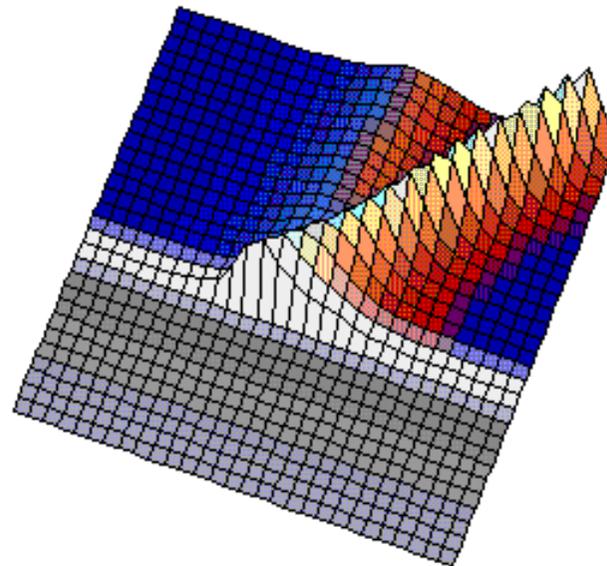


SOLITÕES

Ondas não lineares



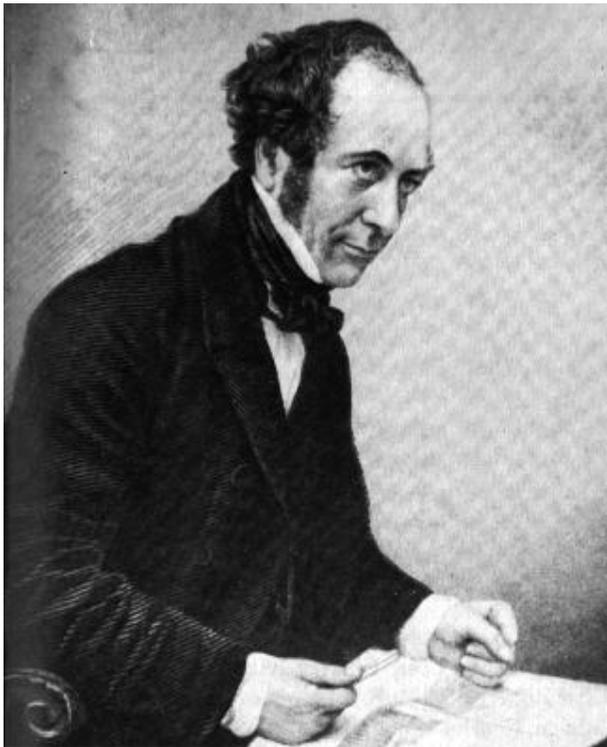
Simulação de Alex Kasman

Paula Bordalo

John Scott Russell

1ª observação experimental de solitões

- **"Report on Waves":** (Report of the 14th meeting of the British Association for the Advancement of Science, York, September 1844 (London 1845), pp 311-390, Plates XLVII-LVII)



