

UFES, Novembro de 2013

Campos Escalares em Ação

Dionisio Bazeia
DF-UFPB

Simetrias

Campos Escalares

Aplicações

Simetrias

Campos Escalares

Aplicações

A diagram consisting of a light blue rounded rectangle containing the text 'Física', 'Química', and 'Biologia' stacked vertically. Two light blue lines extend from the left side of the rectangle, pointing towards the word 'Aplicações' in the 'Aplicações' section.

Física
Química
Biologia

Simetrias

transformações que deixam o sistema invariante

Simetrias

transformações que deixam o sistema invariante

Existem dois tipos

Simetrias

transformações que deixam o sistema invariante

Existem dois tipos

Discretas:

quando o conjunto de simetrias é contável

Simetrias

transformações que deixam o sistema invariante

Existem dois tipos

Discretas:

quando o conjunto de simetrias é contável

Contínuas:

quando o conjunto de simetrias não é contável

simetrias discretas

simetrias discretas



simetrias discretas



simetrias discretas



simetrias contínuas

simetrias discretas



simetrias contínuas



ângulo θ qualquer

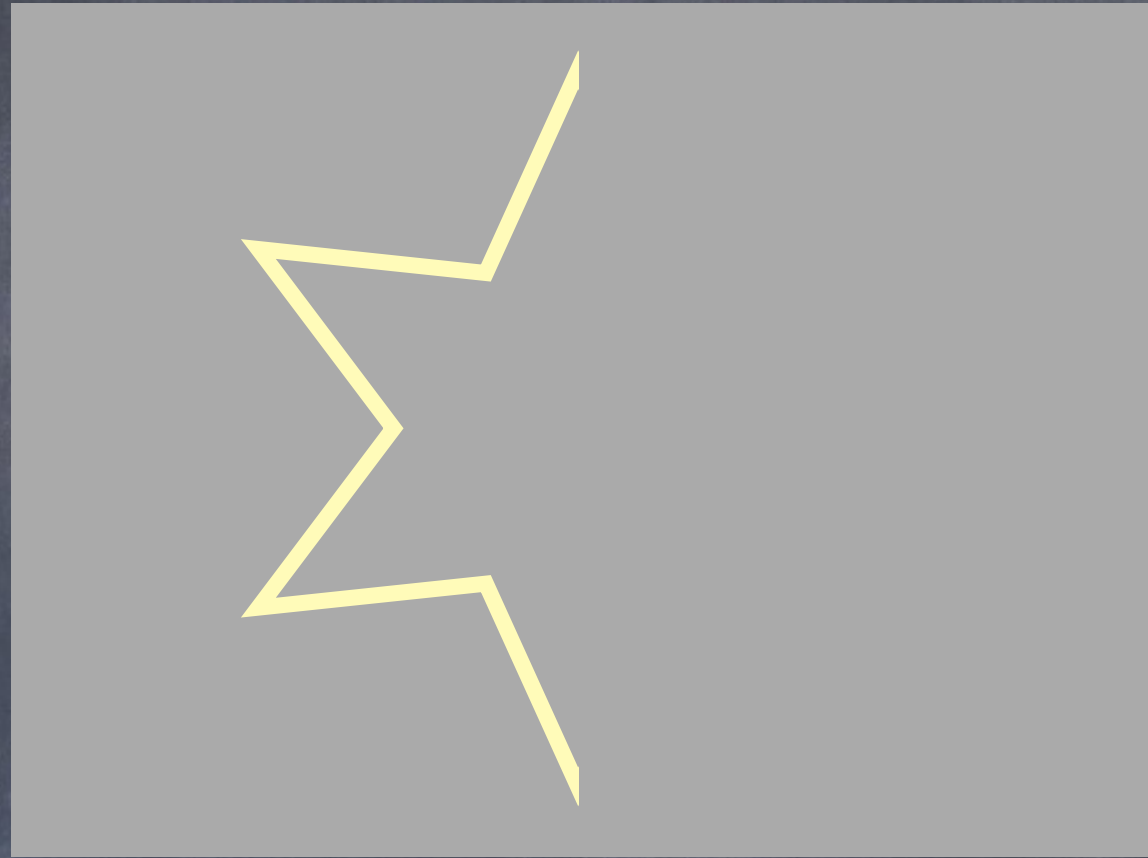
importância:

discreta



importância:

