

# A Física do Surf



**Pedro Bicudo**  
**Dep Física IST**

**Lisboa, Novembro 2008**

**1a edição: VII Semana da Física, 28 de Outubro de 2003, Lisboa**



*Eq. Navier-Stokes :*

$$\rho \mathbf{g} - \text{grad } p + \mu \text{lap } \mathbf{v} - 2 \rho \mathbf{w} \times \mathbf{v} = \rho \delta \mathbf{v} / \delta t + \mathbf{v} \cdot \text{grad } \mathbf{v}$$

*Lei de Newton :*

$$\vec{\text{Peso}} + \vec{\text{Impulsao}} + \vec{\text{Atrito}} + \vec{\text{Coriolis}} = \vec{\text{m a}}$$

## Sumário:

### **1. A origem das ondas ou pequena digressão oceanográfica**

- 1.1 Temperatura da água do mar, força de Coriolis e tempestade oceânica
- 1.2 Como será que o vento cria as ondas?
- 1.3 Propagação das ondas em mar alto, na aproximação linear
- 1.4 A equação de Schrödinger não-linear e as ondas monstruosas

### **2. Surf, ou a rebentação das ondas junto à costa**

- 2.1 Ondas em água pouco profundas
- 2.2 Refracção, difracção e reflexão das ondas
- 2.3 Efeito do fundo e do vento na rebentação das ondas
- 2.4 O que é uma onda perfeita?

### **3) O surf visto de perto, será perigoso?**

- 3.1 Descer a corrente ascendente

3.2 Tubo

3.3 Esperar que a espuma passe

3.4 O agueiro, uma ratoeira para os banhistas

3.5 Surf extremo

## **4) Surf e tecnologia**

4.1 Medindo ondas: a bóia ondógrafo e o satélite de abertura sintética

4.2 Prevendo ondas: supercomputador, modelos meteorológico e WAM

4.3 A prancha de surf: objecto belo, leve, resistente e flexível

4.4 A hidrodinâmica da prancha de surf

4.5 Podemos proteger a costa e criar ondas perfeitas?

## **5) Concluindo**

5.1 Uma onda é um ser físico

5.2 O surf, o homem e a natureza

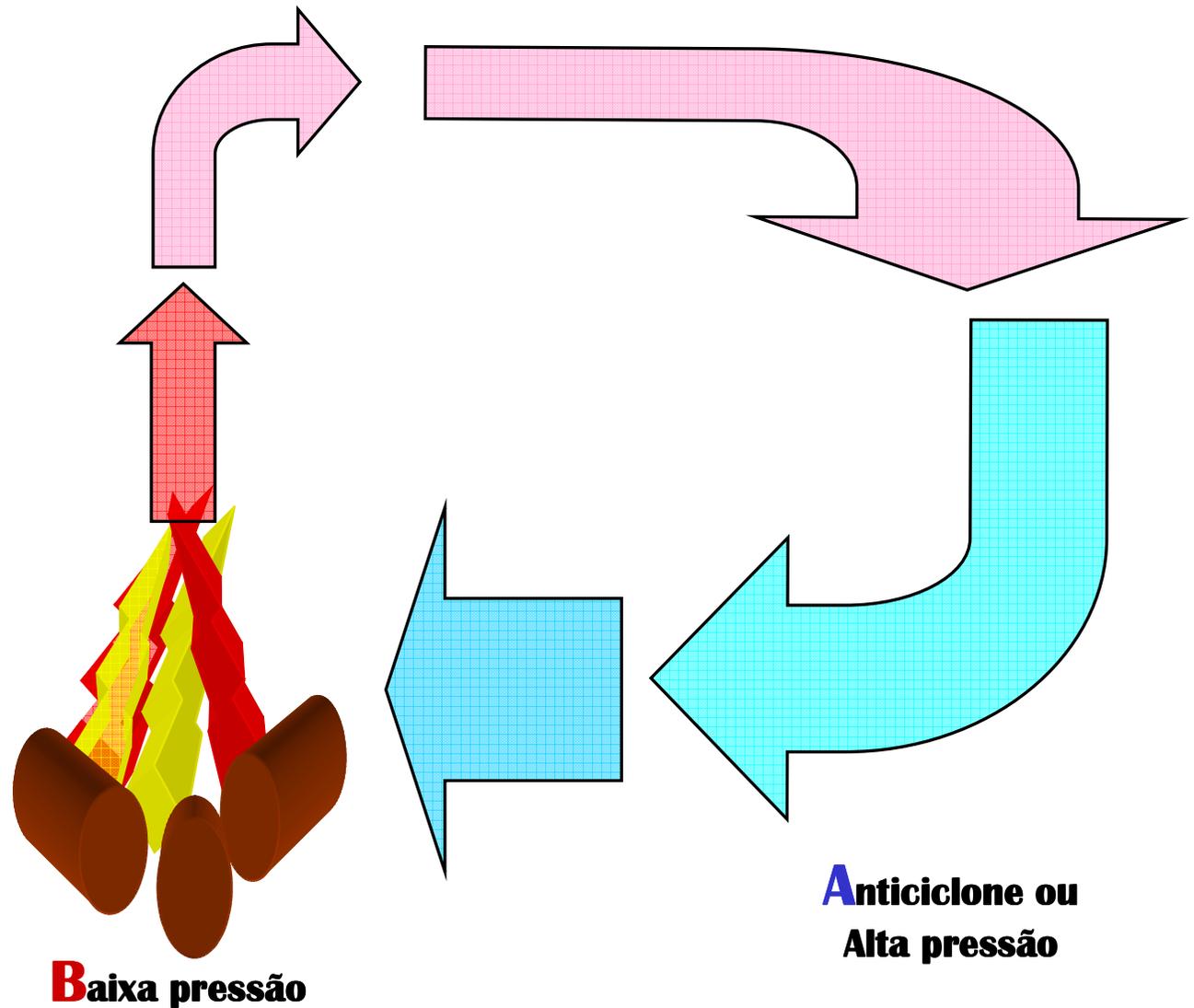
5.3 O surf nos livros, na internet e na universidade

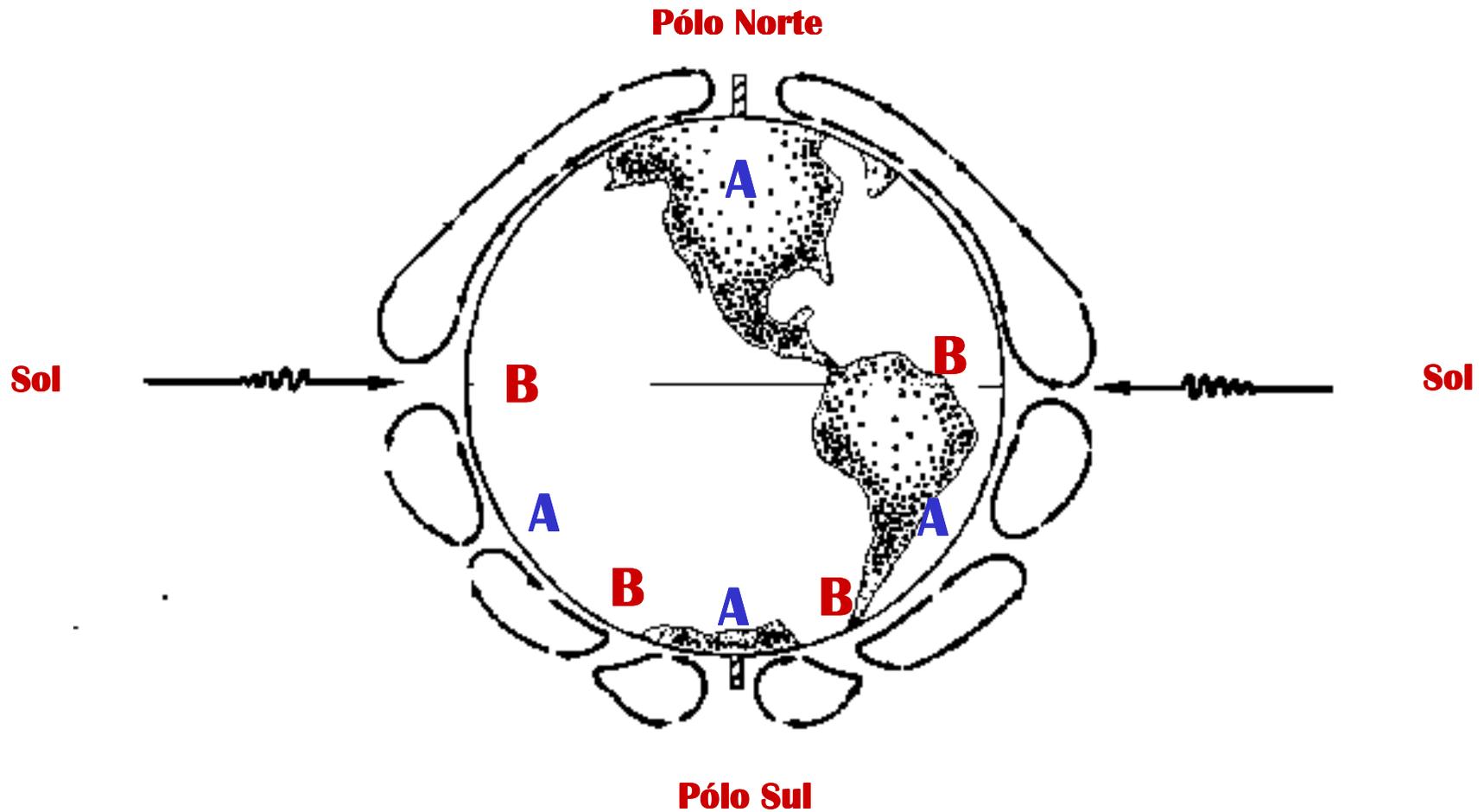
# **1. A origem das ondas ou pequena digressão oceanográfica**

# 1.1 Temperatura da água do mar, força de Coriolis e tempestade oceânica

Convexão,  
Baixa pressão  
e Anticiclone

Exemplo, fogueira  
em em dia de  
pouco vento:

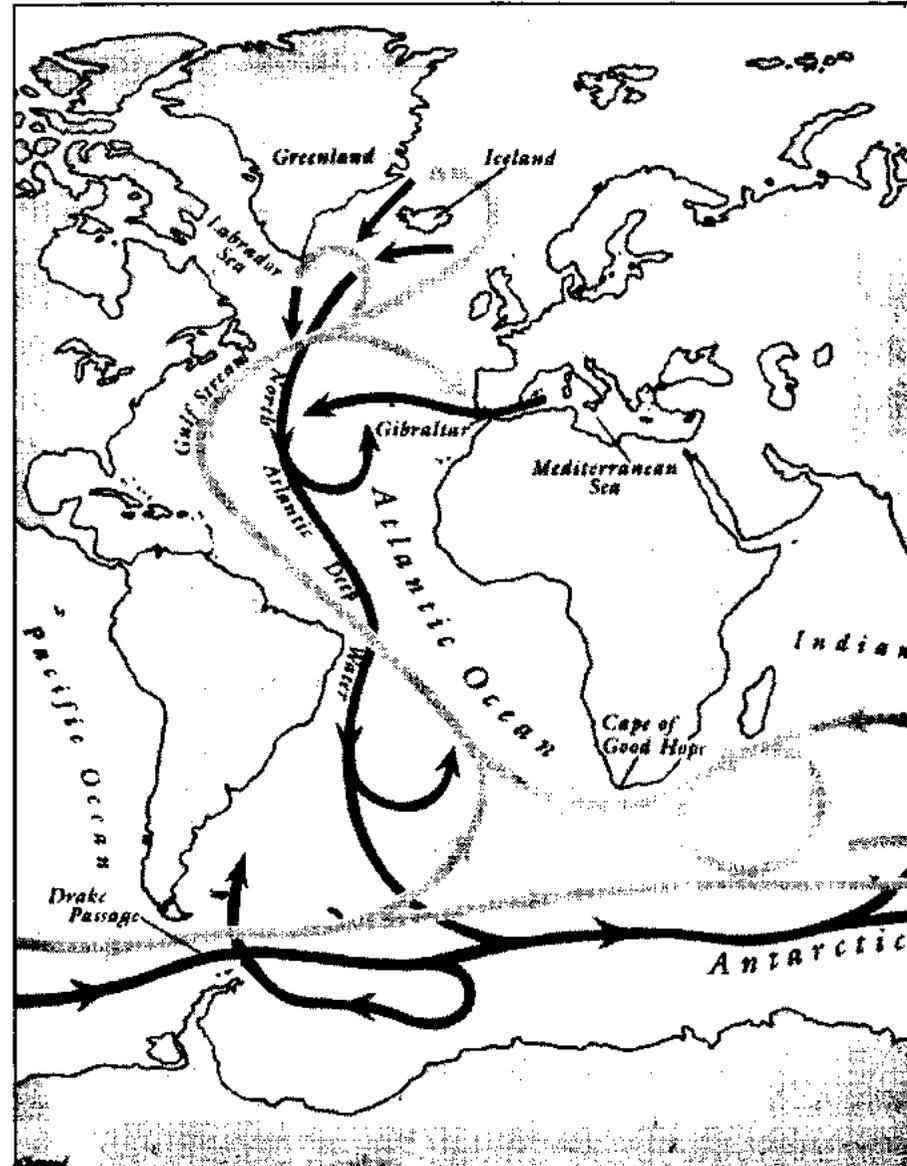


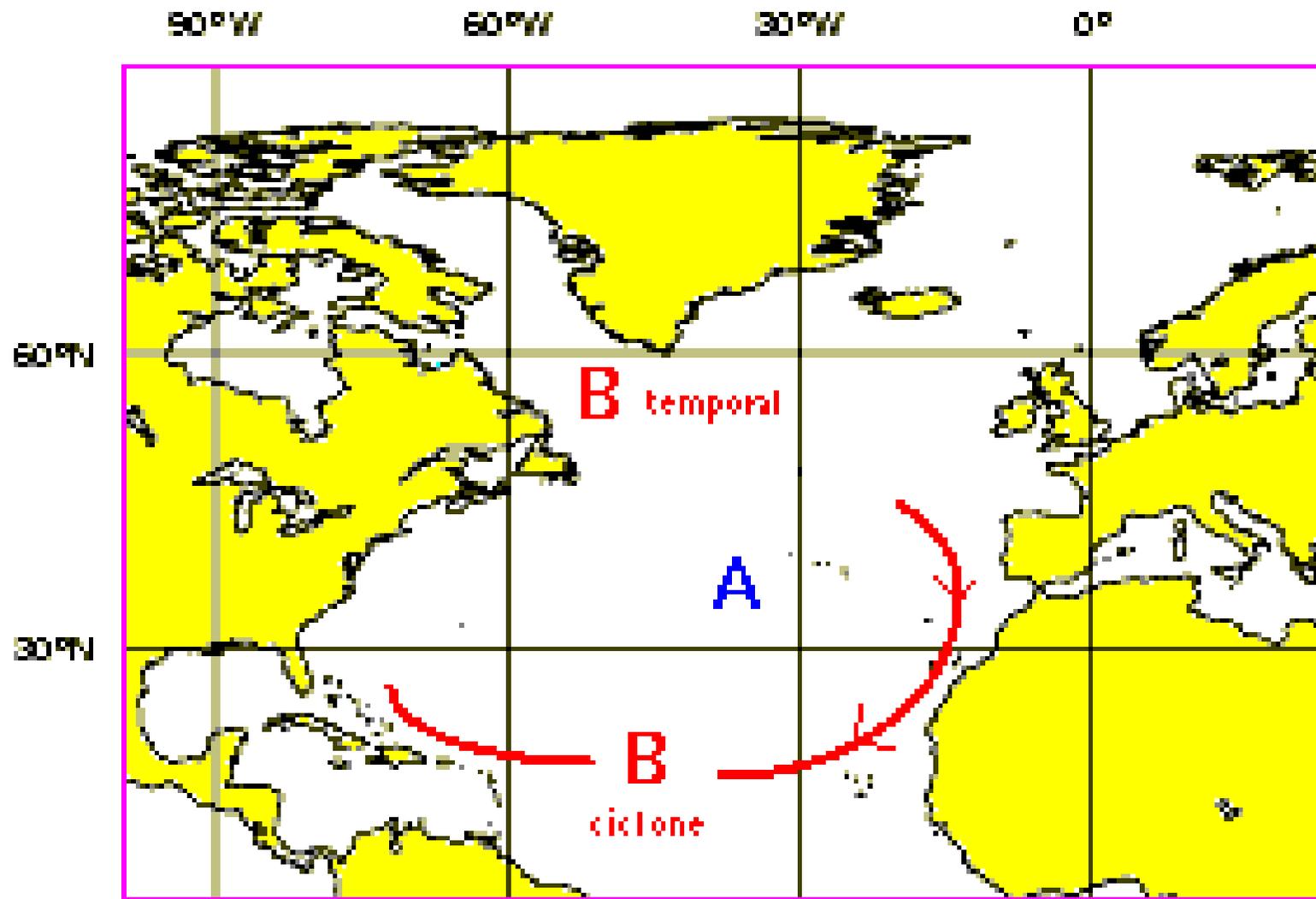


**No modelo aristotélico da Terra imóvel, com o Sol a rodar em torno da Terra, a transferência de calor, por convexão, dos trópicos para os polos, seria simples. Teríamos **B** no equador, onde sobe uma leve coluna de ar quente sobe, e estariam os **A** nos polos, onde uma densa coluna de ar frio desce.**