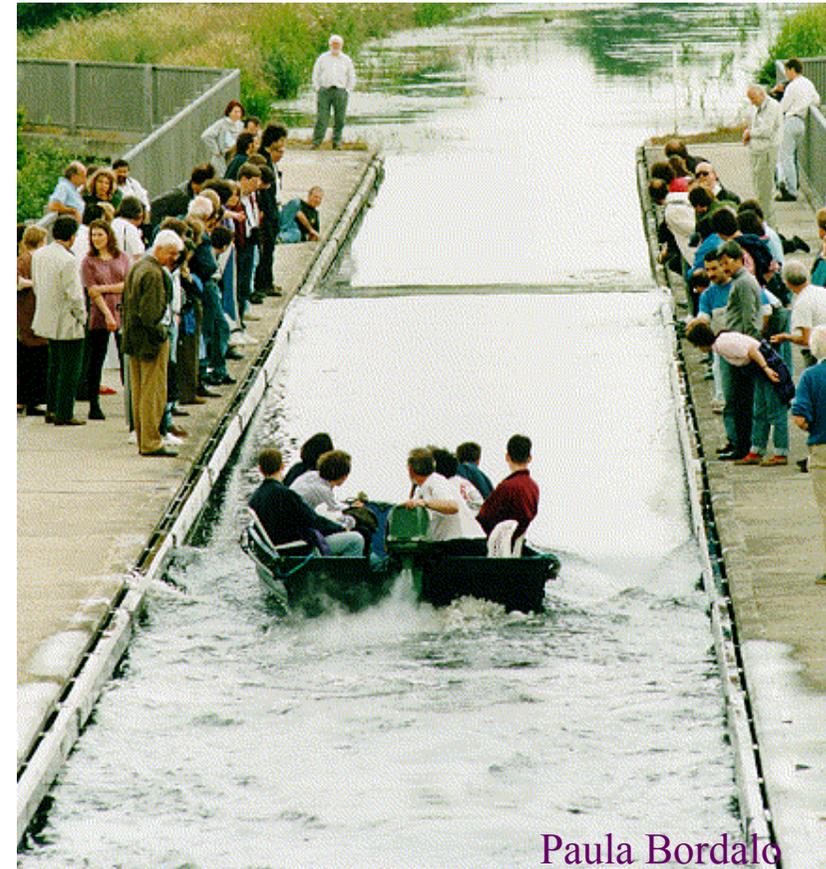
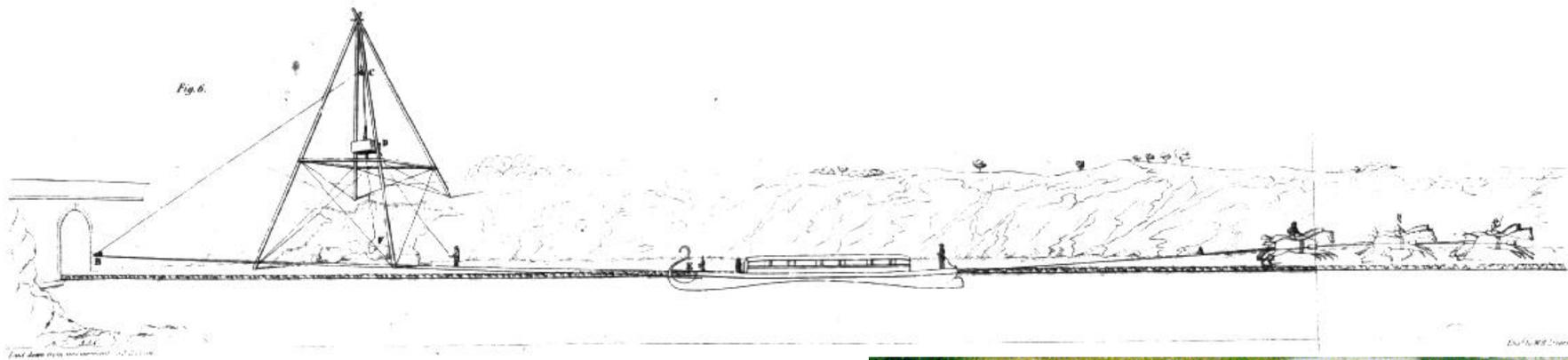
Eng^o Naval (1808-1882)



“I was observing the motion of a boat which was rapidly drawn along a narrow channel by a pair of horses, when the boat suddenly stopped - not so the mass of water in the channel which it had put in motion; it accumulated round the prow of the vessel in a state of violent agitation, then suddenly leaving it behind, rolled forward with great velocity, assuming the form of a **large solitary elevation**, a rounded, smooth and well-defined heap of water, which **continued** its course along the channel apparently **without change of form or diminution of speed**. I followed it on horseback, and overtook it still rolling on at a rate of some **eight or nine miles an hour, preserving its original figure** - some thirty feet long and a foot to a foot and a half in height. Its height gradually diminished, and after a chase of one or two miles I lost it in the windings of the channel. Such, in the month of **August 1834**, was my first chance interview with that singular and beautiful phenomenon which I have called the **Wave of Translation**”.