discreta



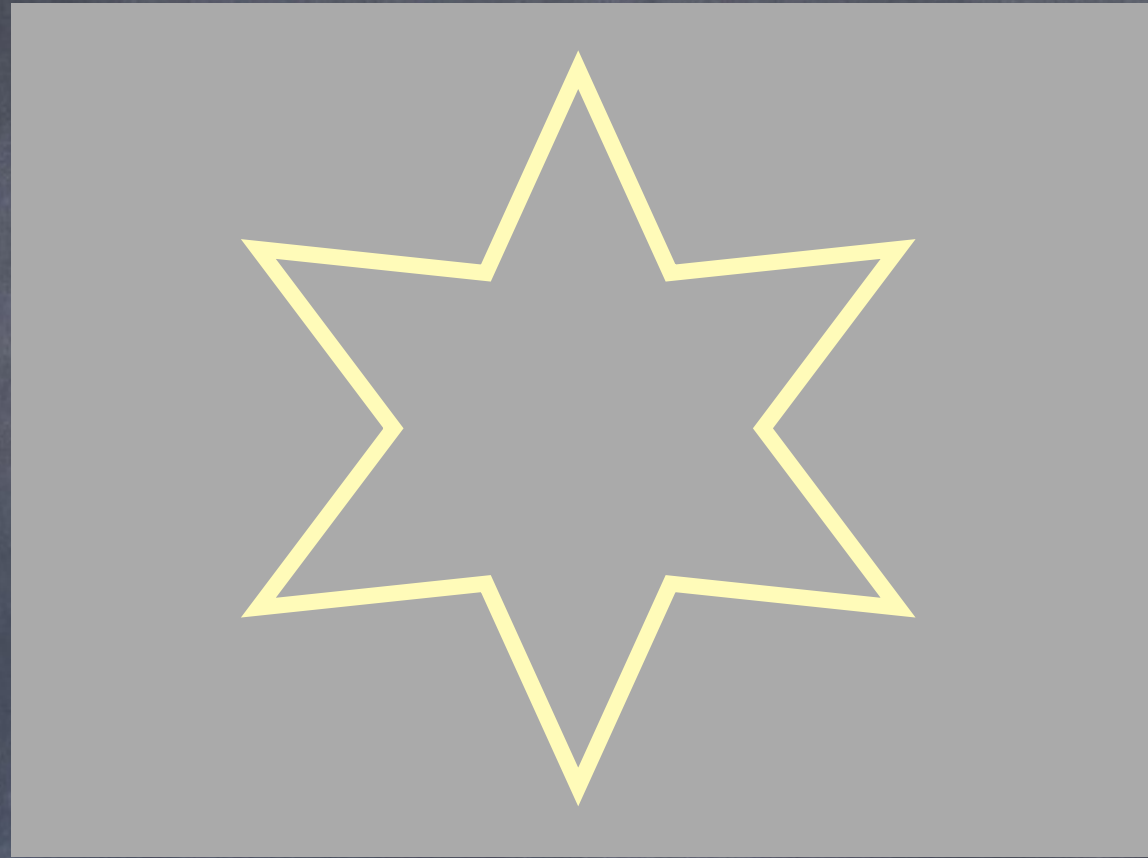
importância:

discreta



importância:

discreta



contínua

Teorema de Noether. Leis de conservação.

Translação no tempo – energia;

Translação no espaço – momento linear;

Rotação – momento angular

A simetria Z_N

Teorema de Cayley: P_N

A simetria Z_N

$N=2$

A simetria Z_N

$N=2$

180°

.

A simetria Z_N

$N=2$



A simetria Z_N

$N=2$

180°

.

A simetria Z_N

$N=2$

180°

.

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

A simetria Z_N

$N=2$

180°

.

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



A simetria Z_N

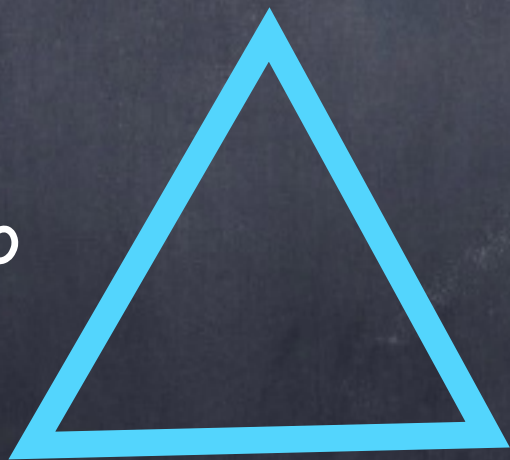
$N=2$

180°

.

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



A simetria Z_N

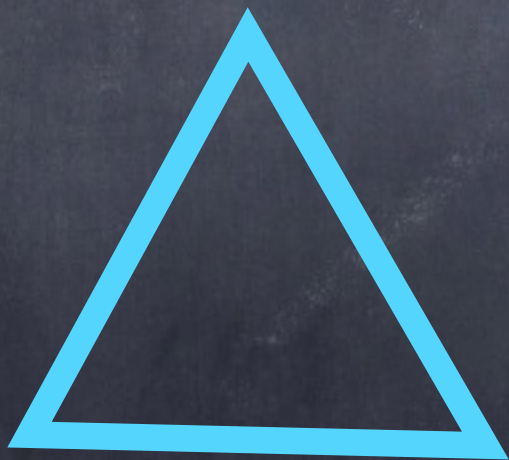
$N=2$

180°

.

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

.

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

modelos com
um único campo

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



A simetria Z_N

$N=2$

180°

modelos com
um único campo

$N=3,4,5,\dots$, polígonos regulares

120°



90°



modelos com
dois campos

CAMPOS ESCALARES

O modelo físico, quantitativo:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - V(\phi) = \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} \phi'^2 - V(\phi)$$

A equação de movimento $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{dV}{d\phi}$

O modelo físico, quantitativo:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - V(\phi) = \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} \phi'^2 - V(\phi)$$

A equação de movimento $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{dV}{d\phi}$

O potencial $V(\phi) = \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2$

O modelo físico, quantitativo:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - V(\phi) = \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} \phi'^2 - V(\phi)$$

A equação de movimento $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{dV}{d\phi}$

O potencial $V(\phi) = \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2$

A eq. de primeira ordem

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{dW}{d\phi}$$

UFPB

O modelo físico, quantitativo:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - V(\phi) = \frac{1}{2} \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} \phi'^2 - V(\phi)$$

A equação de movimento $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{dV}{d\phi}$

O potencial $V(\phi) = \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2$

A eq. de primeira ordem

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{dW}{d\phi}$$

UFPB

A energia $\Delta W = W(\phi(\infty)) - W(\phi(-\infty))$

Modelos com um único campo

polinomiais: phi-quatro, phi-seis, phi-oito,...

não-polonomiais: sine-Gordon, duplo sine-Gordon,...

Alberto Alonso-Izquierdo

Juan Mateos Guilarte

Miguel Angel Gonzalez-Leon

USalamanca

Modelos com um único campo

polinomiais: phi-quatro, phi-seis, phi-oito,...

não-polonomiais: sine-Gordon, duplo sine-Gordon,...