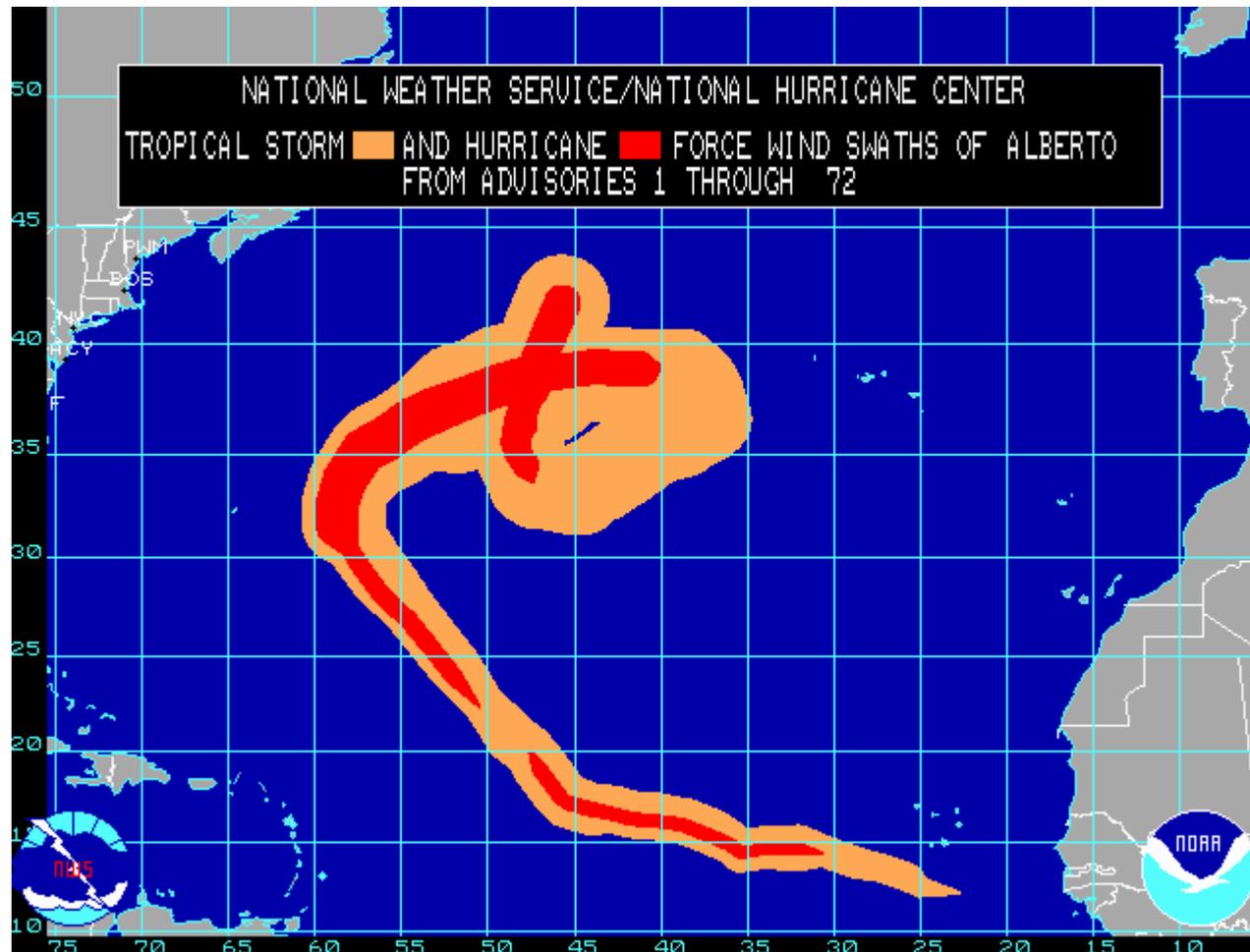
**Dado que os oceanos absorvem a maior parte da energia recebida do Sol pelo nosso planeta, a convecção no mar é muito relevante. Aqui mostramos a origem das águas superficiais e das águas profundas do Oceano Atlântico.**

**As correntes marinhas constituem a principal CORREIA DE CONVECÇÃO do calor na Terra.**

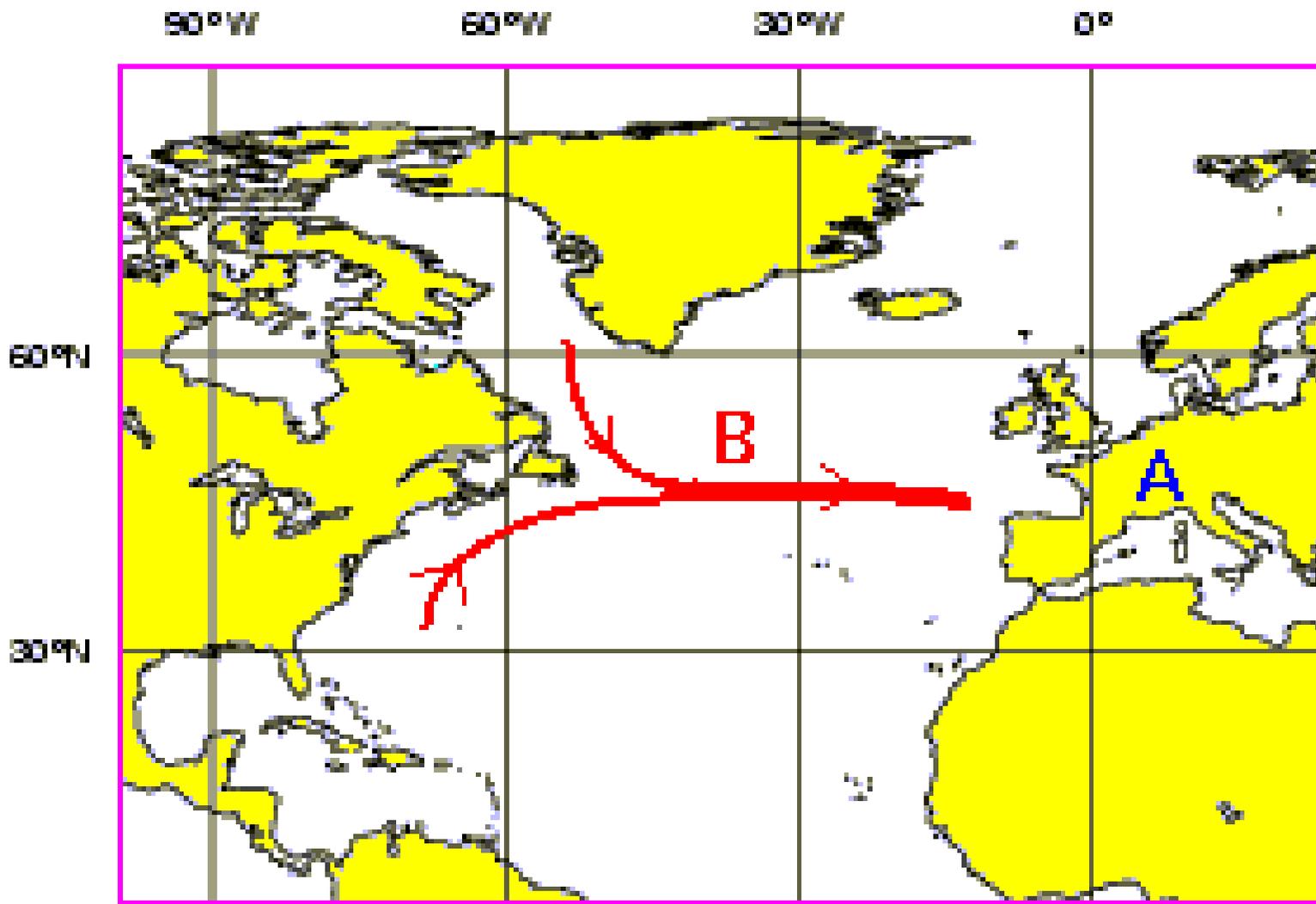




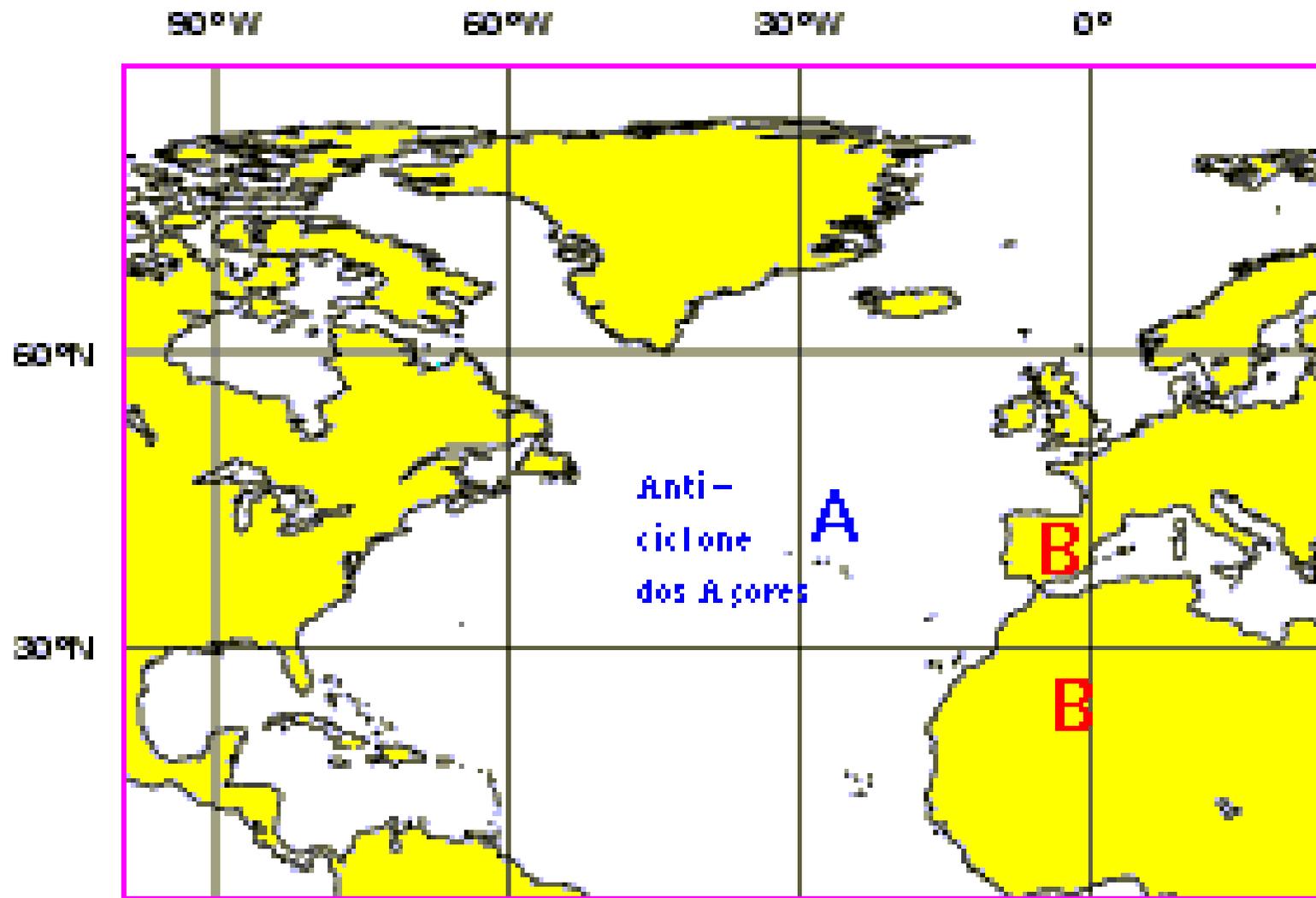
**Baixas pressões e Anticiclones típicos do Outono**



**Este Outono teve poucos ciclones (baixa pressão muito intensa) . O ciclone Alberto, primeiro do Outono anterior , e o que mais se aproximou dos Açores**



### **Baixas pressões e Anticiclones típicos do Inverno**



**Baixas pressões e Anticiclones típicos do Verão**

# Força de Coriolis

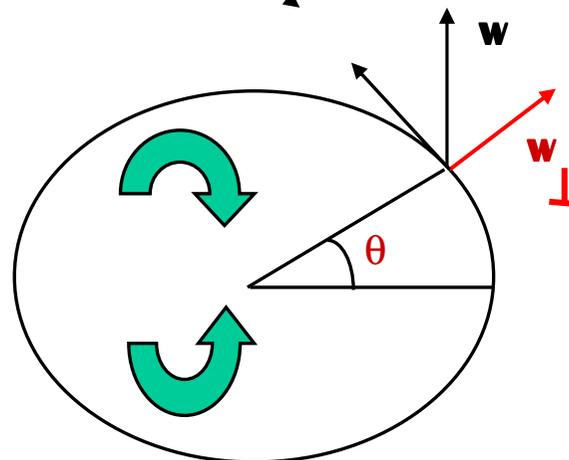
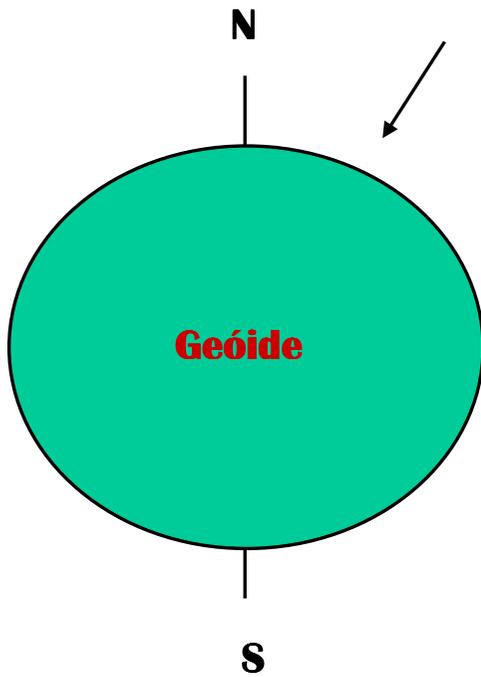
Um corpo num referencial em rotação sente a força inercial,

$$F = -m a_i$$

$$= -m \mathbf{w} \times \mathbf{w} \times \mathbf{r} - 2m \mathbf{w} \times \mathbf{v}$$