Paula Bordalo

Observação no Union Canal, Hermiston, 1834



O canal tem $89.3 \times 4.13 \times 1.52 \text{ m}^3$

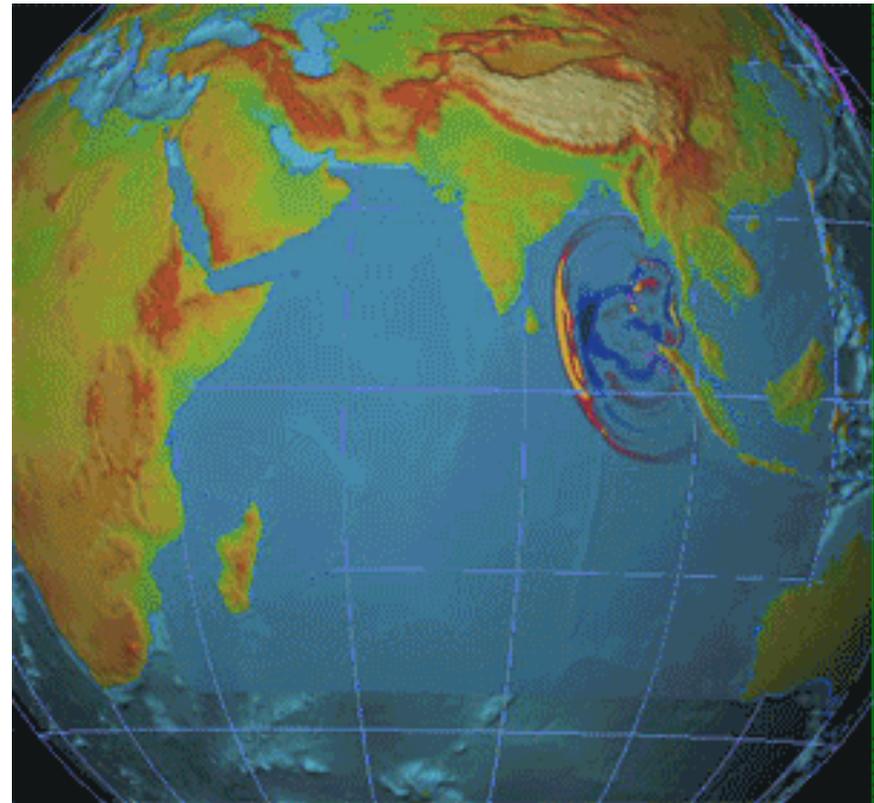
Paula Bordalo

Exemplo de solitão - tsunami

Tsunami por Hokusai,
Sec XIX



- Indonésia,
26 Dezembro de 2004:



Origens de Raz de Maré

Aquando de um maremoto, pode produzir-se um raz de maré



Sismos submarinos deslocam a crosta oceânica, empurrando a massa de água para cima



Erupções vulcânicas injectam toneladas de lava no chão oceânico, gerando ondas devastadoras



Uma bolha de gás surge no fundo oceânico, com o mesmo efeito de uma explosão descomunal

Exemplos de solitões na Natureza



Tsunamis ou raz de maré



Ondas gigantes



Mascarets



Nuvens Glória da Manhã

Paula Bordalo

Sismo a 11/Mar/2011
perto da costa japonesa

→ **Tsunami**
(raz de maré)

Provocou também ondas de **raz de maré** de mais de **10 m de altura**, que atingiram o Japão e diversos outros países. No Japão, as ondas percorreram mais de 10 km por terra.