O modelo phi-quatro:

$$V(\phi) = \frac{1}{2} (1 - \phi^2)^2$$

dois parâmetros:
largura e amplitude

ENERGIA

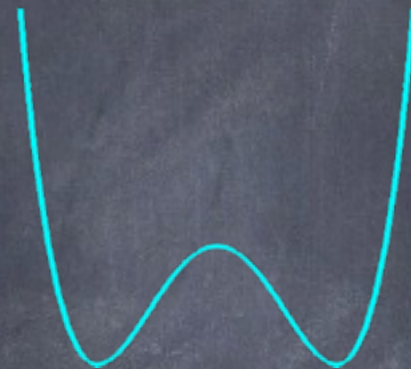
Modelos com um único campo

polinomiais: phi-quatro, phi-seis, phi-oito,...

não-polonomiais: sine-Gordon, duplo sine-Gordon,...

O modelo phi-quatro:

$$V(\phi) = \frac{1}{2} (1 - \phi^2)^2$$



dois parâmetros:
largura e amplitude

ENERGIA

Modelos com um único campo

polinomiais: phi-quatro, phi-seis, phi-oito,...

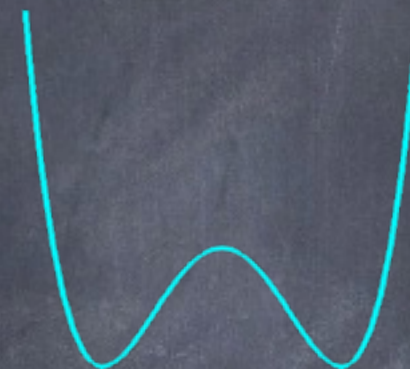
não-polonomiais: sine-Gordon, duplo sine-Gordon,...

O modelo phi-quatro:

$$V(\phi) = \frac{1}{2} (1 - \phi^2)^2$$

dois parâmetros:
largura e amplitude

ENERGIA



KINK/LUMP

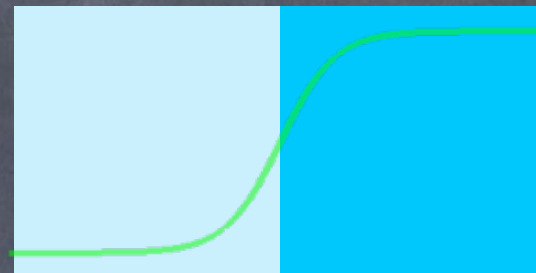
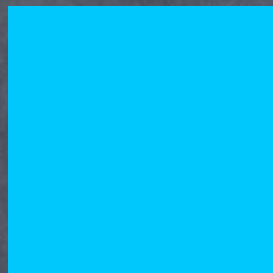
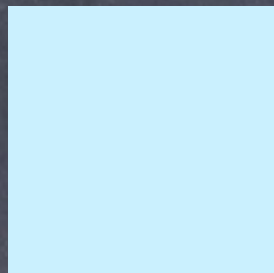
O modelo físico, qualitativo:

O modelo físico, qualitativo:



kink: interface ou defeito topológico
quanto mais difuso, menor energia

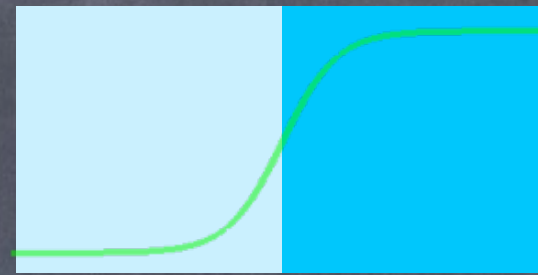
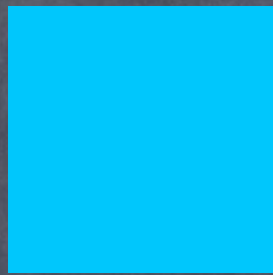
O modelo físico, qualitativo:



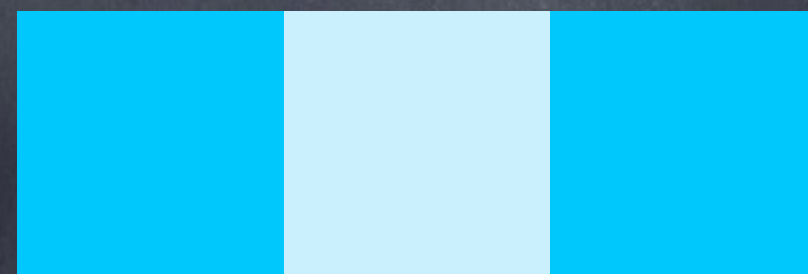
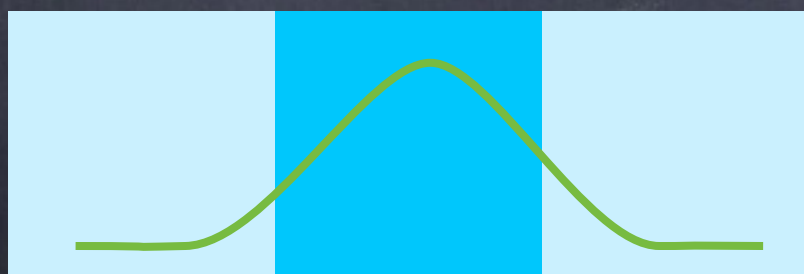
kink: interface ou defeito topológico
quanto mais difuso, menor energia



O modelo físico, qualitativo:



kink: interface ou defeito topológico
quanto mais difuso, menor energia



lump: interface ou defeito não-topológico

O modelo físico, qualitativo:

Dois campos

O modelo físico, qualitativo:

Dois campos $\varphi = \phi + i\chi$ $W(\varphi) = \varphi - \frac{1}{N+1} \varphi^{N+1}$

O modelo físico, qualitativo:

Dois campos

$$\varphi = \phi + i\chi$$

$$W(\varphi) = \varphi - \frac{1}{N+1} \varphi^{N+1}$$

$$W'(\varphi) = 0$$

$$\varphi^N = 1$$

O modelo físico, qualitativo:

Dois campos

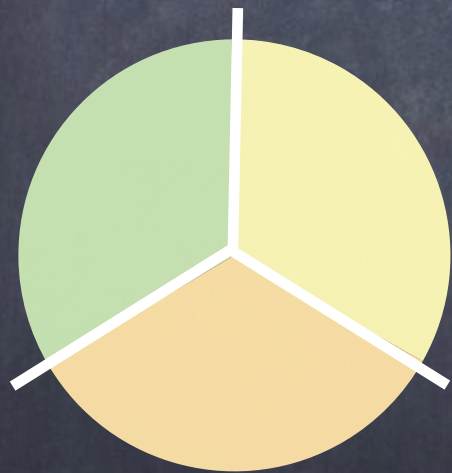
$$\varphi = \phi + i\chi$$

$$W(\varphi) = \varphi - \frac{1}{N+1} \varphi^{N+1}$$

$$N=3$$

$$W'(\varphi) = 0$$

$$\varphi^N = 1$$



junção tripla

O modelo físico, qualitativo:

Dois campos

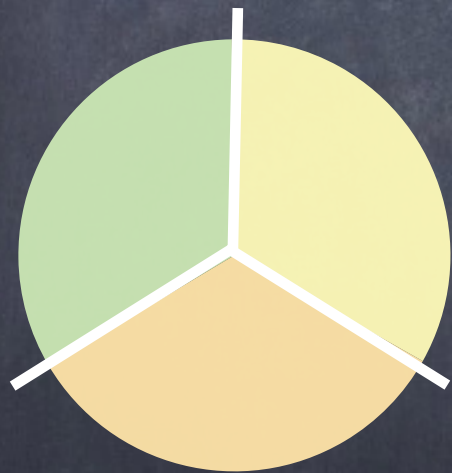
$$\varphi = \phi + i\chi$$

$$W(\varphi) = \varphi - \frac{1}{N+1} \varphi^{N+1}$$

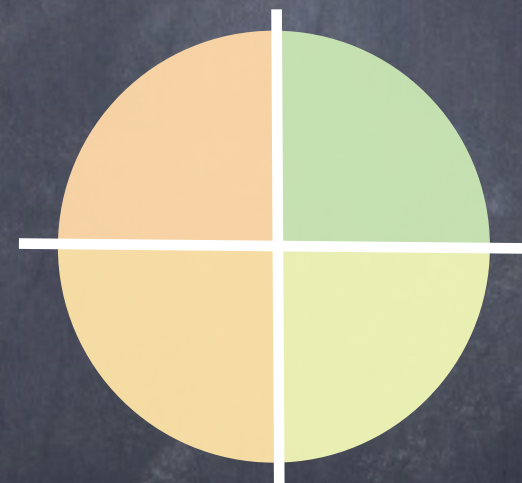
N=3

$$W'(\varphi) = 0$$

N=4



$$\varphi^N = 1$$



junção tripla

junção quártica

APLICAÇÕES

Física;
um campo

Física;
um campo

Sólitons em fibras ópticas

$$\phi^2 \rightarrow E \text{ or } |\Psi|^2$$

KINK = DARK SOLITON
LUMP = BRIGHT SOLITON

Física;
um campo

Sólitons em fibras ópticas

$$\phi^2 \rightarrow E \text{ or } |\Psi|^2$$

KINK = DARK SOLITON
LUMP = BRIGHT SOLITON

Condensados de Bose-Einstein

Avelar, DB, Cardoso, PRE,RC(2009)

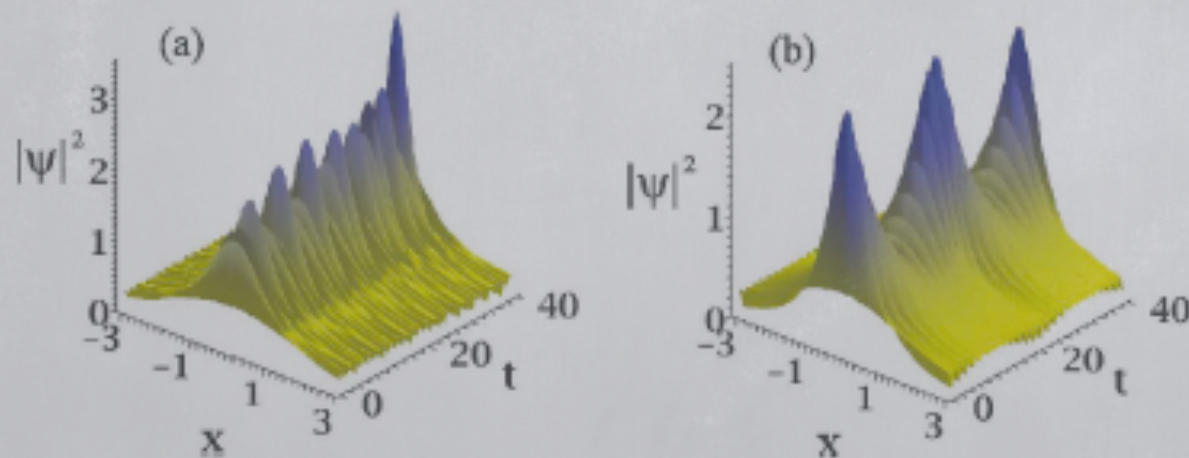


FIG. 3: (Color on line) Plots of $|\Psi(x,t)|^2$ for the resonant bright soliton for $\epsilon = 0.5$ and $\omega_0 = 1$ (a), and of the breathing bright soliton, for $\epsilon = 0$ (b). Initial data for Eq. (12) are $\chi(0) = \sqrt{2}$ and $d\chi/dt(0) = 0$.