**Força Centrífuga**

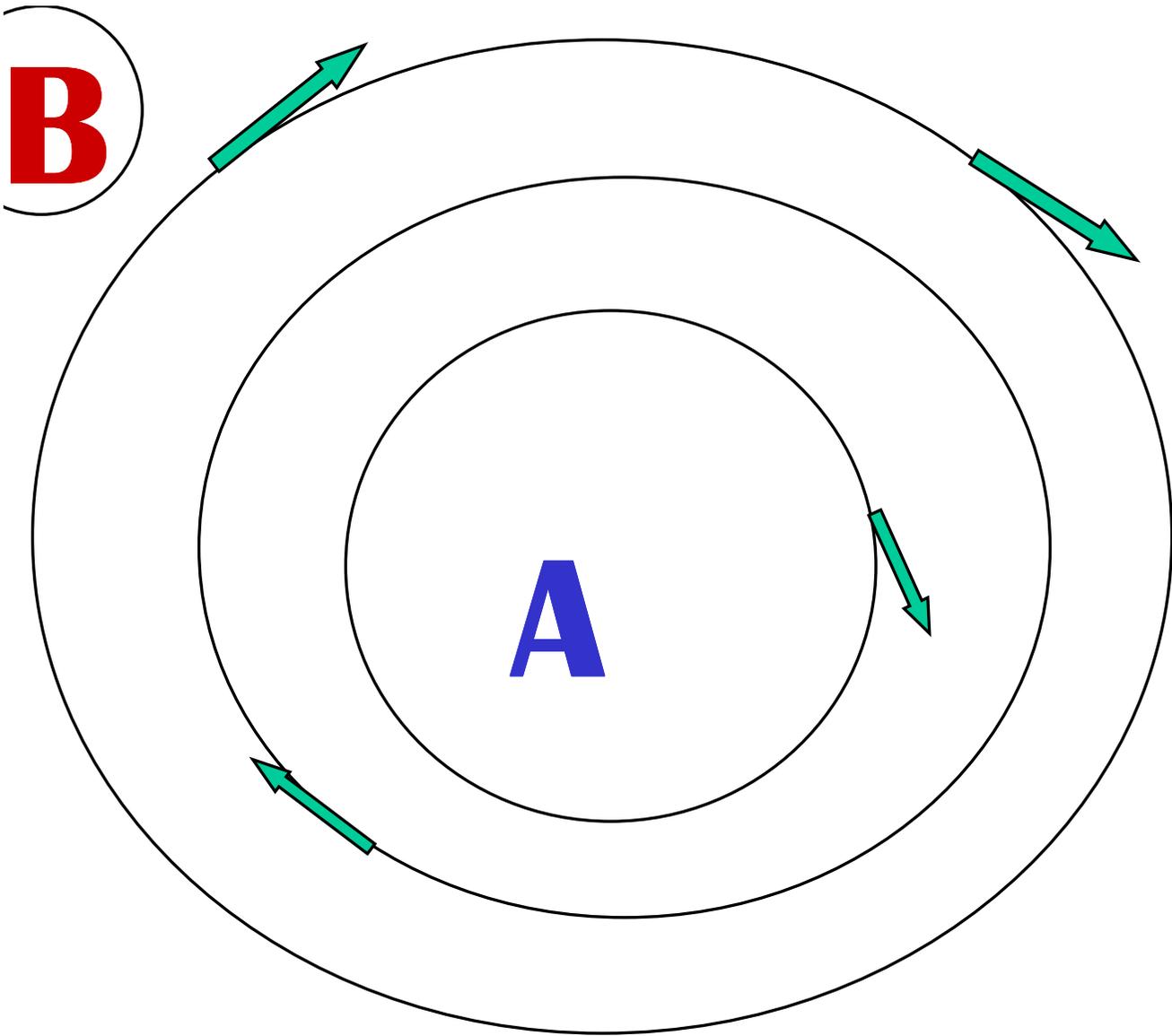
**Força de Corolis**



$$\frac{d\mathbf{A}}{dt} = \mathbf{w} \times \mathbf{A}$$

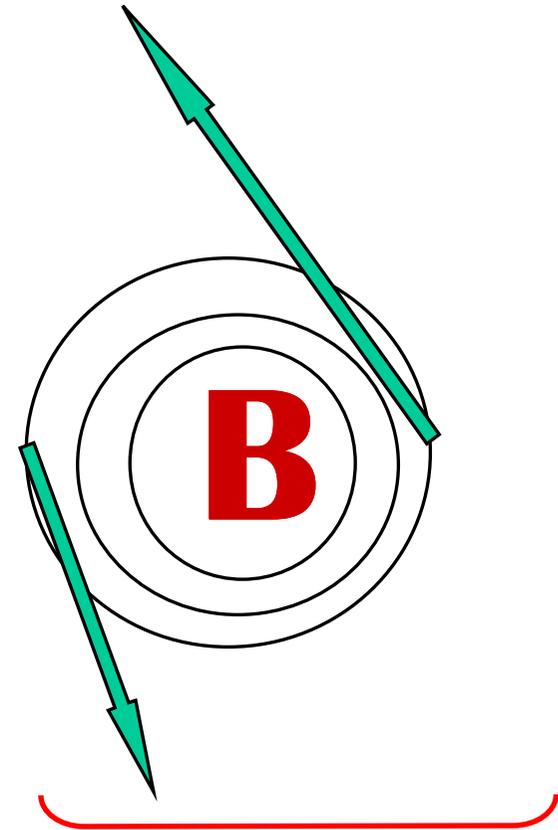
$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -2 \mathbf{w}_{\perp} \times \mathbf{v}$$

$$\mathbf{W}_{\text{Corolis}} = -2 \sin \theta$$



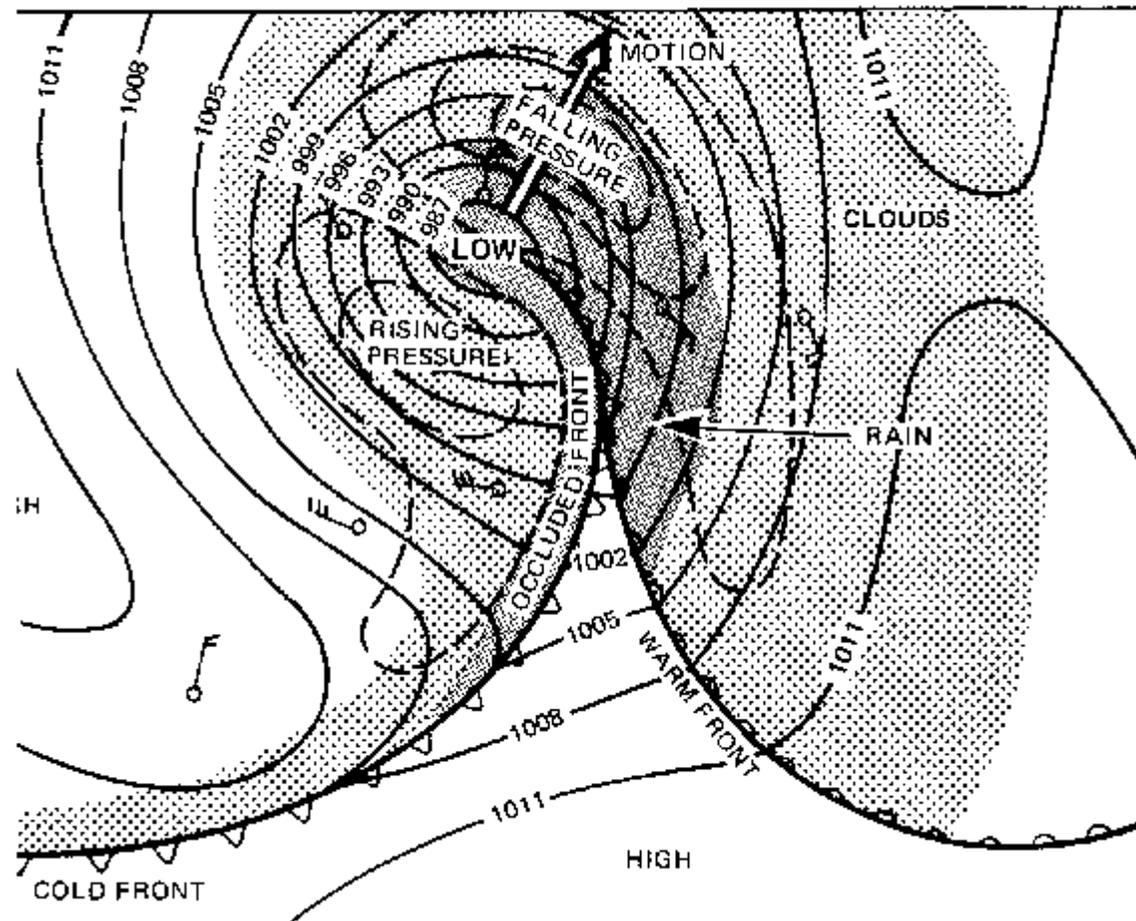
**Domina a Força de Coriolis**

$$F = \rho \mathbf{w}_c \times \mathbf{v} + \rho \nabla p$$



**Domina o  $\nabla p$**

**Na verdade uma baixa pressão não é totalmente trivial. Está associada a correntes ascendentes e frentes. Quando se desenvolve sobre o mar provoca invariavelmente, vento chuva e ondas, frequentemente intensos. No entanto no que segue não iremos detalhar as propriedades das baixas presões.**



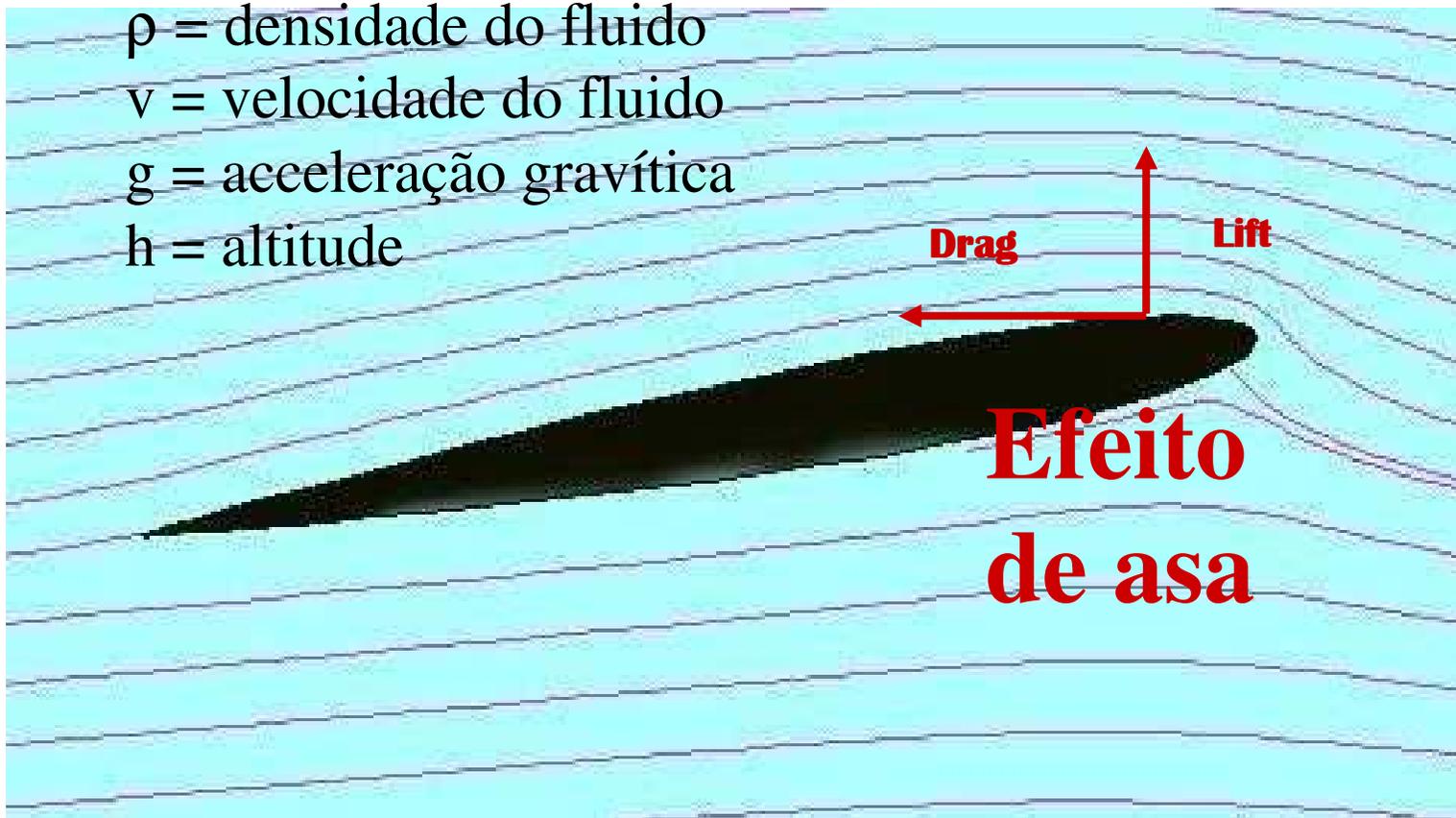
## 1.2 Como são as ondas criadas pelo vento?

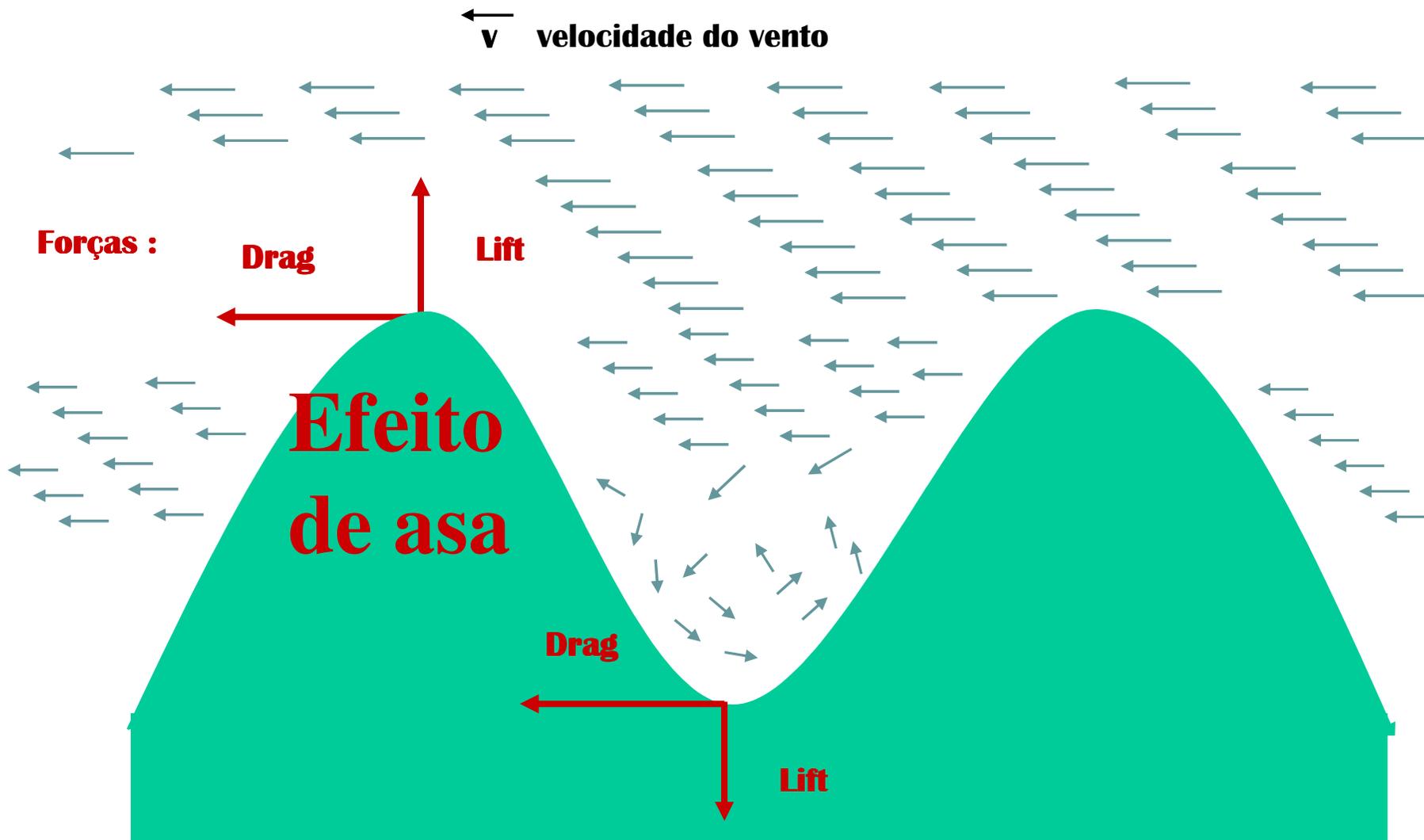
Eq. de Bernoulli:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

onde:  $p$  = pressão

- $\rho$  = densidade do fluido
- $v$  = velocidade do fluido
- $g$  = aceleração gravítica
- $h$  = altitude