Acidente da Central Nuclear de Fukushima 12/Mar/2011



Acidente da Central Nuclear de Fukushima - 12/Mar/2011

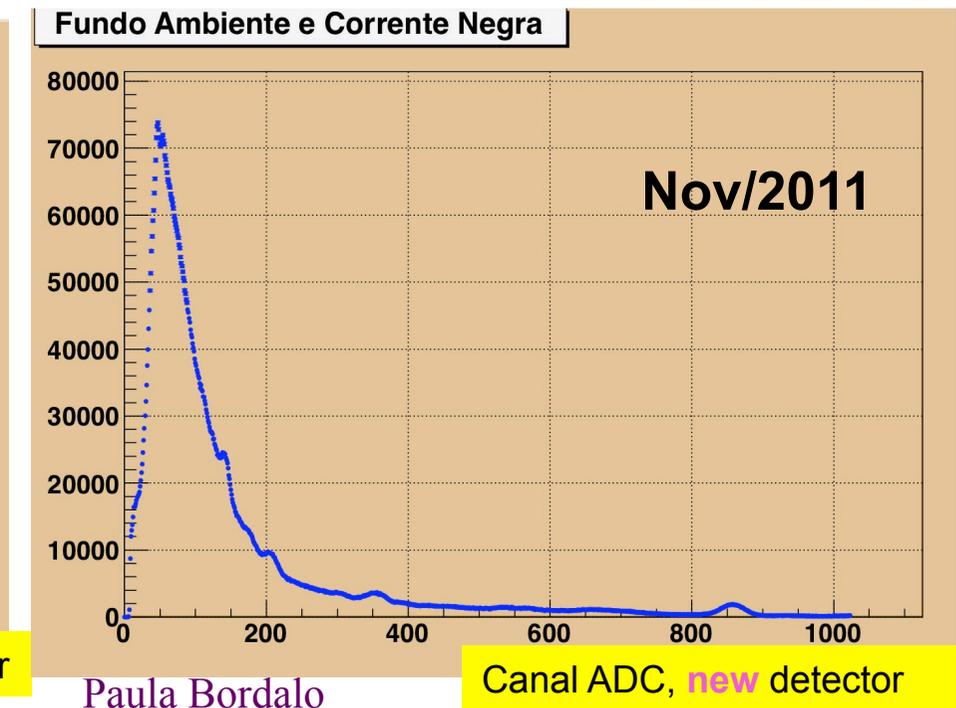
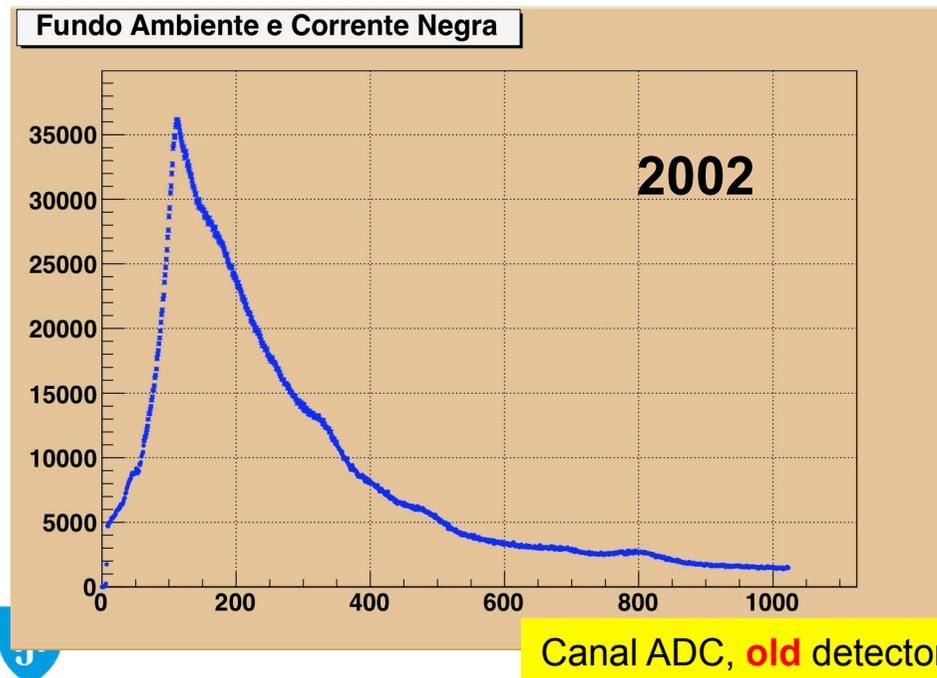
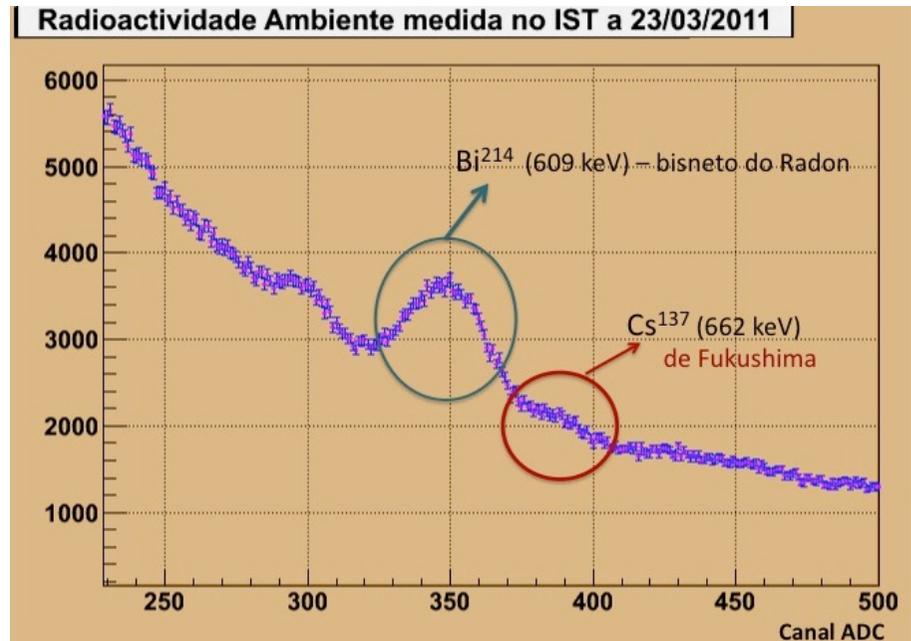
As medições mundiais de **iodo-131** e de **césio-137** indicaram que as fugas radioactivas de Fukushima são da mesma ordem de grandeza que os lançamentos dos isótopos do desastre da central de Chernobil em 1986.