Física;
um campo

Sólitons em fibras ópticas

$$\phi^2 \rightarrow E \text{ or } |\Psi|^2$$

KINK = DARK SOLITON
LUMP = BRIGHT SOLITON

Condensados de Bose-Einstein

Avelar, DB, Cardoso, PRE,RC(2009)

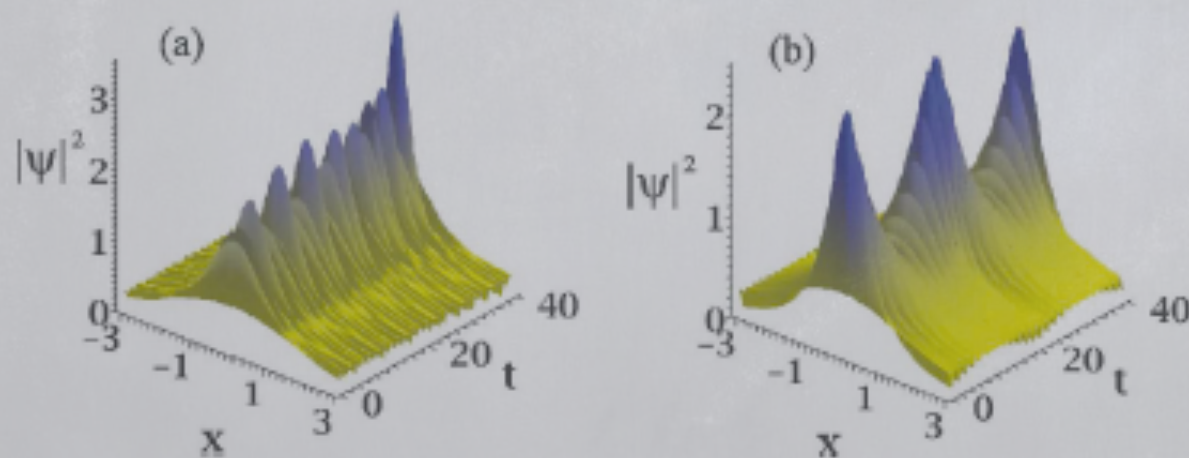


FIG. 3: (Color on line) Plots of $|\Psi(x, t)|^2$ for the resonant bright soliton for $\epsilon = 0.5$ and $\omega_0 = 1$ (a), and of the breathing bright soliton, for $\epsilon = 0$ (b). Initial data for Eq. (12) are $\chi(0) = \sqrt{2}$ and $d\chi/dt(0) = 0$.

Avelar, Cardoso
Colaboração
Física-UFG

Física; 1 ou 2 campos

Avelar, DB, Cardoso, PRE2010

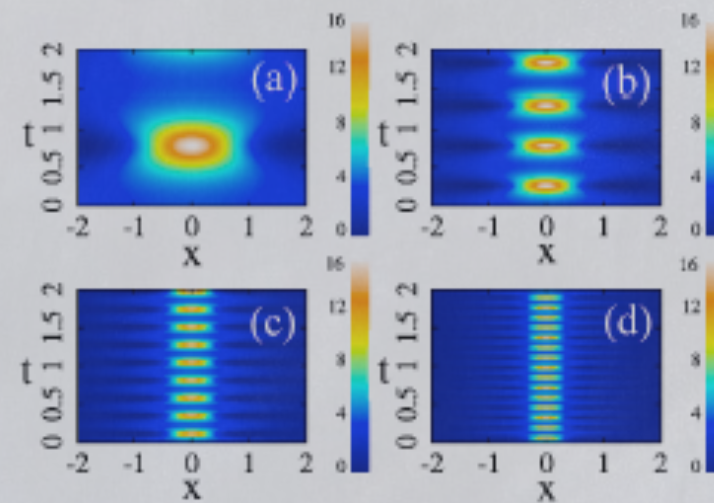


FIG. 1: (Color online) Plots of the 3D breather solution $|\psi|^2$ for $v(\mathbf{r}, t) = 0$ and $g = -1$, in the (x, t) plane, considering $y = z = 0$. We display the cases (a) $c_1 = c_2 = c_3 = 1/\sqrt{3}$, (b) $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, (c) $c_1 = c_2 = c_3 = 1.5$, and (d) $c_1 = c_2 = c_3 = 2$.

Física;
1 ou 2 campos

Avelar, DB, Cardoso, PRE2010

Vários
artigos

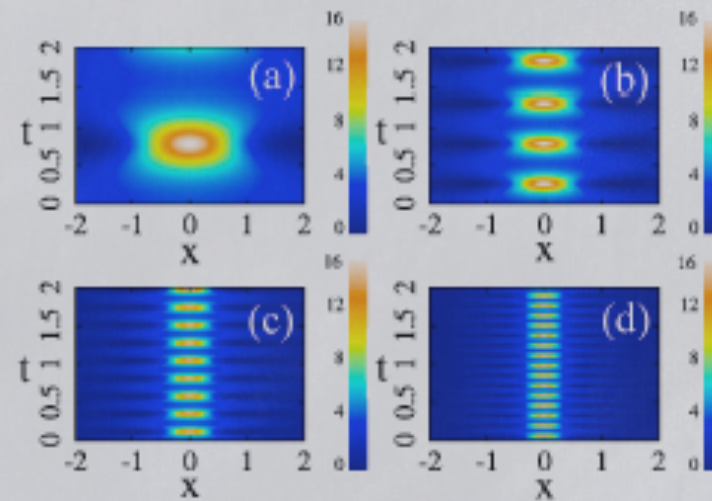


FIG. 1: (Color online) Plots of the 3D breather solution $|\psi|^2$ for $v(\mathbf{r}, t) = 0$ and $g = -1$, in the (x, t) plane, considering $y = z = 0$. We display the cases (a) $c_1 = c_2 = c_3 = 1/\sqrt{3}$, (b) $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, (c) $c_1 = c_2 = c_3 = 1.5$, and (d) $c_1 = c_2 = c_3 = 2$.