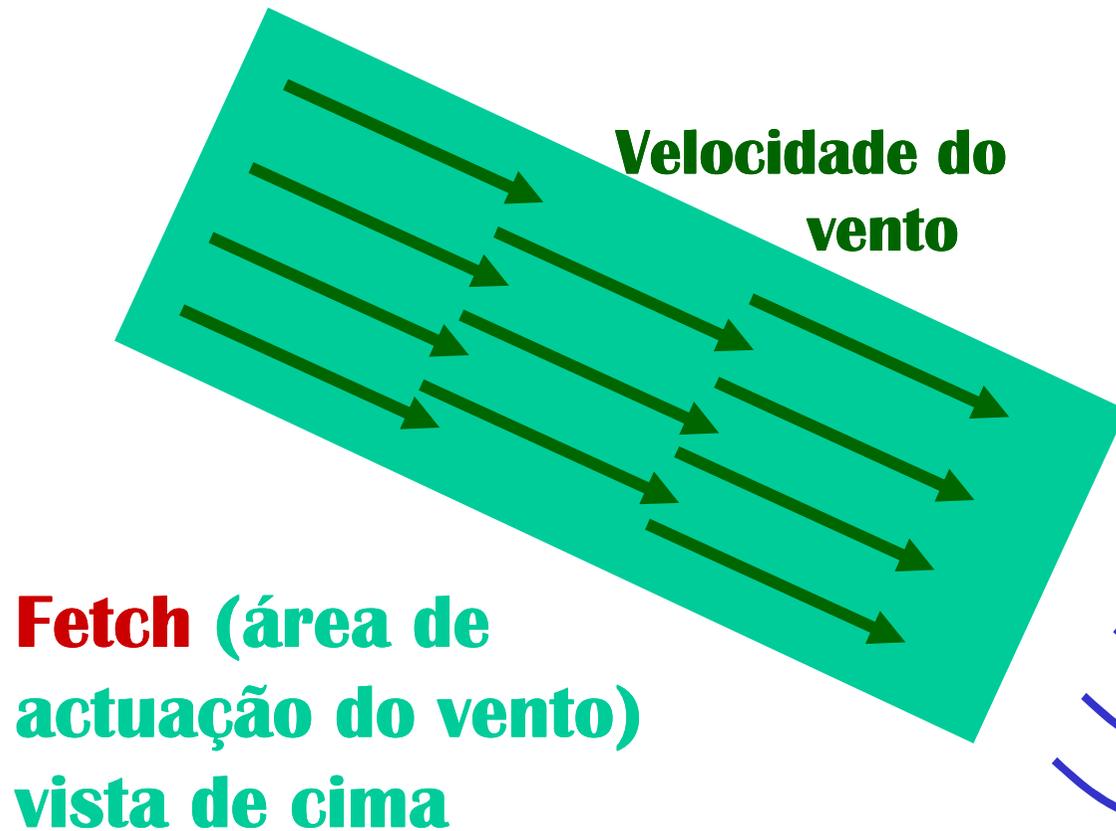






**Ainda não se compreende a 100% como as ondas são criadas.**

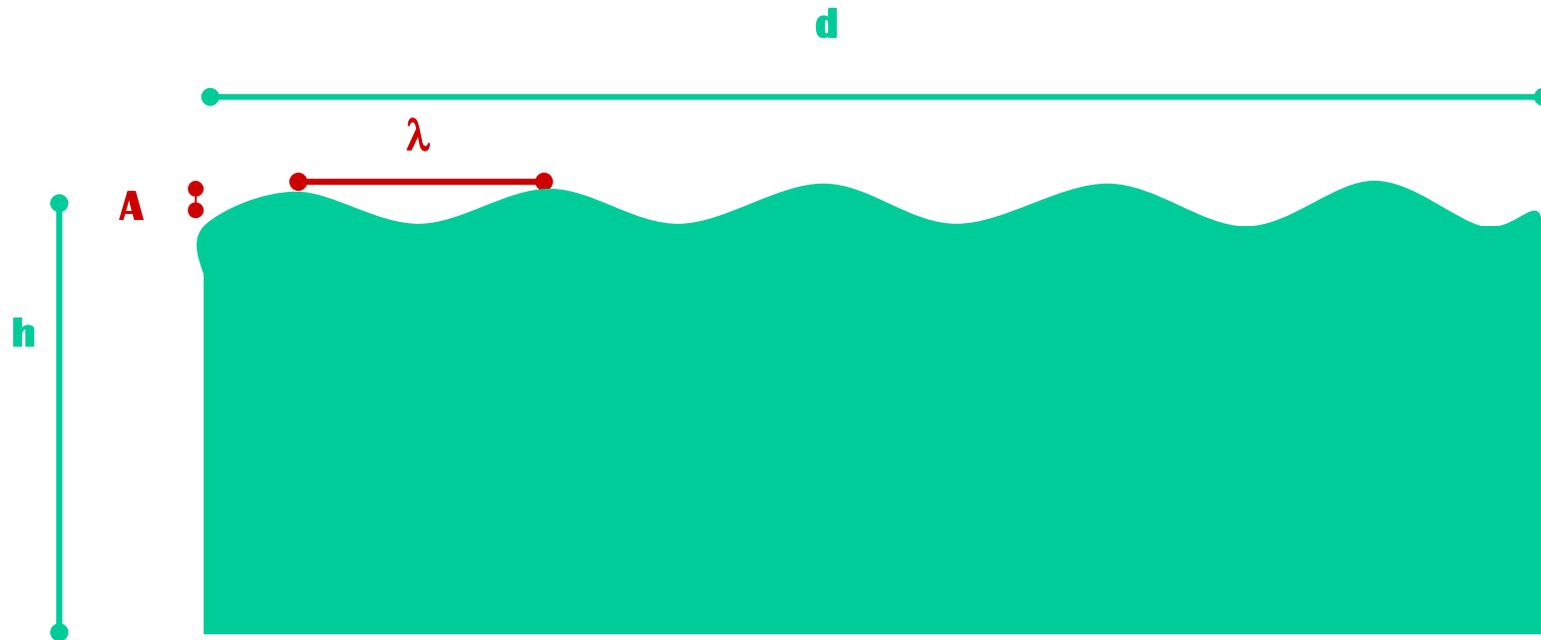
A energia das ondas criada pelas tempestades aumenta com o **FETCH** e a velocidade do vento.



A velocidade do **SWELL** (ondulação) é da ordem de **1000 km /dia**, mas pode chegar a **3000 km/dia** quando é gerada por tempestades gigantes ou pode ser de apenas **500km/dia** quando as ondas estão fracas.

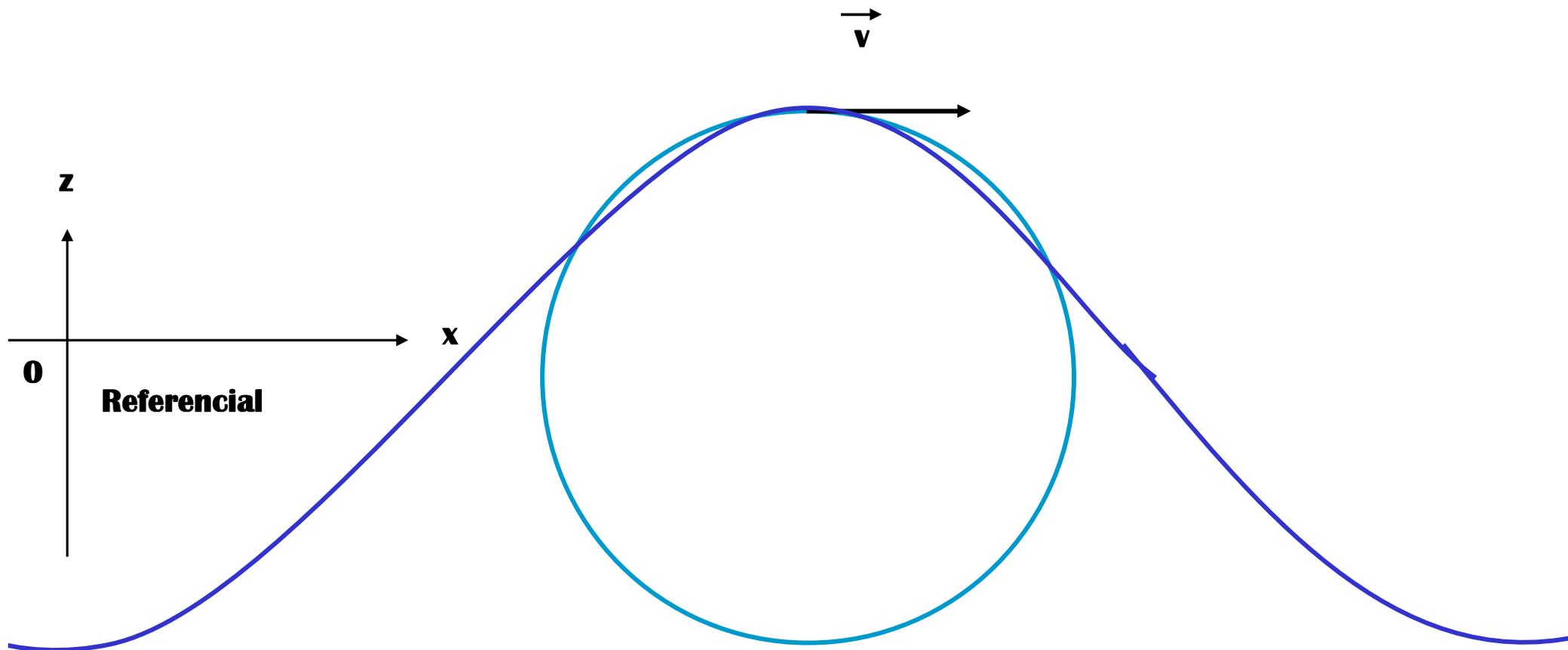


### 1.3 Propagação das ondas em mar alto, na aproximação linear



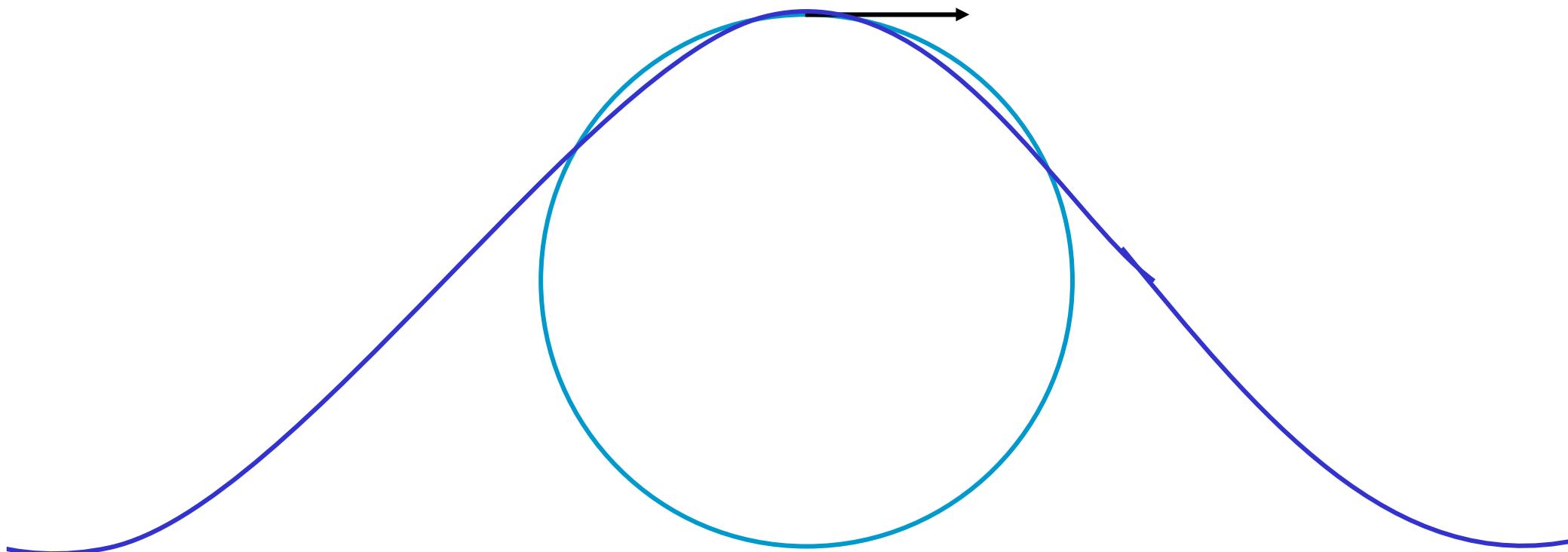
Em águas profundas,

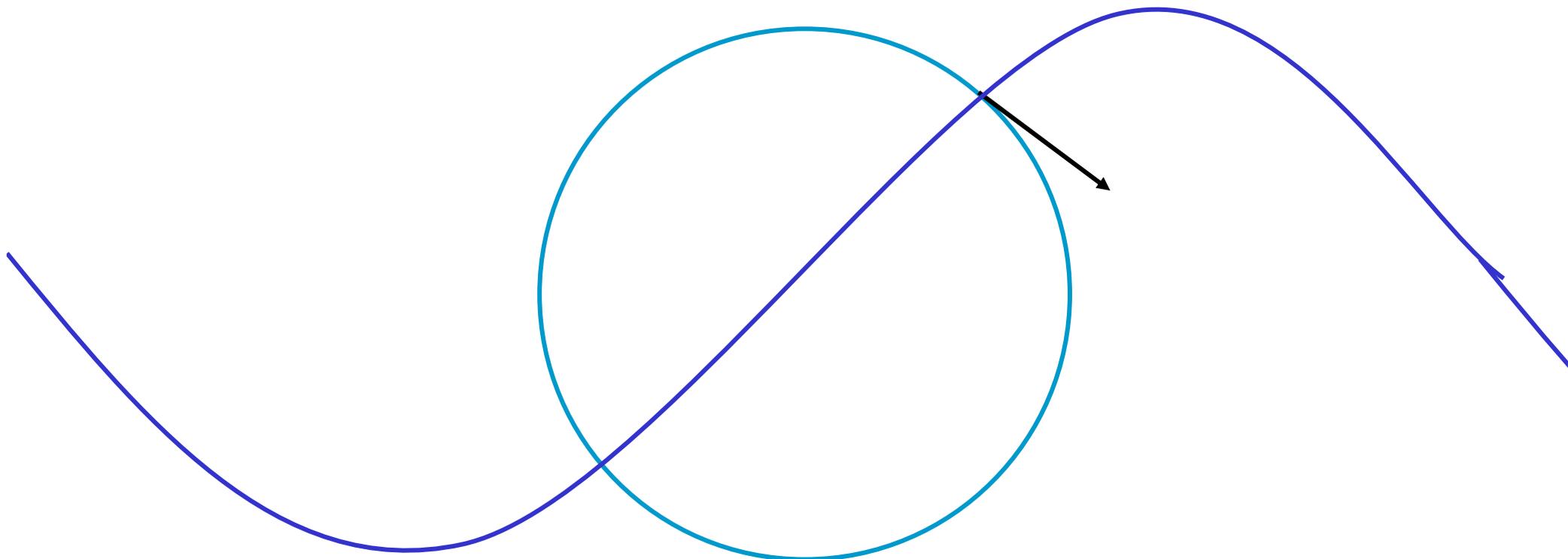
$A \ll \lambda \ll h \ll d$   
**Amplitude**   **comprimento de onda**   **profundidade**   **extensão do mar**