Período de semi-vida:

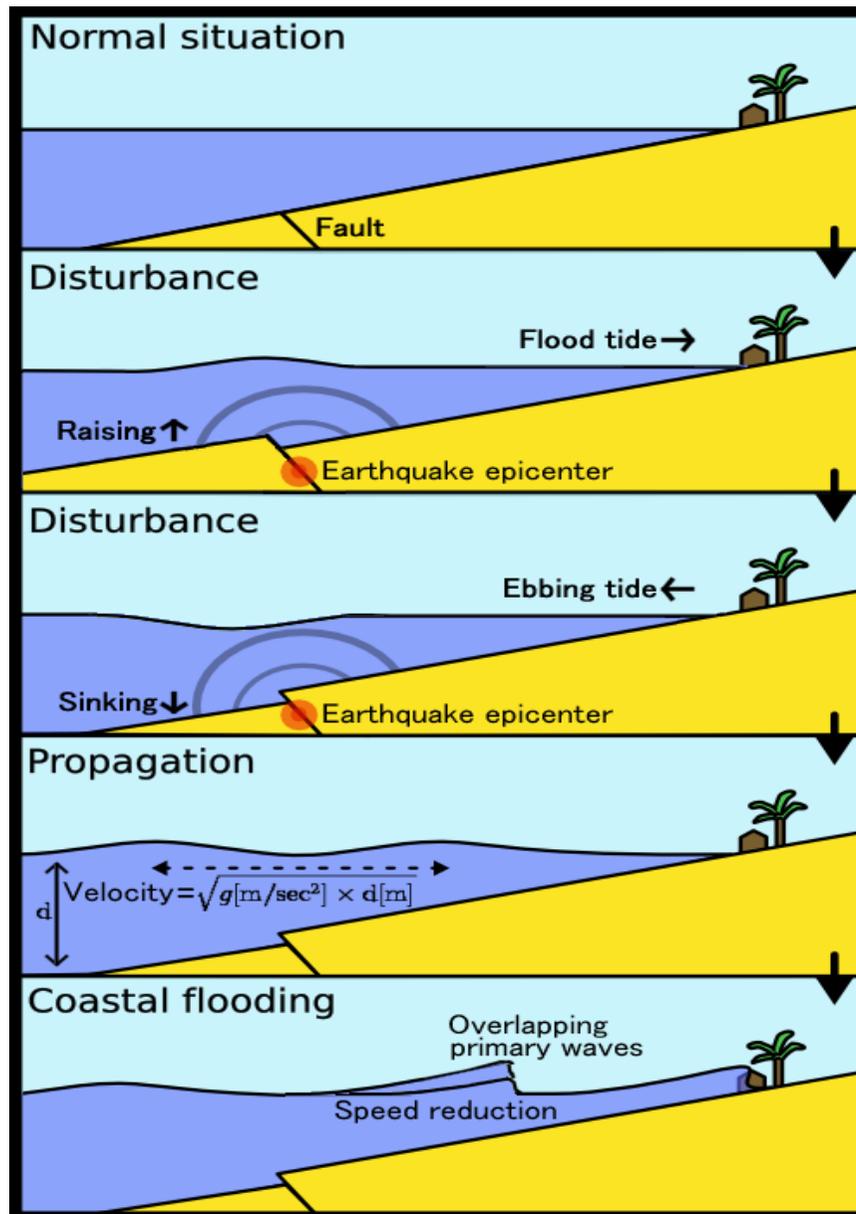
iodo-131 -- 8 dias (365 keV)

césio-137 -- 30,2 anos (662 keV)

Atenção: os detectores e as calibrações não são os mesmos !