Física;
1 ou 2 campos

Avelar, DB, Cardoso, PRE2010

Vários
artigos

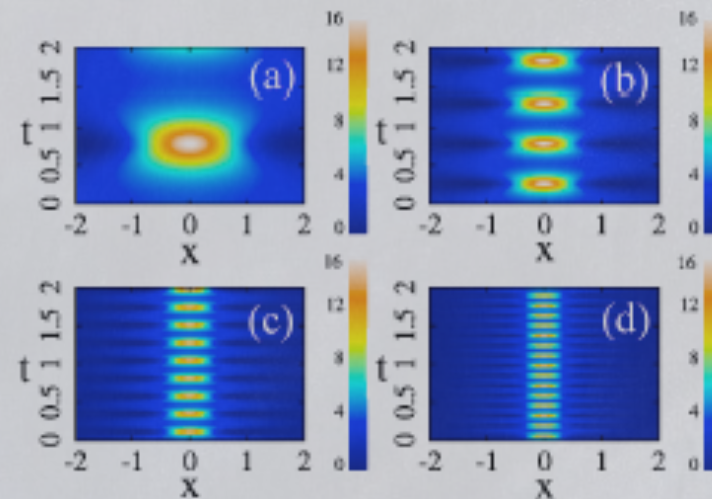


FIG. 1: (Color online) Plots of the 3D breather solution $|\psi|^2$ for $v(\mathbf{r}, t) = 0$ and $g = -1$, in the (x, t) plane, considering $y = z = 0$. We display the cases (a) $c_1 = c_2 = c_3 = 1/\sqrt{3}$, (b) $c_1 = c_2 = c_3 = 1$, (c) $c_1 = c_2 = c_3 = 1.5$, and (d) $c_1 = c_2 = c_3 = 2$.

Cardoso, Zeng, Avelar, DB, Malomed, PRE2013

↓
China

↓
Israel

Química;
dois campos

Polímeros; defeitos conformacionais

Química;
dois campos

Polímeros; defeitos conformacionais

poliacetileno



Química;
dois campos

Polímeros; defeitos conformacionais

poliacetileno



polietileno



DB, Ventura, CPL(1999)

Química;
dois campos

Polímeros; defeitos conformacionais

poliacetileno



polietileno



DB, Ventura, CPL(1999)

EVentura, SMonte: Colaboração, Química-UFPB

Biologia;
várias espécies

diversidade $\rightarrow$ ciclicidade $\rightarrow$ simetria Z_N

Biologia;
várias espécies

diversidade → ciclicidade → simetria Z_N
a mata b b mata c c mata a

jogo: papel, pedra e tesoura

Biologia;
várias espécies

diversidade $\rightarrow$ ciclicidade $\rightarrow$ simetria Z_N
a mata b b mata c c mata a

jogo: papel, pedra e tesoura

Avelino, DB, Losano,
Menezes, PRE(2012)
Kaleidoscope

Biologia;
várias espécies

diversidade $\rightarrow$ ciclicidade $\rightarrow$ simetria Z_N
a mata b b mata c c mata a

jogo: papel, pedra e tesoura

Avelino, DB, Losano,
Menezes, PRE(2012)
Kaleidoscope

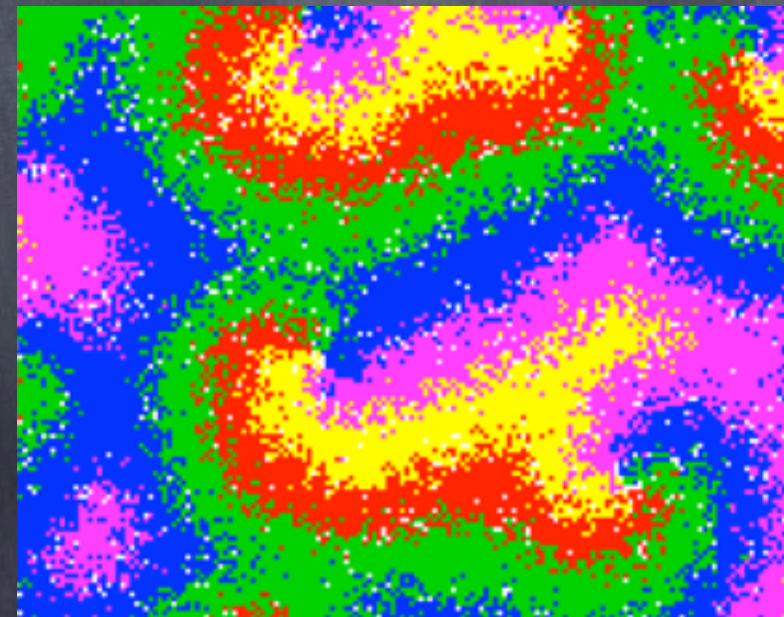
Avelino, DB, Losano, Menezes, Oliveira, PRE(2012)

Biologia;
várias espécies

diversidade $\rightarrow$ ciclicidade $\rightarrow$ simetria Z_N
 a mata b b mata c c mata a

jogo: papel, pedra e tesoura

Avelino, DB, Losano,
Menezes, PRE(2012)
Kaleidoscope



Avelino, DB, Losano, Menezes, Oliveira, PRE(2012)