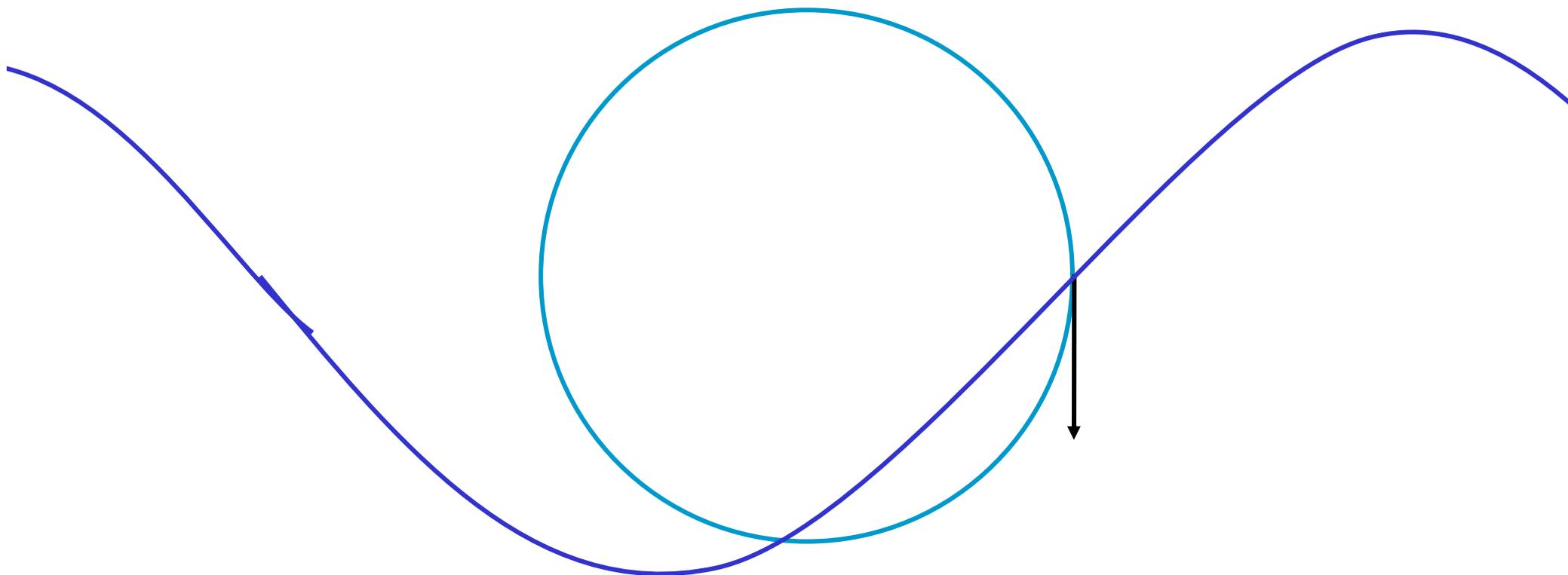


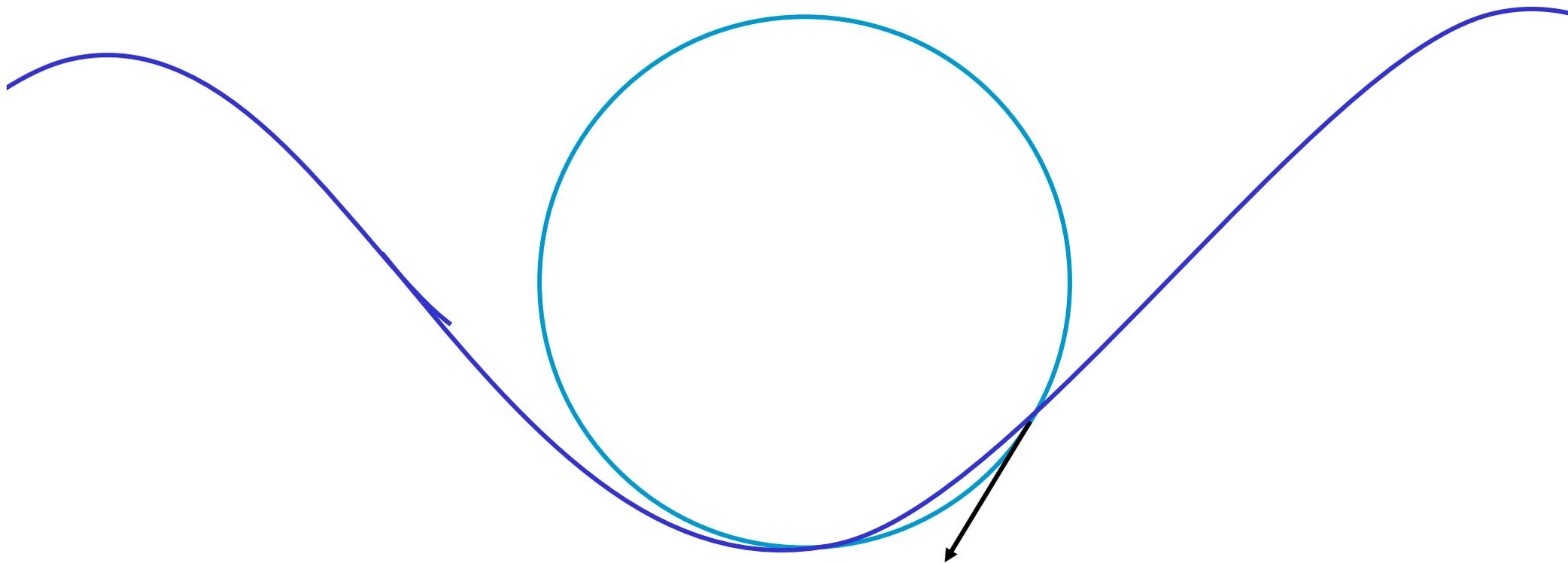
**A equação das ondas é aproximadamente linear, com soluções sinusoidais,**

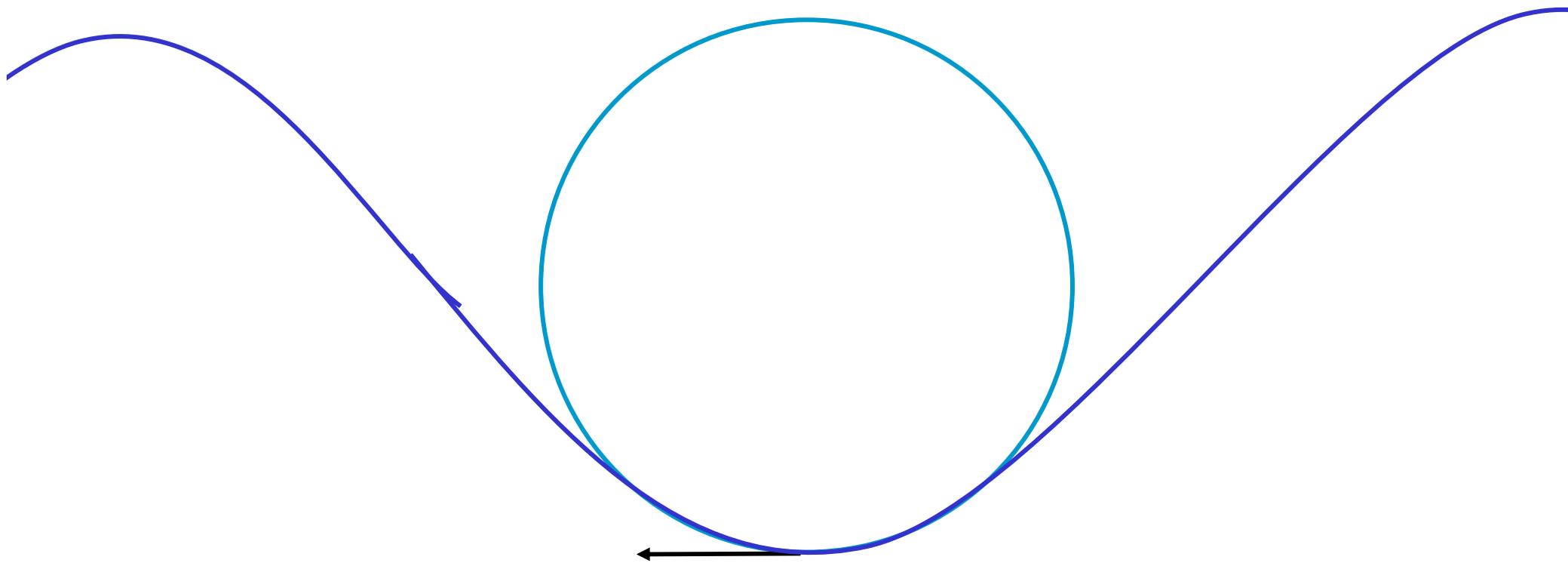
$$\mathbf{M} \sim A \cos ( k x - w t ) \exp ( 2 \pi z / \lambda )$$

