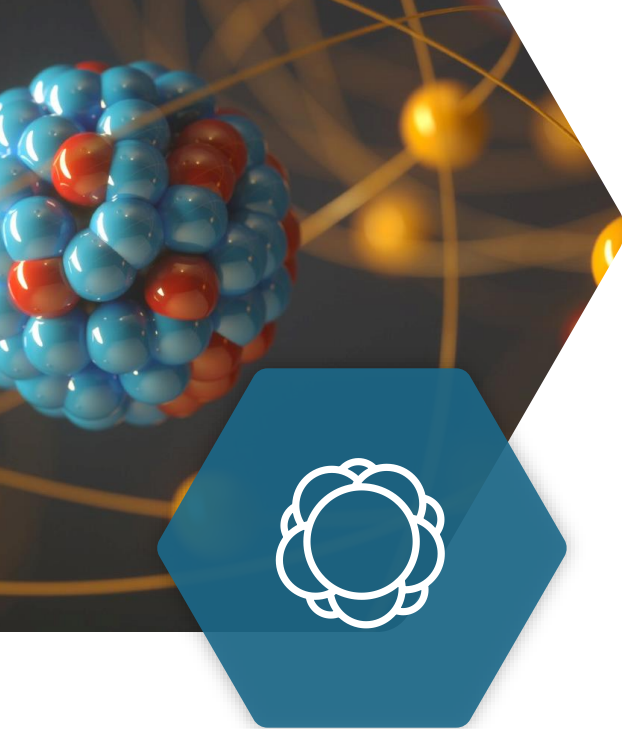


 **Currículo e Ensino da FP**

5
AULAS

Discussão sobre as bases curriculares e estratégias de ensino de Física de Partículas na educação básica.





INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

Física Moderna IIA



**Estudos
de Caso**

01

EM GRUPO

Resolução de 3 estudos de caso envolvendo os conceitos, formalismos teóricos e experimentos estudados ao longo dos blocos de discussões.



**Resenhas
Dirigidas**

02

INDIVIDUAL

Escrita de 3 resenhas inspiradas na leitura de um texto, refletindo sobre a construção dos conhecimentos discutidos na disciplina e como eu (estudante) articulo meus pensamentos sobre eles.



**Minicurso
FP no EM**

03

EM GRUPO

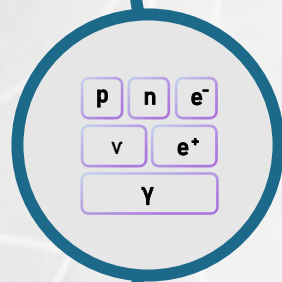
Elaborar e aplicar uma aula de Física de Partículas que será oferecida como parte de um minicurso direcionado a estudantes de Ensino Médio.



BLOCO 5



BLOCO 1



BLOCO 2



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

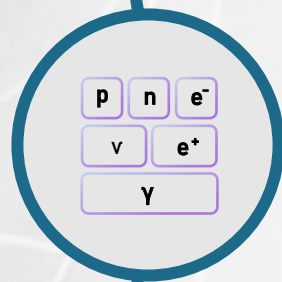
MECÂNICA QUÂNTICA RELATIVÍSTICA

- 1 Equações de Klein-Gordon e Dirac
- 2 Paradoxo de Klein, Antimatéria e Mar de Dirac
- 3 Detecção de Póstrons e a Câmara de Nuvens
- 4 Problemas Nucleares: Nêutrons e Neutrinos

BLOCO 5



BLOCO 1



BLOCO 2



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

MECÂNICA QUÂNTICA RELATIVÍSTICA

1

RESENHA 1

A autenticação do Pósitron e o Congresso de Solvay de 1933

(Ana-Marie Cretu)

2

ESTUDO DE CASO 1

Caracterização de partículas e processos e determinação de energias e momentos em Câmaras de Nuvens

EMENTA

DA DISCIPLINA

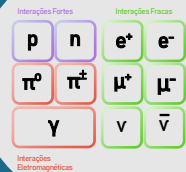
Física Moderna IIA

PARTÍCULAS E INTERAÇÕES

- 1 Potencial de Yukawa e Partículas Mediadoras
- 2 Chuveiro cósmico e cadeia de decaimento de Píons e Múons
- 3 Diagramas de Feynman: construção e amplitude de transição
- 4 Problema dos infinitos, Renormalização e as interações Fortes e Fracas