Formação de tsunami



- Criação de um desnível repentino

Oceano Índico tem cerca de 5 km de profundidade

$$\Rightarrow V = \sqrt{gh} = 805 \text{ km/h !!}$$

- Ao aproximar-se da costa, a profundidade diminui drasticamente

\Rightarrow redução de velocidade na frente da onda e consequente diminuição do comprimento da onda

Propagação de ondas de raz de maré



As ondas – **solitões** – no alto mar **são largas** (grande c.d.o.) e de **pequena amplitude**.

Quando o **solitão** entra em águas pouco profundas (perto do litoral), ele **umenta a sua amplitude** (altura), **mantendo toda a sua energia**, ie, **concentrando-a** .

→ **grande poder devastador**.

Equação KdV

- Em **1895** D.J. Korteweg & G. de Vries estabeleceram a equação KdV da forma:

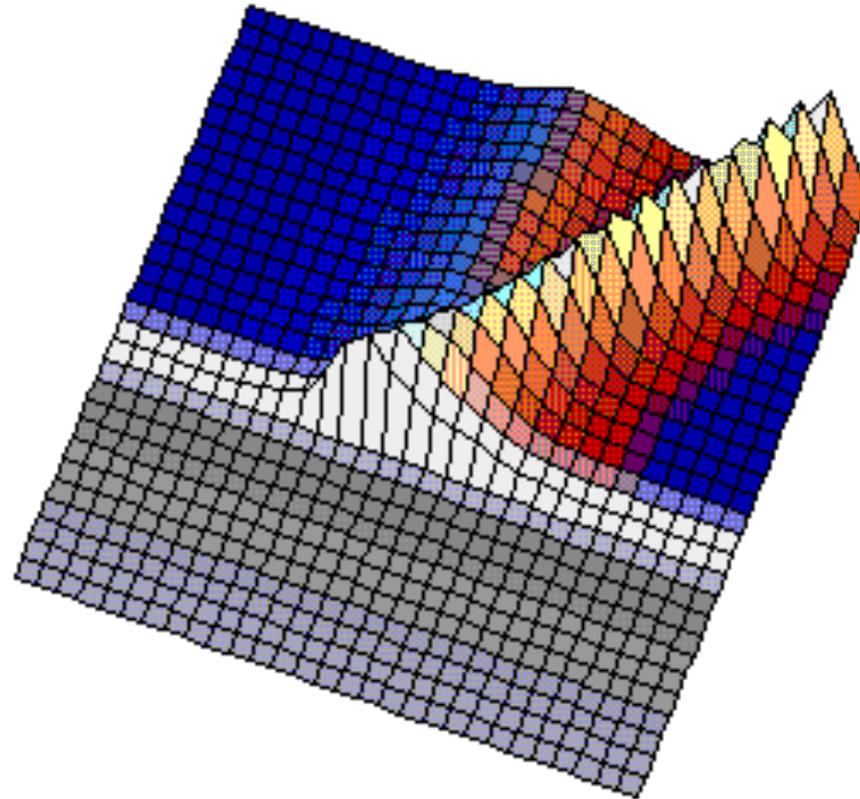
termo dispersivo $u_t + u_x + u_{xxx} + 6uu_x = 0$ termo não linear

cuja solução são ondas não lineares que têm o comportamento descrito por Scott Russell :

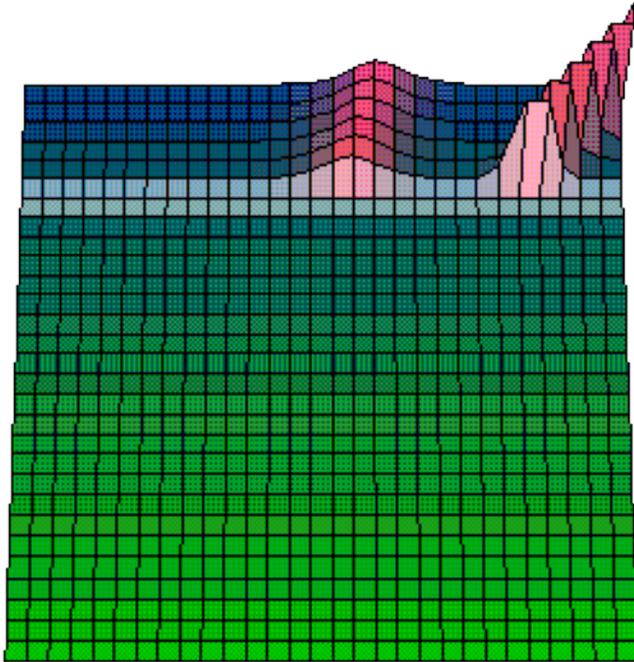
→ **sem dispersão nem dissipação de energia**