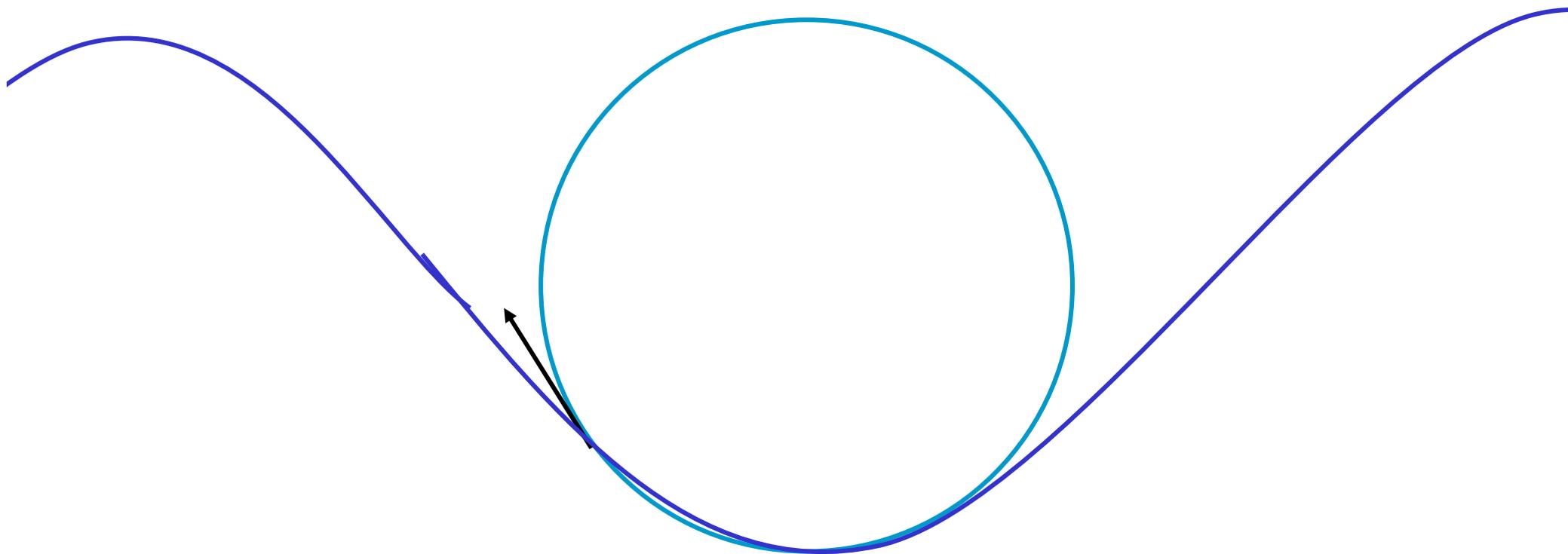


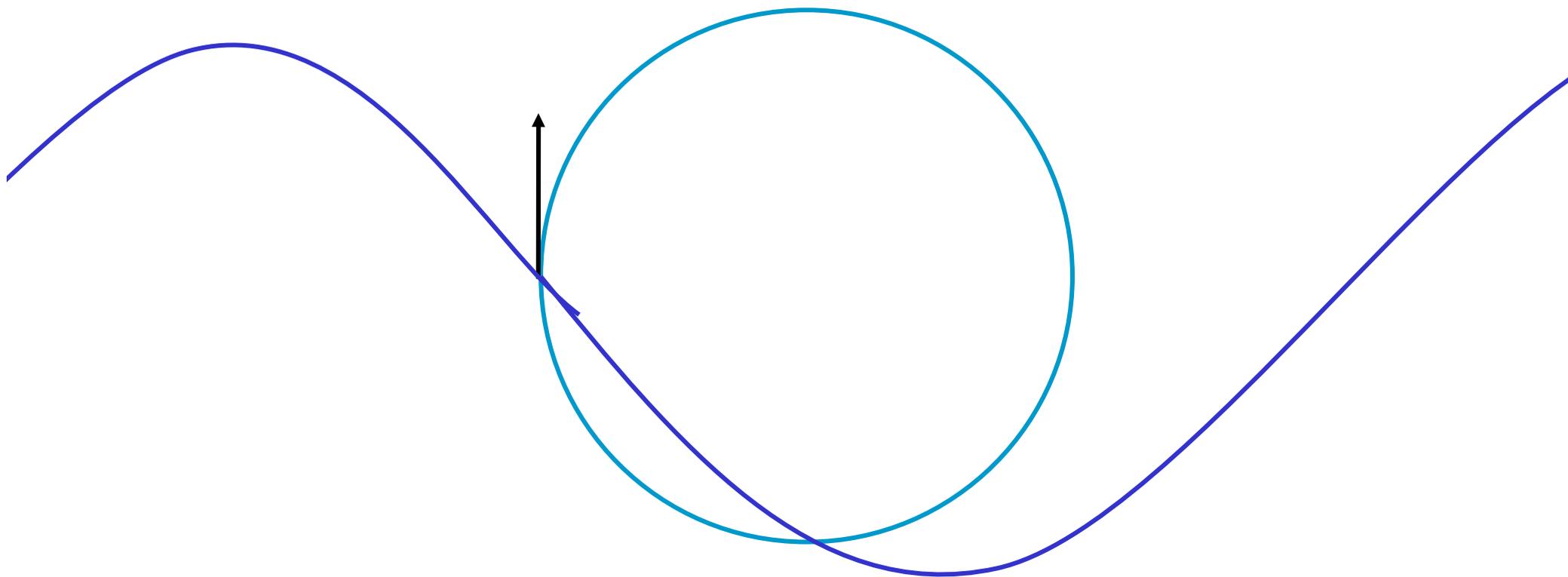


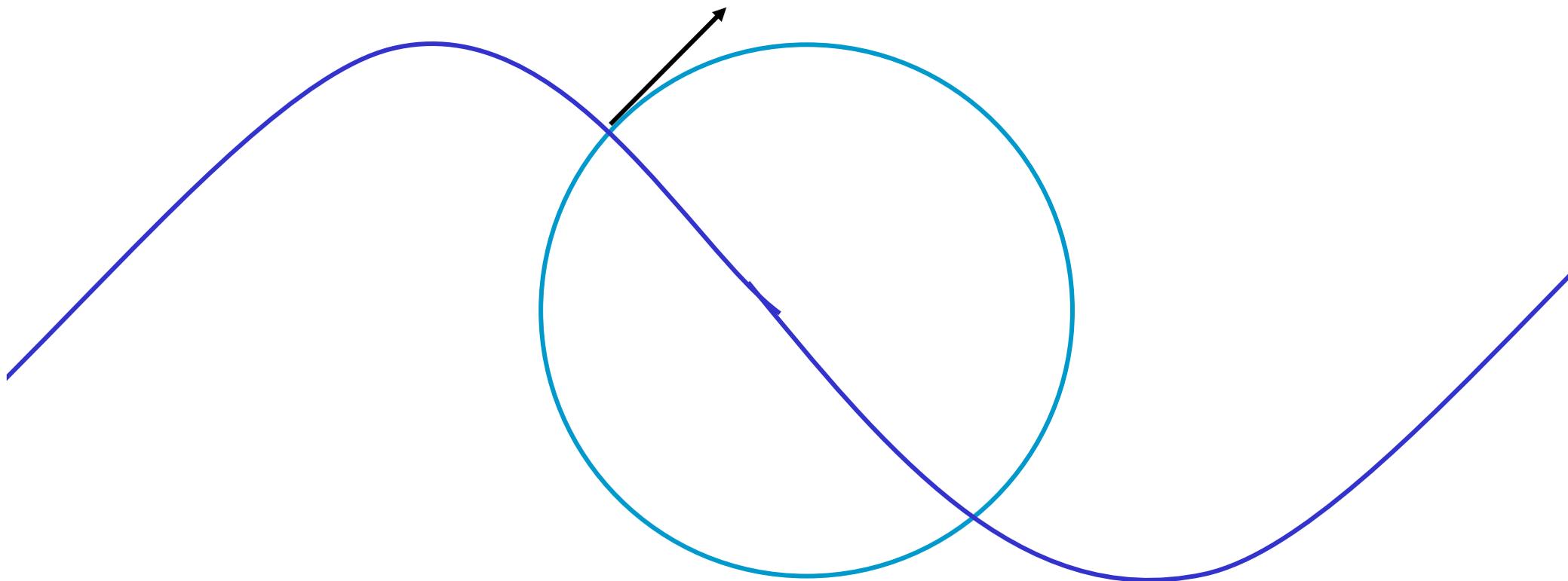


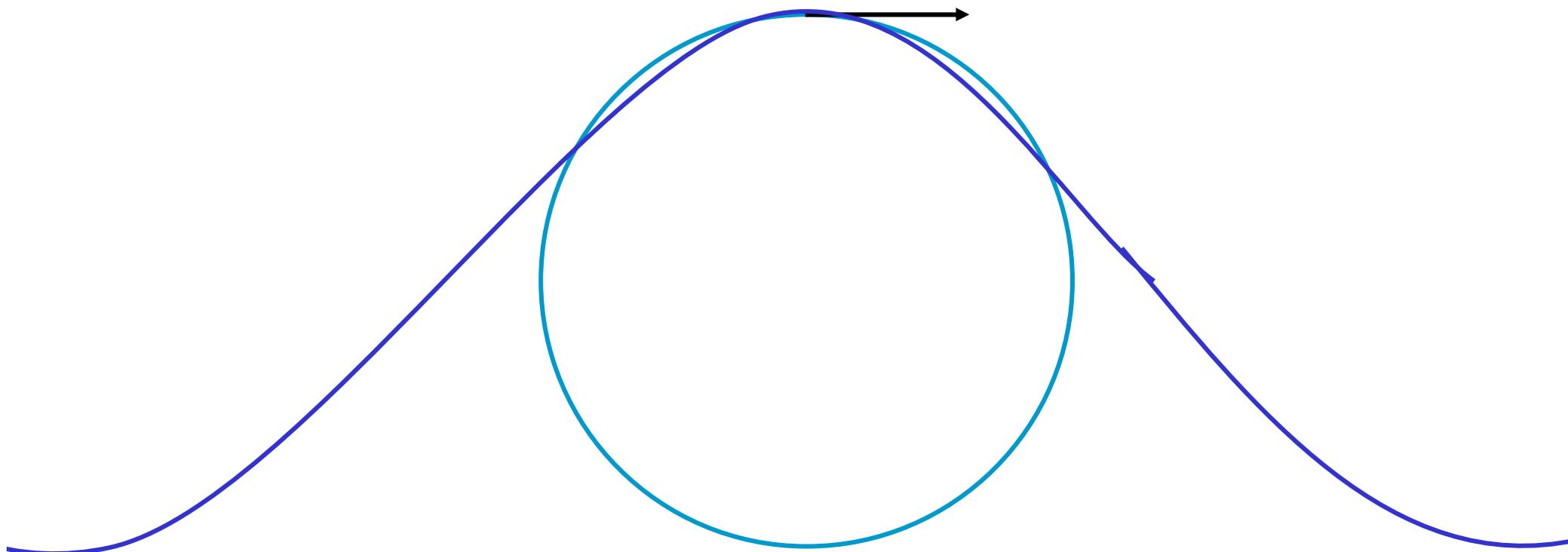


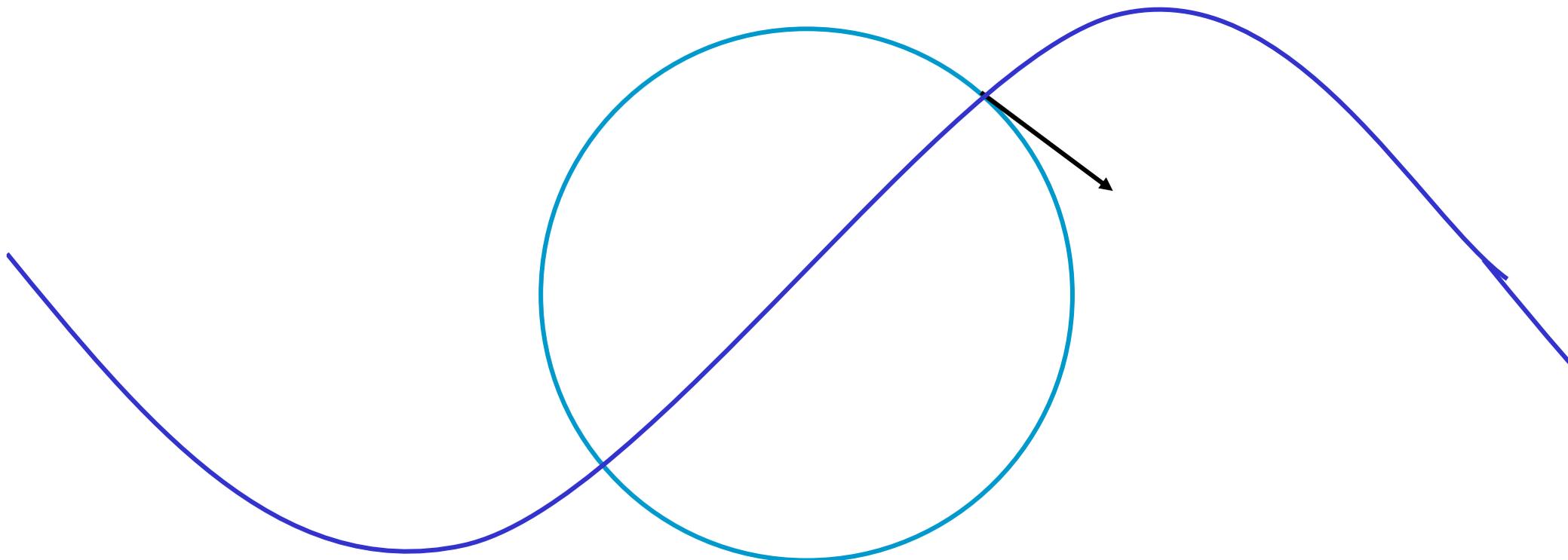


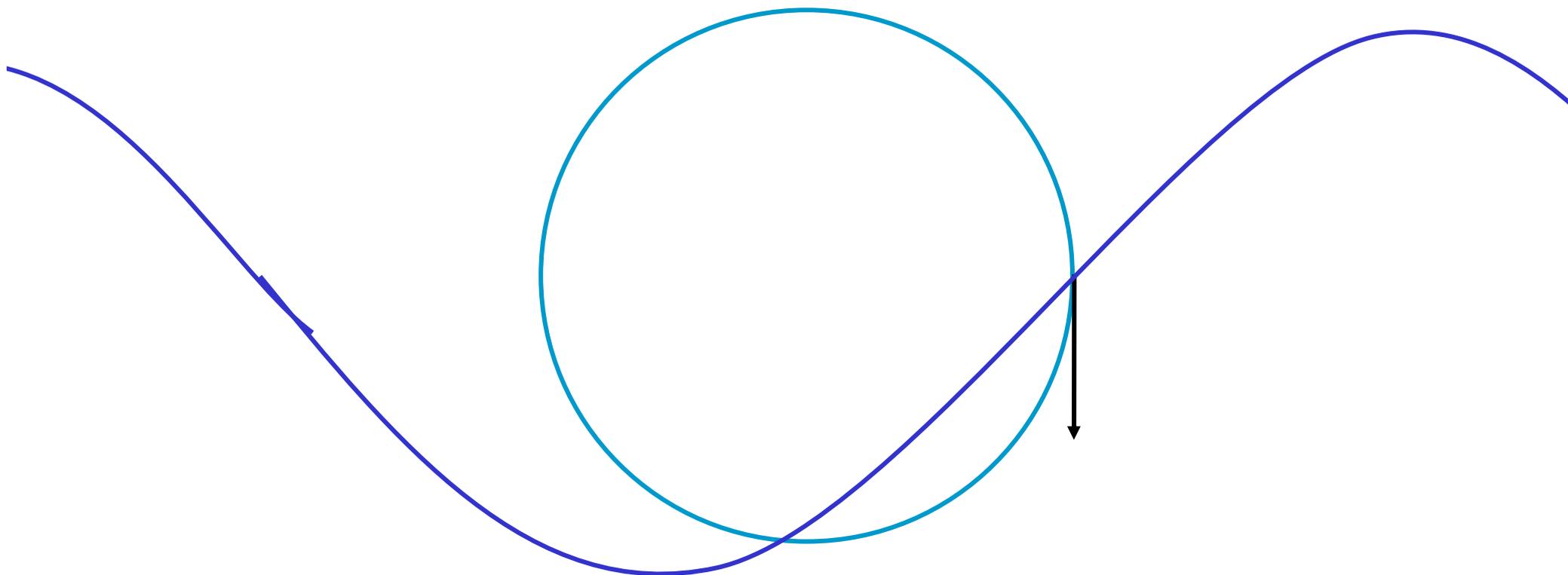


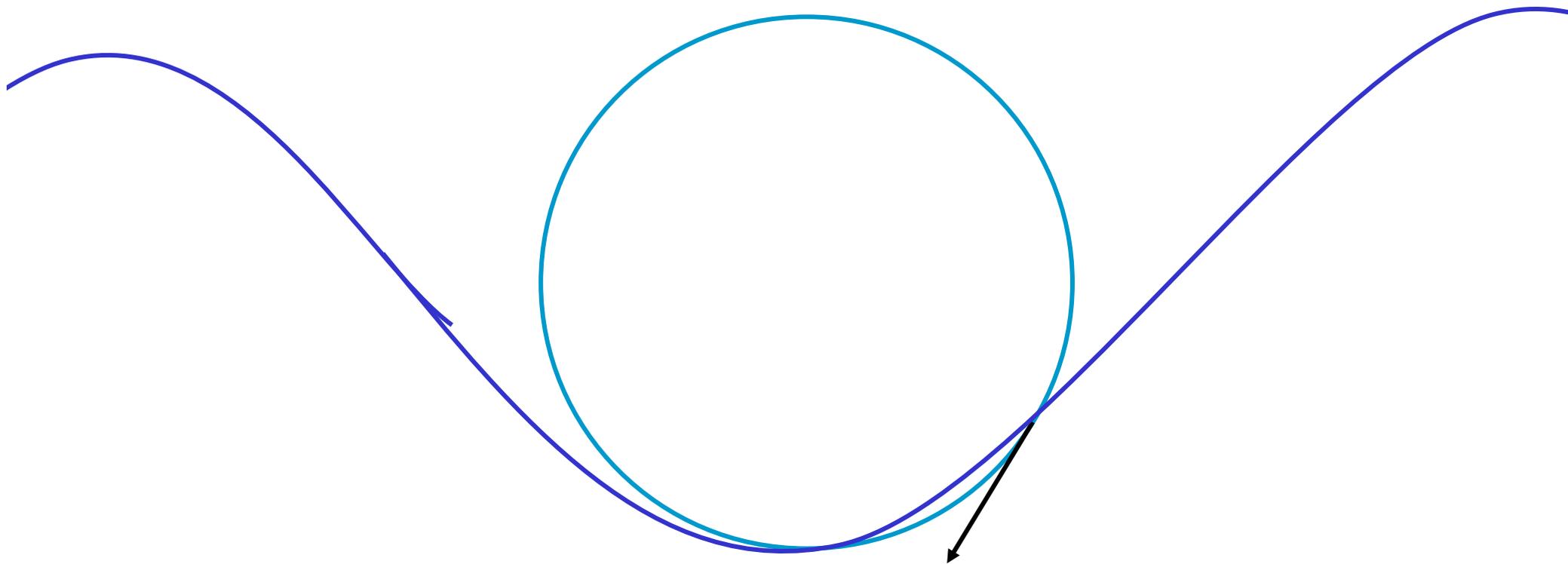


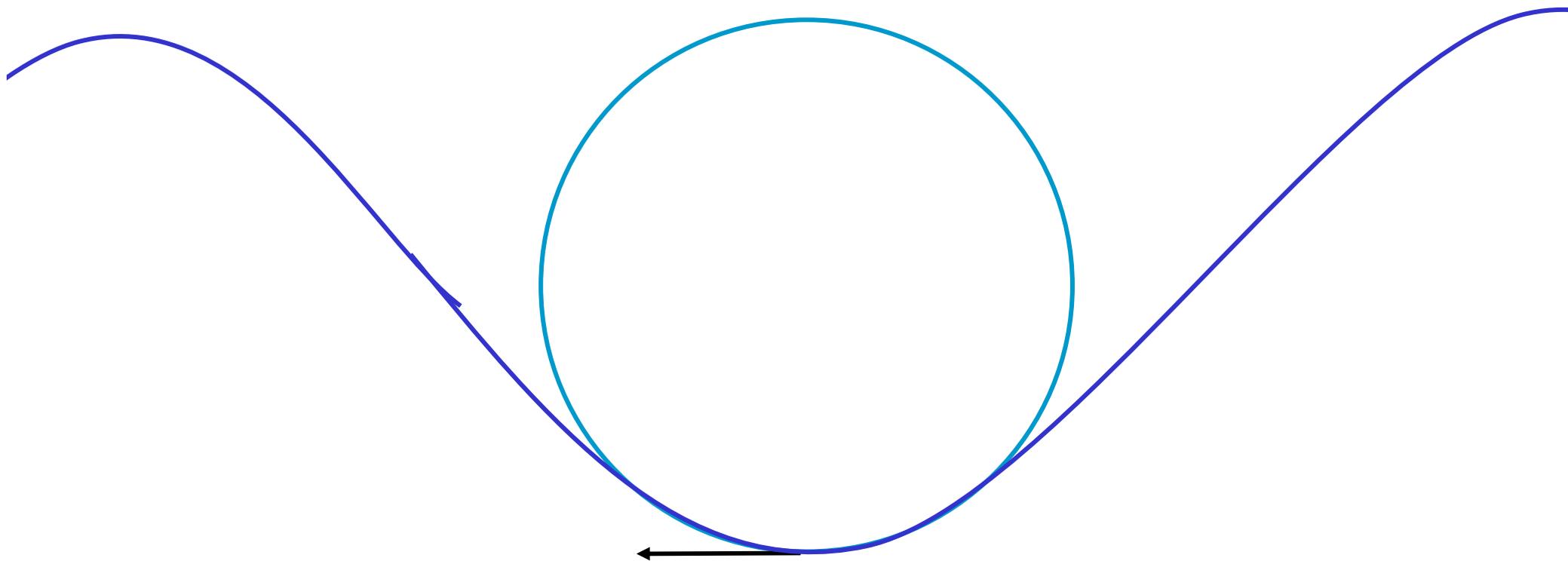


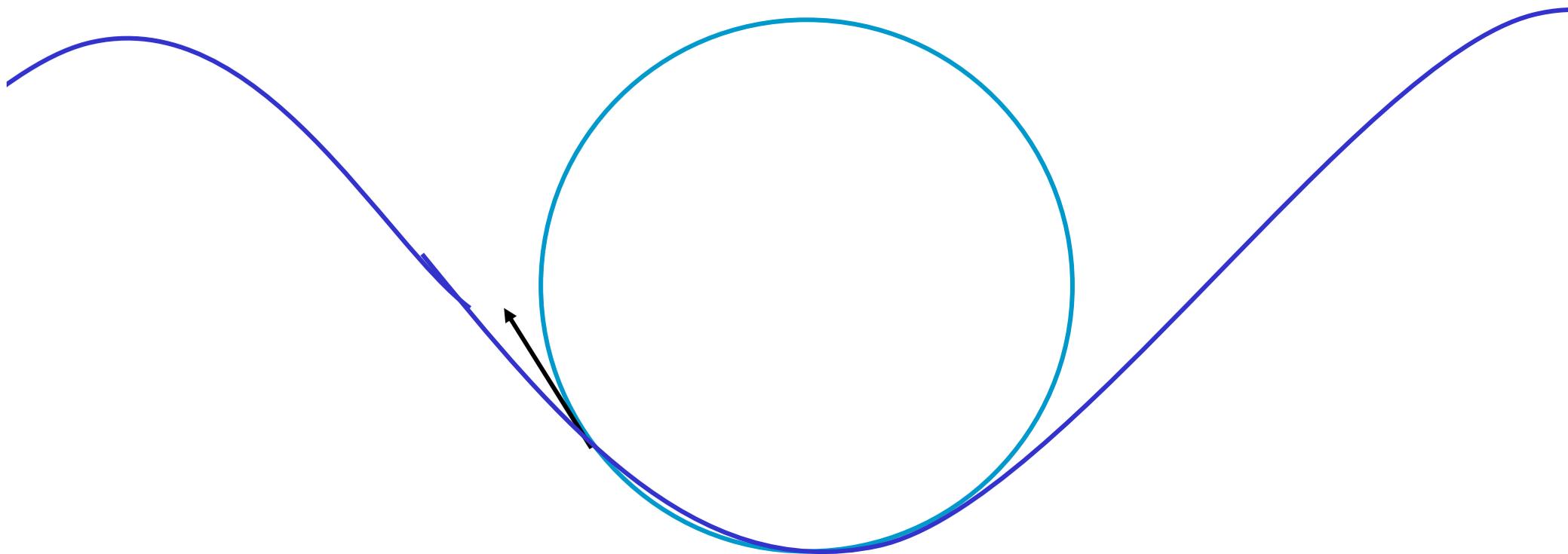


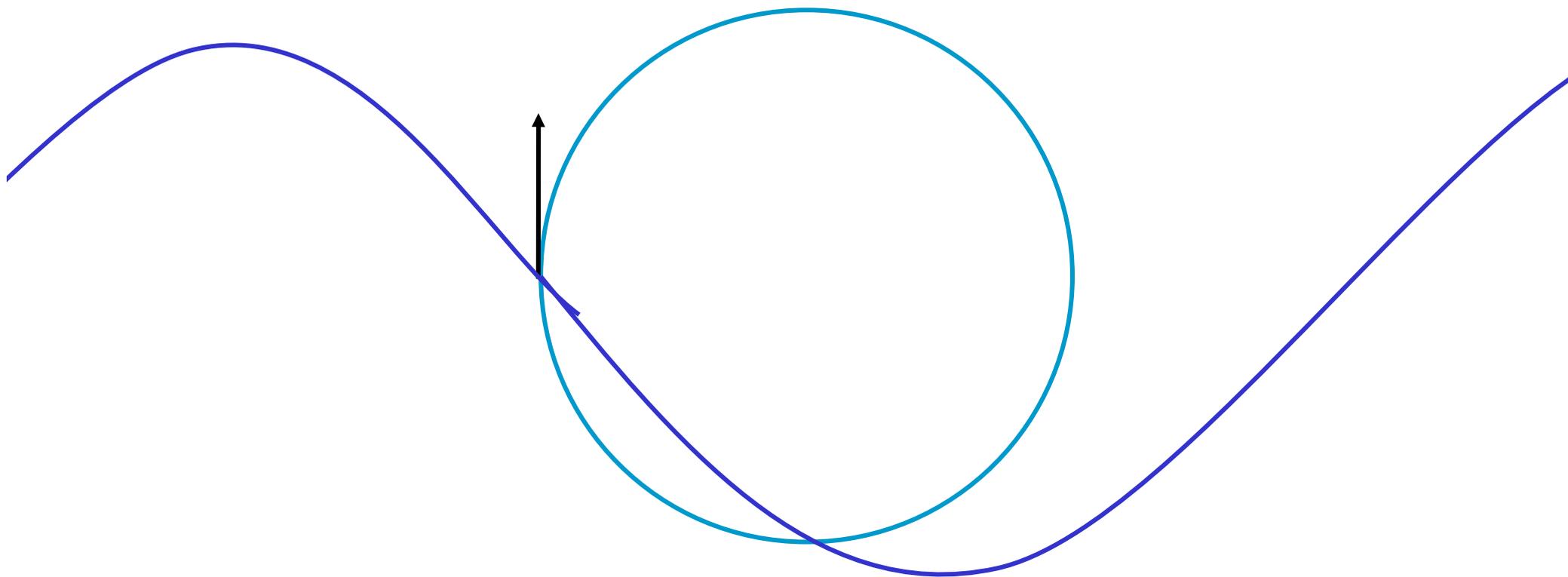


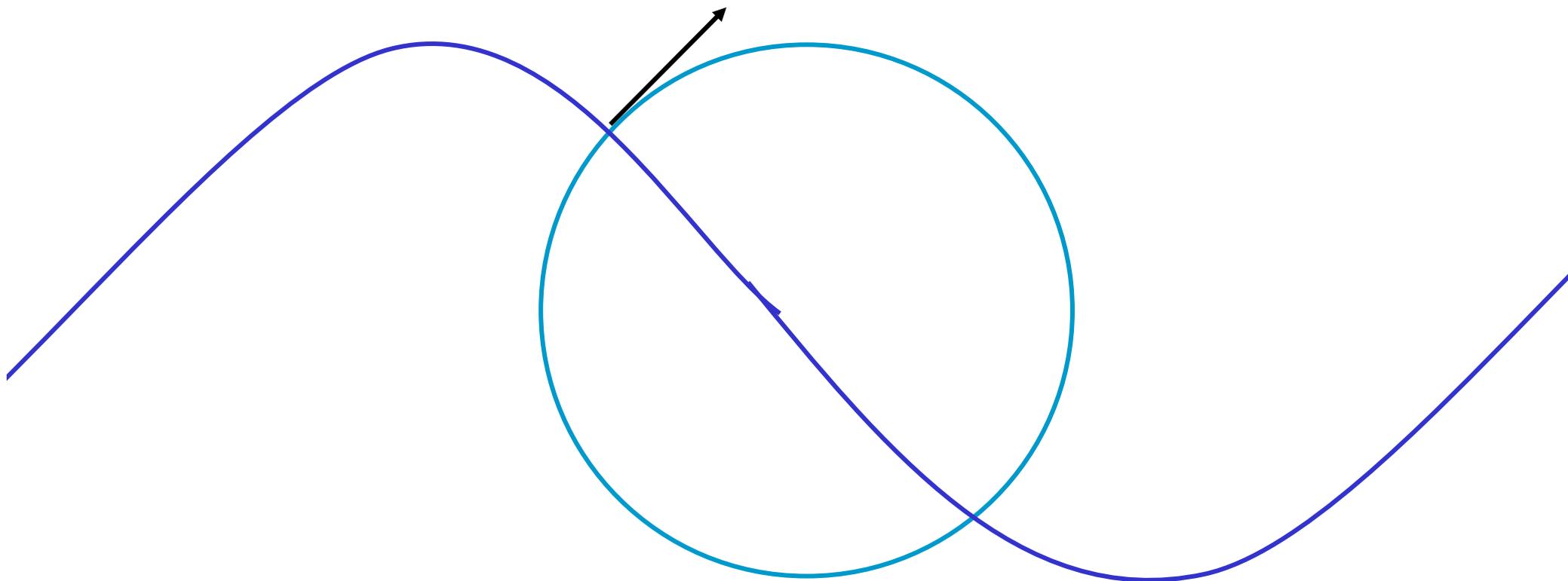


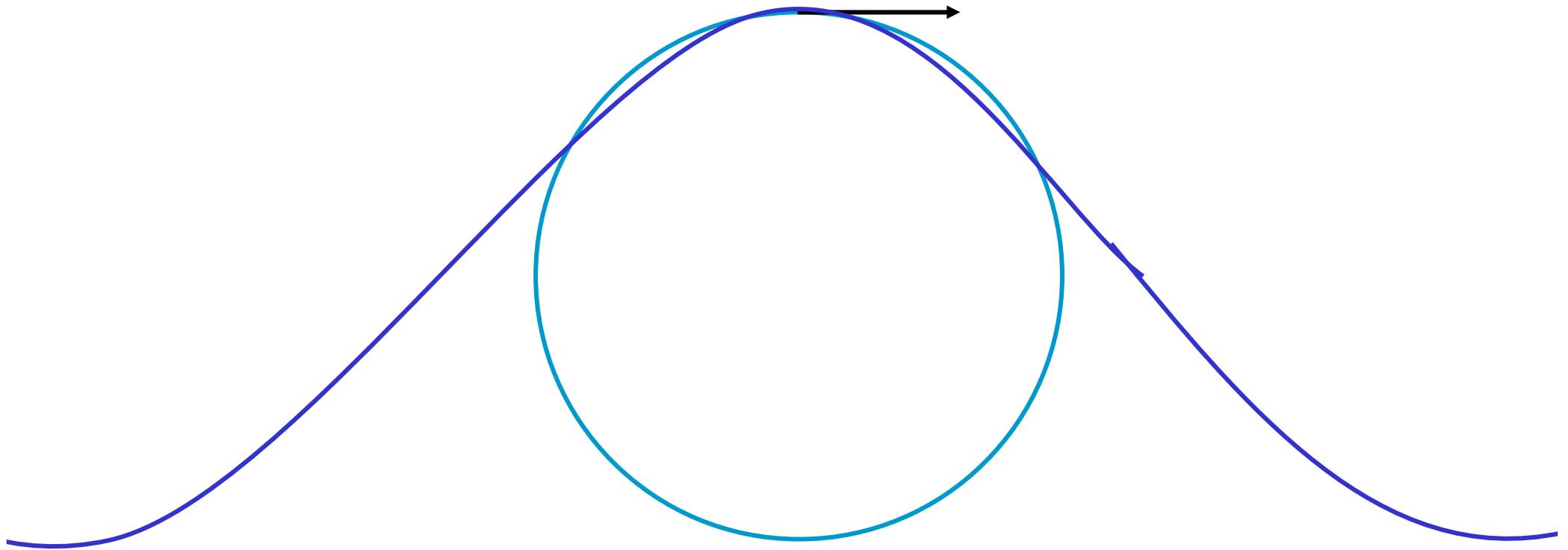








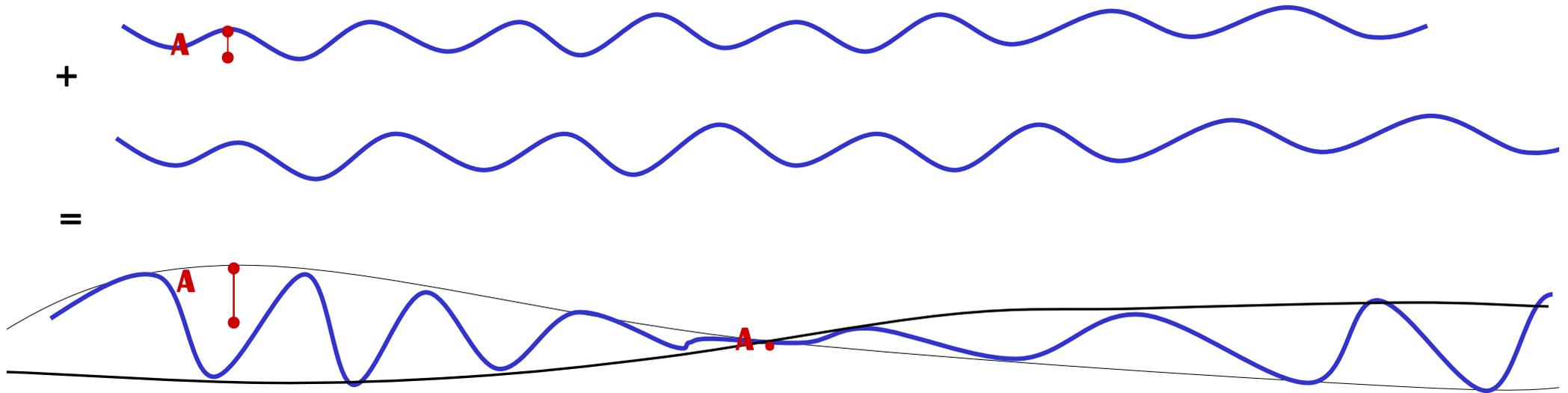




**Em alto mar as ondas apenas criam órbitas fechadas,  
sem arrastamento da água !**

## 1.4 A equação de Schrödinger não-linear e as ondas gigantes anormais

**Efeito dos batimentos (soma de ondas quase iguais) e