Biologia;
várias espécies

Biologia;
várias espécies

regras do tipo

$a.b = a.v$

$a.v = v.a$

$a.v = a.a$

predação mobilidade reprodução

Biologia;
várias espécies

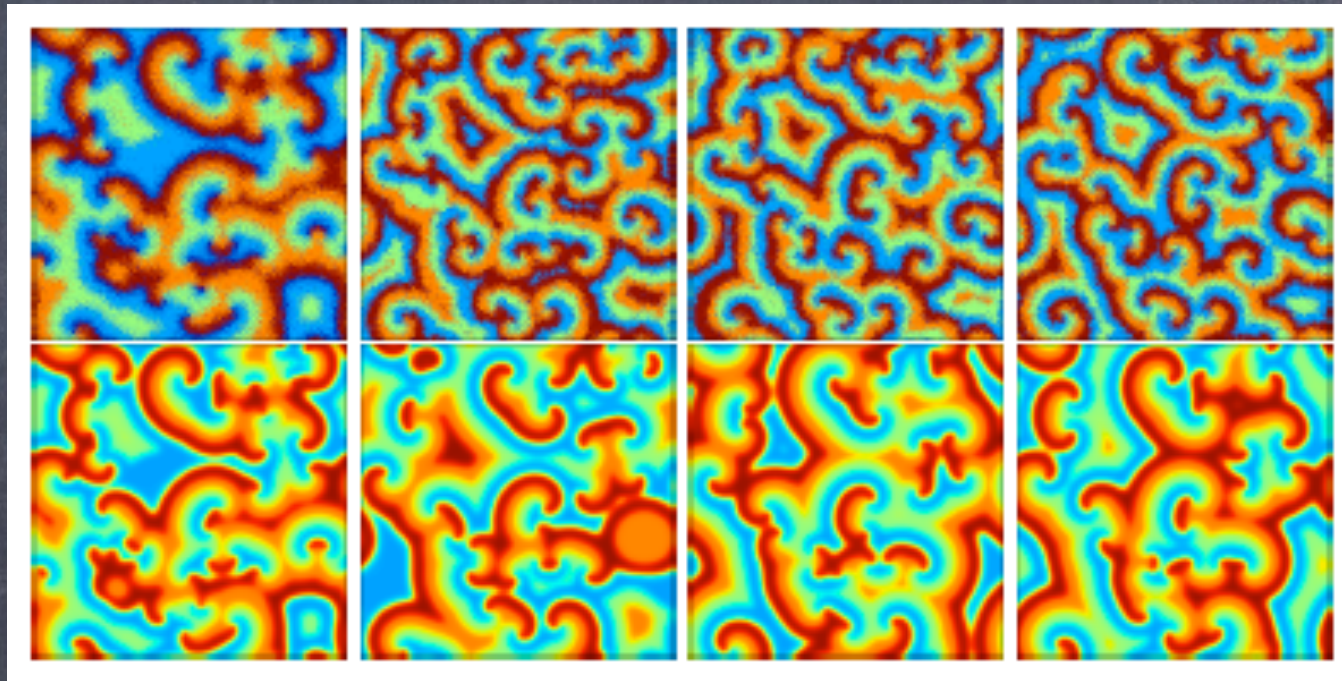
regras do tipo

$a.b = a.v$

$a.v = v.a$

$a.v = a.a$

predação mobilidade reprodução



Biologia;
várias espécies

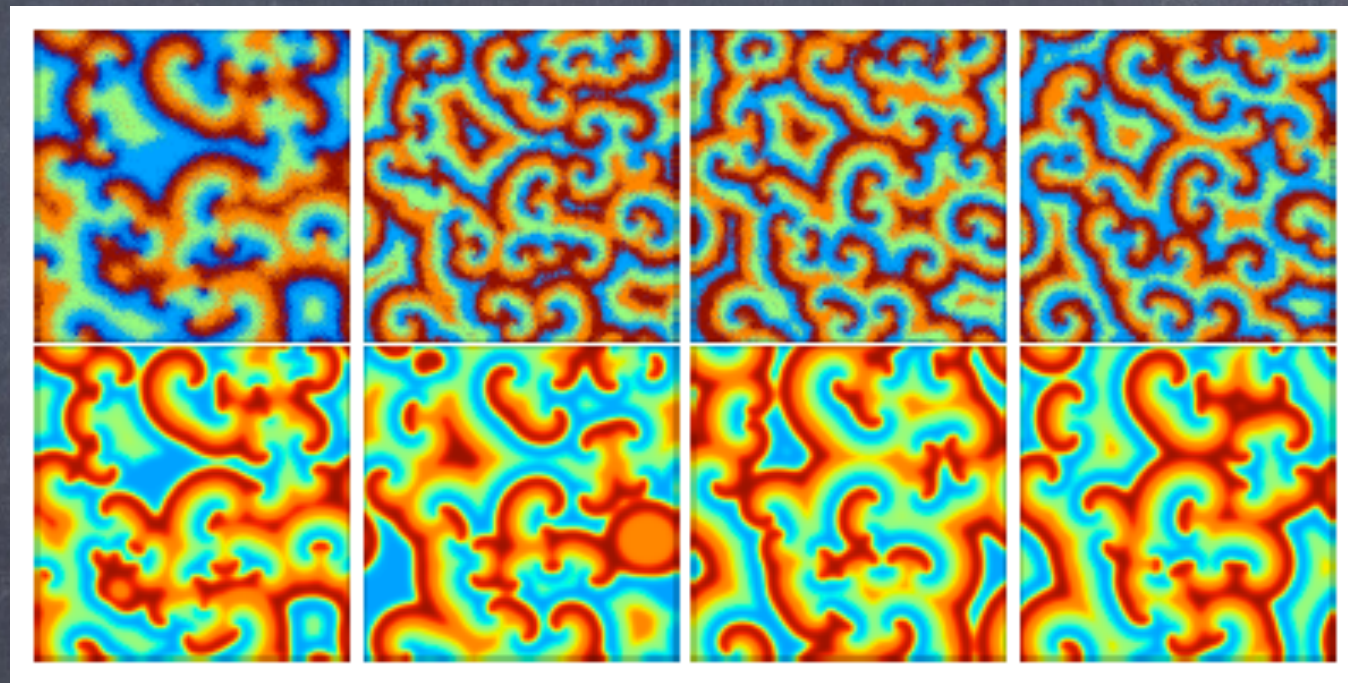
regras do tipo

$a.b = a.v$

$a.v = v.a$

$a.v = a.a$

predação mobilidade reprodução



Avelino, UP; Losano, UFPB,
Menezes, UFRN; Oliveira, UEM

MAIS
APLICAÇÕES

MUNDO-BRANA

MUNDO-BRANA

Supercordas, $D=10$

Randall-Sundrum, $10=4+1+5$

Dimensão extra

(1999)