- Só em **1965** o seu trabalho foi reconhecido, quando N. Zabusky e M. Kruskal geraram em computador soluções aproximadas da equação:
 - **os solitões comportam-se como partículas**, ie, são uma perturbação local que não sofre alterações devido à existência de outras

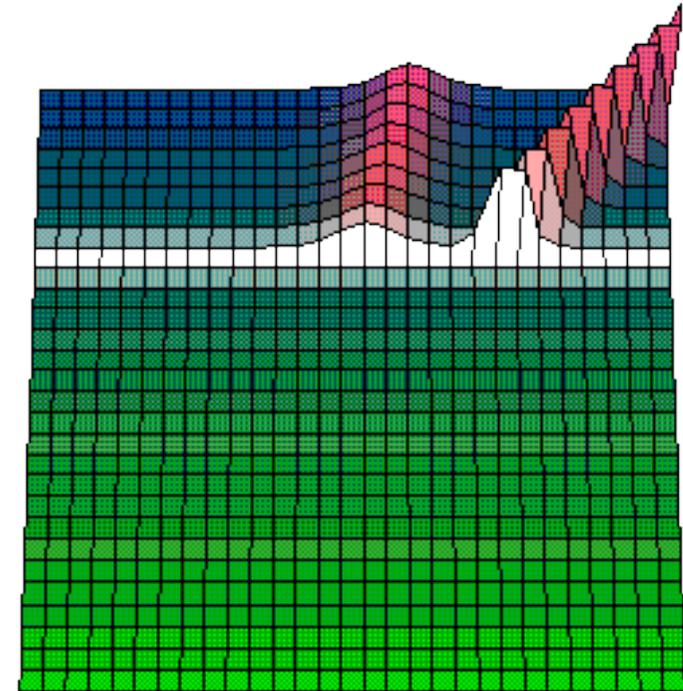
Colisão de 2 solitões



Colisão de 2 solitões



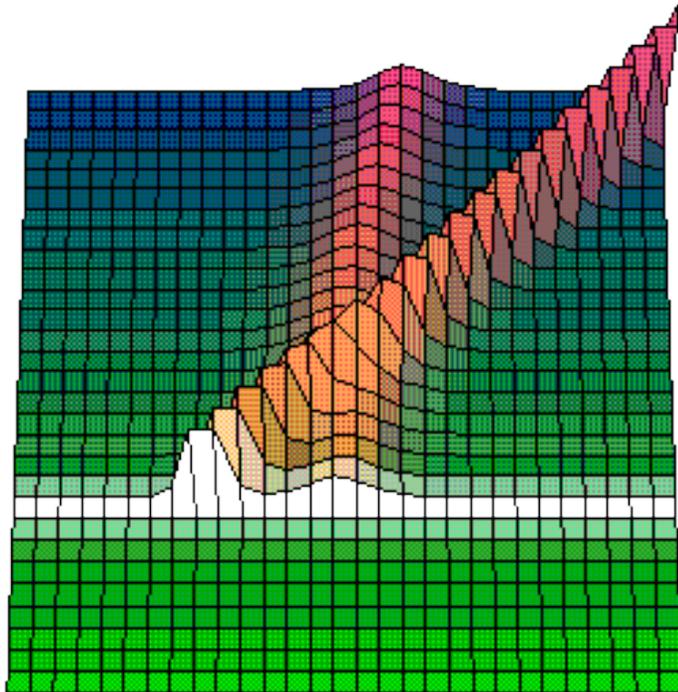
2 solitões movem-se de encontro um ao outro, tendo maior velocidade o de maior amplitude