da não-linearidade:**



**Acresce que as ondas não são exactamente lineares, o que faz com que as ondas maiores absorvam energia das ondas menores. Recentemente os cientistas perceberam que no mar alto surgem ondas gigantes anormais ( **monster freak waves** ), ao ponto de originarem diversos naufrágios.**

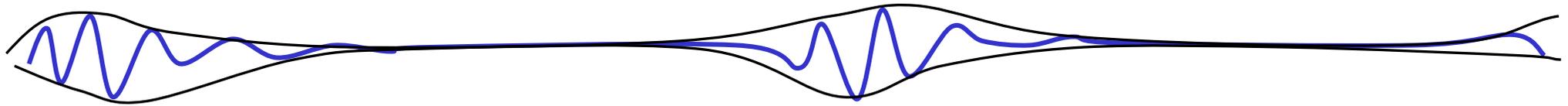
**As ondas monstras são entendidas com a eq. de Schrödinger não linear**



Na prática as sondas ficam agrupadas em **SETs** (grupos de ondas)



$T_{\text{grupo}} \sim 100 T_{\text{onda}}$

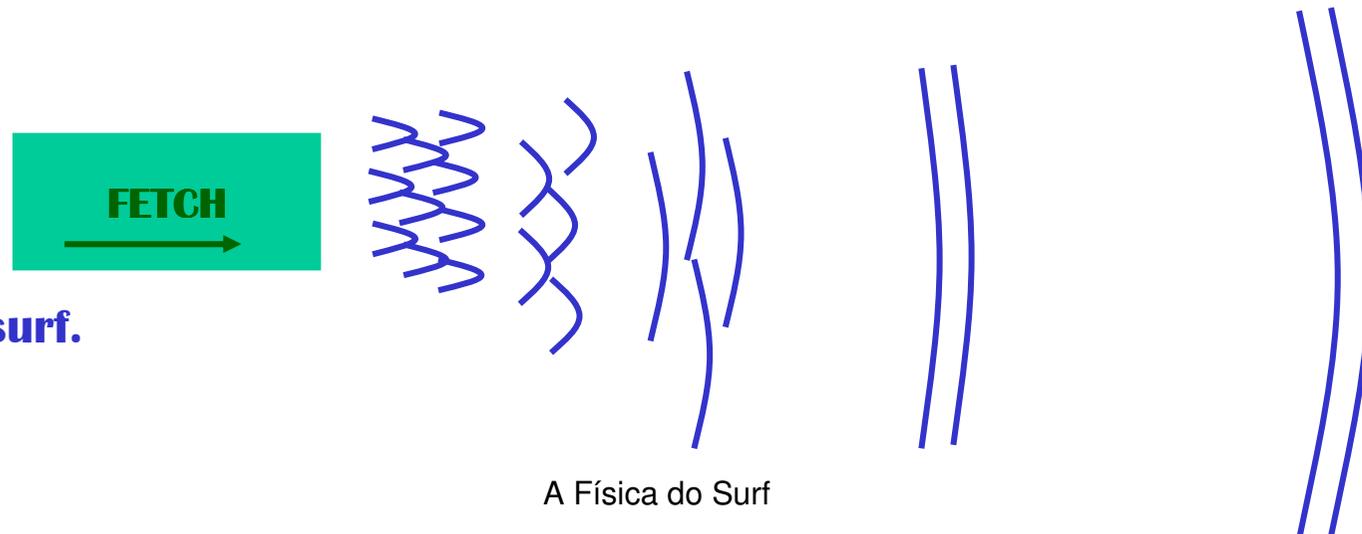


$$V_{\text{onda}} = \sqrt{g \lambda / 8 \pi} \quad , \quad g = 9,8 \text{m/s}^2$$

$$V_{\text{grupo}} \ll V_{\text{onda}}$$

Este agrupamento aumenta à medida que nos afastamos da origem das ondas.