BLOCO 2

BLOCO 1



BLOCO 3



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

PARTÍCULAS E INTERAÇÕES

1

RESENHA 2

O tortuoso caminho em busca de uma Teoria Quântica de Campos

(Andrew Pickering)

2

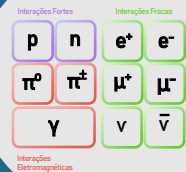
ESTUDO DE CASO 2

Estimando a vida média de de múons a partir de sua detecção em diferentes altitudes

BLOCO 1



BLOCO 2



BLOCO 3



EMENTA

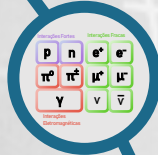
DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

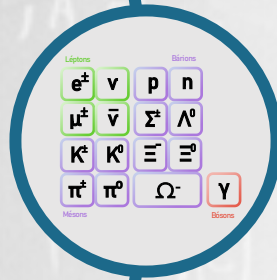
SIMETRIAS E PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO

- 1 Partículas Estranhas e Conservação para Mésons e Bárions
- 2 Estranheza e descrição de Kaons: Conservações na produção e violações no decaimento
- 3 Decaimentos do K^0 e descrição quântica de estados mistos
- 4 Isospin e representações em multipletto de partículas
- 5 Caminho Octeto e a detecção do Ω^-

BLOCO 2



BLOCO 3



BLOCO 4



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

SIMETRIAS E PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO

1

RESENHA 3

Abordagens diretas e indiretas
em Física Teórica

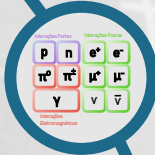
(Murray Gell-Mann)

2

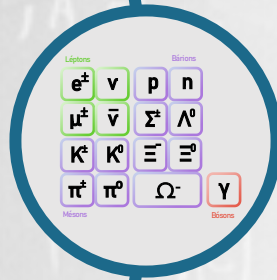
ESTUDO DE CASO 3

Caracterizando partículas
estranhas em Câmaras de Bolha

BLOCO 2



BLOCO 3



BLOCO 4



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

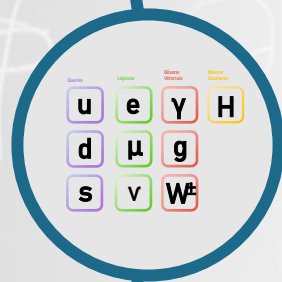
PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO

- 1 Quarks, Confinamento, Liberdade Assintótica e a detecção no SLAC
- 2 Bósons Z e W, correntes eletrofracas e a detecção no SPS
- 3 Mecanismo de Higgs, invariância de Gauge e a detecção no LHC

BLOCO 3



BLOCO 4



BLOCO 5



BLOCO 3

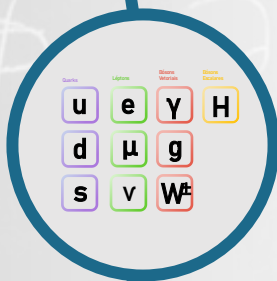


EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

BLOCO 4



PRELÚDIO AO MODELO PADRÃO

1

RESENHA 4

Quarks, QCD e confinamento:
a realidade de entidades confinadas

(Gell-Mann, Teller & Redhead)

2

ESTUDO DE CASO 4

Descrevendo interações fortes e
fracas com Diagramas de Feynman

BLOCO 5



BLOCO 4



BLOCO 5



BLOCO 1



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS



Modelo Padrão e formalismo lagrangeano



LHC e as questões em aberto da Física de Partículas na atualidade

BLOCO 4



BLOCO 5



BLOCO 1



EMENTA

DA DISCIPLINA

Física Moderna IIA

MODELO PADRÃO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

1

RESENHA 5

Abrindo interpretando a Lagrangeana do Modelo Padrão

(Symmetry Magazine)

2

ESTUDO DE CASO 5

Investigando o plasma de Quarks e Glúons no experimento ALICE do LHC



**MUITO
OBRIGADO!**



RENAN.MILNITSKY@USP.BR