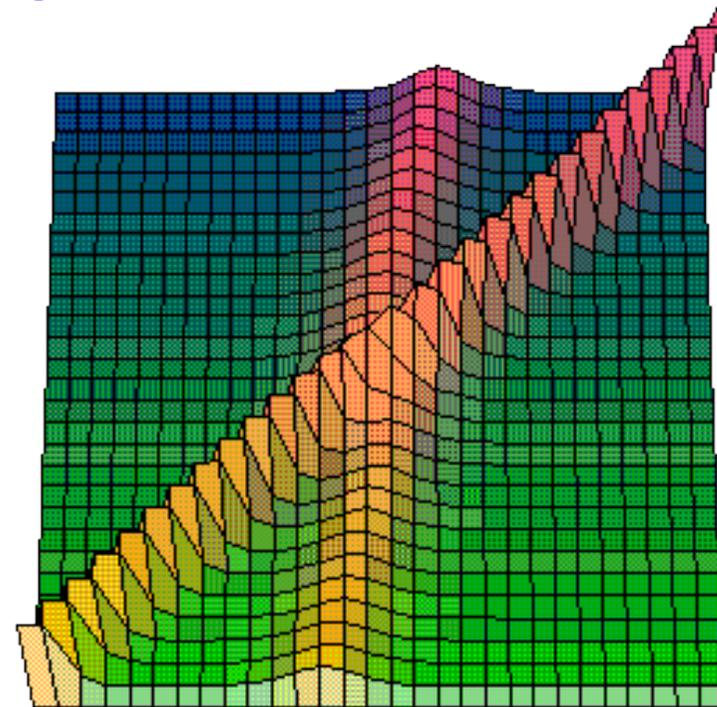
Muito perto da colisão, ainda não há qualquer perturbação mútua

Colisão de 2 solitões

Diferenças fundamentais em relação às ondas lineares



No momento da colisão o solitão maior **diminui de amplitude** contrariamente ao esperado na sobreposição de ondas lineares

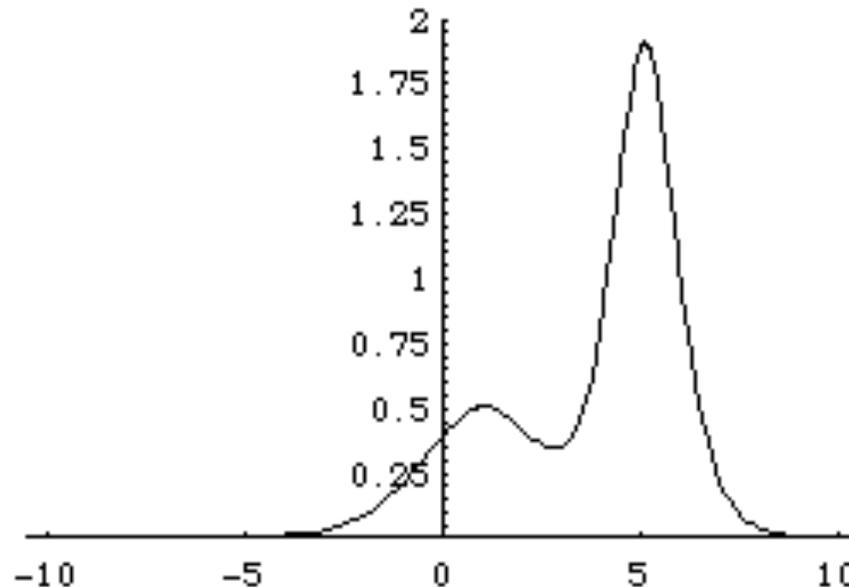


Após a colisão, as duas ondas emergem com a mesma forma e amplitude, mas **deixaram de estar em fase!**



Ultrapassagem de solitões

- Dois solitões propagam-se na mesma direcção, sendo o de menor amplitude precedido por um maior



- No momento da ultrapassagem, verifica-se uma **depressão**, tal como observado nas colisões de 2 solitões
- Após a ultrapassagem, os dois solitões apresentam a **mesma forma e a respectiva velocidade** que tinham previamente

Dedução da equação KdV

Considerando as seguintes hipóteses de propriedades do líquido:

- homogéneo
- incompressível
- sem viscosidade
- sem tensões superficiais

Sob a acção das forças:

- gravítica
- pressão atmosférica

o movimento do líquido é irrotacional : $\text{rot } \mathbf{v} = 0$

A equação KdV deduz-se usando:

- a equação de continuidade da densidade da água
- a lei de Newton para a unidade de volume