MUNDO-BRANA

Supercordas, $D=10$

Randall-Sundrum, $10=4+1+5$

Dimensão extra

(1999)

S^5

$3+1$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura
 $\det(g_{ab})$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura
 $\det(g_{ab})$

$$ds^2 = e^{A(y)} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura

$\det(g_{ab})$

$$ds^2 = e^{A(y)} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

warp factor

métrica quadridimensional
AdS, $\mathcal{M}$, dS

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura

$\det(g_{ab})$

$$ds^2 = e^{A(y)} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

warp factor

métrica quadridimensional
AdS, $\mathcal{M}$, dS

$$V = \frac{1}{8} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2 - \frac{1}{3} W^2$$

$$\left| \begin{array}{l} \frac{d\phi}{dy} = \frac{1}{2} \frac{dW}{dx} \\ \frac{dA}{dy} = -\frac{1}{3} W \end{array} \right.$$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura

$\det(g_{ab})$

$$ds^2 = e^{A(y)} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

warp factor

métrica quadridimensional
AdS, $\mathcal{M}$, dS

vá

$$V = \frac{1}{8} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2 - \frac{1}{3} W^2$$

$$\left| \begin{array}{l} \frac{d\phi}{dy} = \frac{1}{2} \frac{dW}{dx} \\ \frac{dA}{dy} = -\frac{1}{3} W \end{array} \right.$$

$$S = \int d^4x dy \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

dimensão
extra

escalar de curvatura

$\det(g_{ab})$

$$ds^2 = e^{A(y)} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

warp factor

métrica quadridimensional
AdS, $\mathcal{M}$, dS

vá

$$V = \frac{1}{8} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2 - \frac{1}{3} W^2$$

$$\left| \begin{array}{l} \frac{d\phi}{dy} = \frac{1}{2} \frac{dW}{dx} \\ \frac{dA}{dy} = -\frac{1}{3} W \end{array} \right.$$

B

COSMOLOGIA

COSMOLOGIA

Princípio cosmológico

isotropia & homogeneidade

COSMOLOGIA

Princípio cosmológico

isotropia & homogeneidade

1999: Universo em expansão acelerada
Riess, Schmidt, Perlmutter; Nobel 2011

COSMOLOGIA

Princípio cosmológico

isotropia & homogeneidade

1999: Universo em expansão acelerada
Riess, Schmidt, Perlmutter; Nobel 2011

DARK ENERGY

FRW

$$S = \int d^4x \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

FRW

$$S = \int d^4x \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) d\vec{x}^2$$

FRW

$$S = \int d^4x \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) d\vec{x}^2$$

fator de escala



FRW

$$S = \int d^4x \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) d\vec{x}^2$$

fator de escala



$$H = \frac{\dot{a}}{a} = W(\phi(t)) \longrightarrow \dot{\phi} = -\frac{dW}{d\phi}$$

$$\longrightarrow V = \frac{3}{2} W^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2$$

FRW

$$S = \int d^4x \sqrt{|g|} \left(-\frac{1}{4} R + \mathcal{L}(\phi, \partial_\mu \phi) \right)$$

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) d\vec{x}^2$$

fator de escala



$$H = \frac{\dot{a}}{a} = W(\phi(t)) \longrightarrow \dot{\phi} = -\frac{dW}{d\phi}$$

$$\longrightarrow V = \frac{3}{2} W^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{d\phi} \right)^2$$

feito em João Pessoa

DB, Gomes, Losano, RMenezes, PLB(2006)

Física tradicional

energia depende do quadrado da velocidade

energia cinética = massa $\times$ velocidade ao quadrado / 2

Física tradicional

energia depende do quadrado da velocidade

DARK ENERGY

Física nova

energia depende de função geral do quadrado da velocidade

Física tradicional

energia depende do quadrado da velocidade

DARK ENERGY

Física nova

energia depende de função geral do quadrado da velocidade

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}(\phi, X) \quad X = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi$$

Física tradicional

energia depende do quadrado da velocidade

DARK ENERGY

Física nova

energia depende de função geral do quadrado da velocidade

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}(\phi, X) \quad X = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi$$

novos modelos novas soluções

defeitos compactos

modelos gêmeos

Física tradicional

energia depende do quadrado da velocidade

DARK ENERGY

Física nova

energia depende de função geral do quadrado da velocidade

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}(\phi, X) \quad X = \frac{1}{2} \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi$$

novos modelos novas soluções

defeitos compactos

modelos gêmeos

vários artigos: PRD, PLB, EPJC

Agradecimientos

Agradecimentos

CAPES & CNPq

Agradecimentos

Adalto Gomes, IFMA

Ashok Das, URochester

Juan Guilarte, USalamanca

Ardiley Avelar, UFG

Jorge Malbouisson, UFBA

Adilson da Silva, USP

Pedro Avelino, UPorto

Wesley Cardoso, UFG

Josinaldo Menezes, UFRN

Laercio Losano, UFPB

Rodolfo Casana, UFMA

Alberto Alonso, USalamanca

Jorge Gabriel Ramos, UFPB

Breno Oliveira, UEM

Roberto Menezes, UFPB

Manoel Ferreira Jr, UFMA

CAPES & CNPq

Miguel Gonzalez-Leon, USalamanca

Francisco Brito, UFCG

Roldão da Rocha, UFABC

Eduardo da Hora, UFMA

Obrigado