Vista de cima do agrupamento em **SETs**, que favorece muito o surf.



## **2. Surf, ou a rebentação das ondas junto à costa**

## 2.1 Ondas em águas pouco profundas



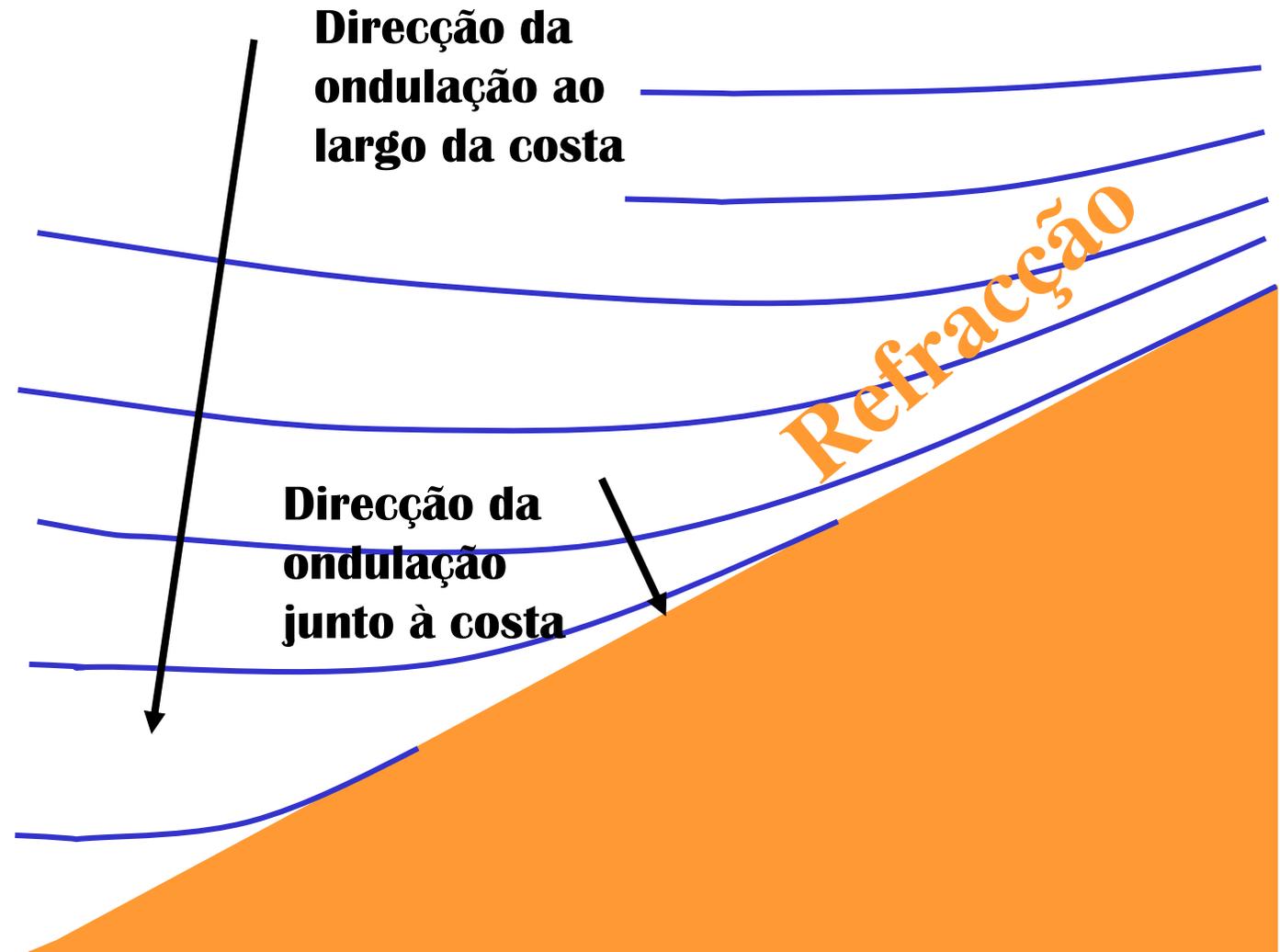
$$V_{\text{onda}} = \sqrt{g h} \quad , \quad g = 9,8\text{m/s}^2$$

**Essencialmente o fundo trava progressivamente a base da onda, o que concentra a energia da onda. Diz-se que temos uma **onda de choque** quando a onda se torna vertical.**

## 2.2 Refracção, difracção e reflexão das ondas

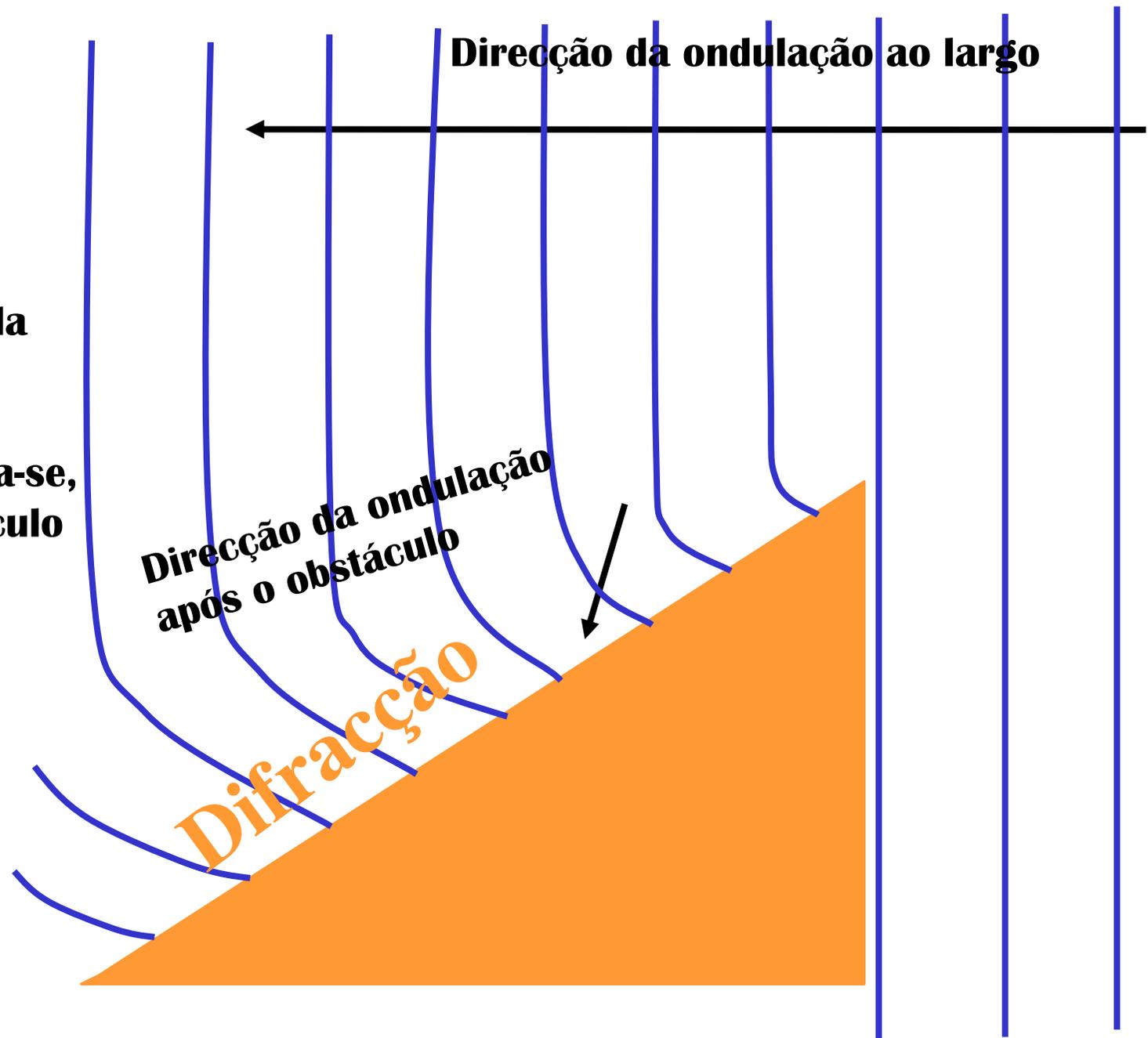
### Refracção vista de cima:

o fundo trava  
as ondas, que  
acabam por  
atingir a costa  
quase de frente



## Difracção vista de cima:

Após ser aniquilada  
em parte por um  
obstáculo, a  
ondulação reforma-se,  
rodeando o obstáculo

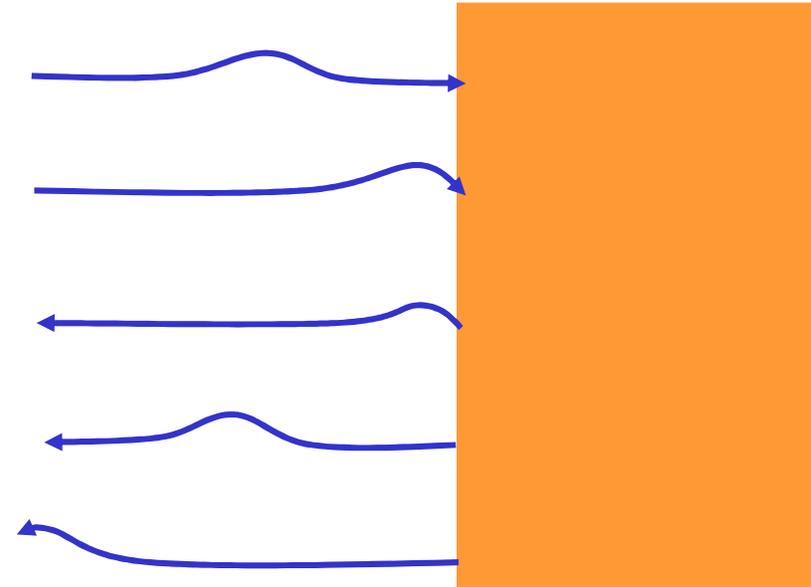


## Reflexão vista em perspectiva:

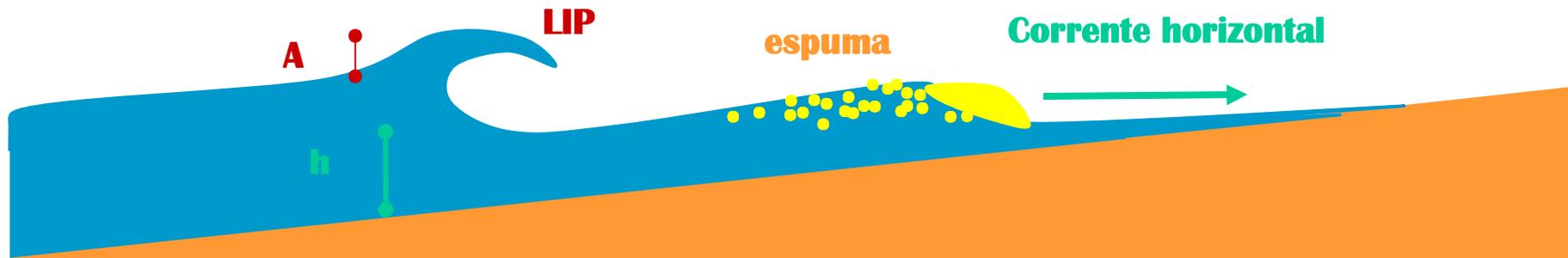
**Quando a energia da onda não é absorvida pela costa, a onda reflete-se de volta para o mar.**

**Isto ocorre em costa abruptas.**

**A reflexão é frequentemente prejudicial para o surf .**



## 2.3 Como são as ondas reventadas pelo fundo e pelo vento?

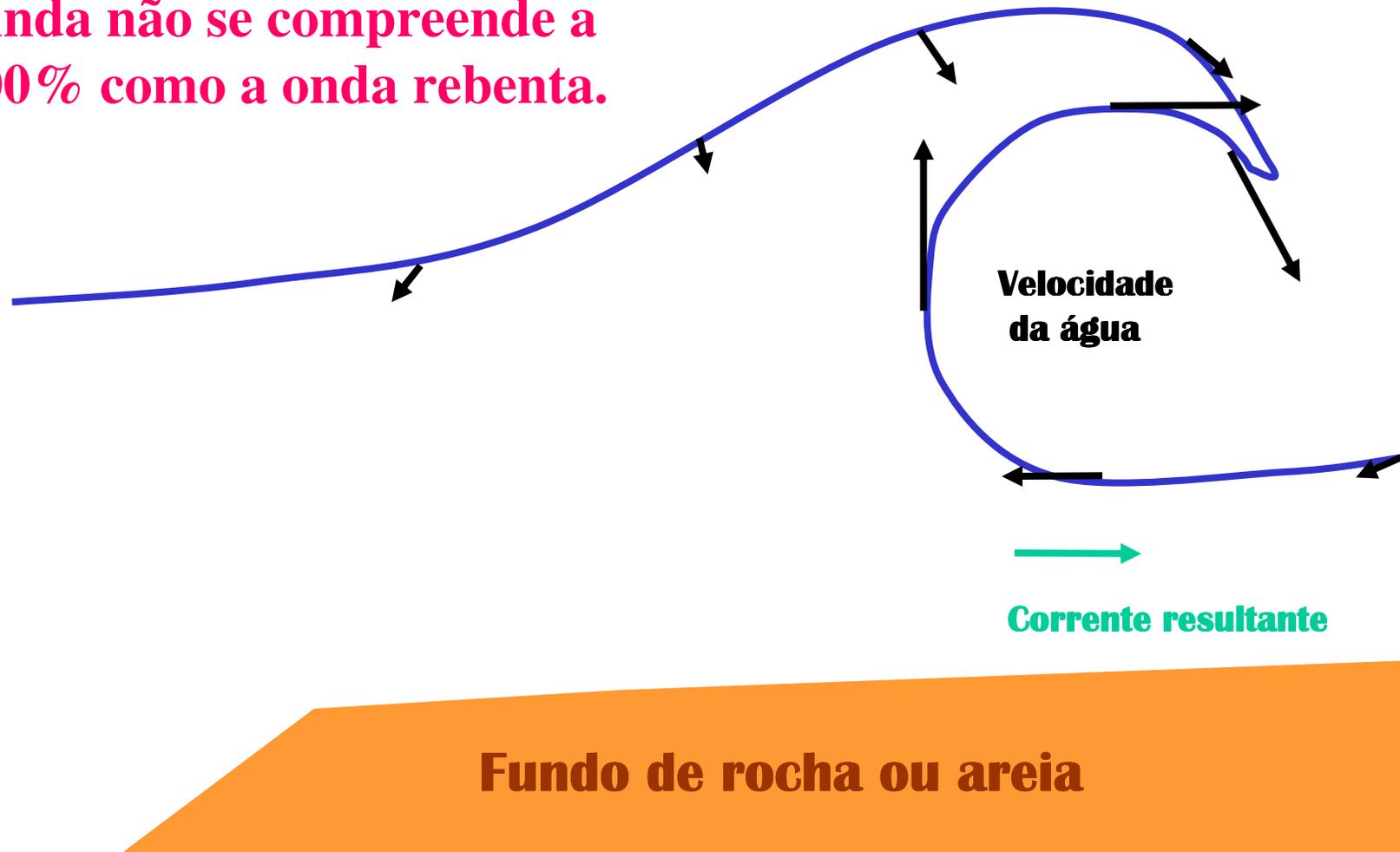


As ondas reventam quando a profundidade se reduz a cerca do dobro da amplitude,

$$h \sim 2A,$$

no entanto isto depende também do comprimento de onda e da direcção do vento. O vento vindo de **off shore** (de terra) é preferido para o surf pois levanta e alisa as ondas, retardando o reventamento.

**Ainda não se compreende a 100% como a onda rebenta.**



**A rebentação dá-se quando o fundo trava a base da onda, e desequilibra-a. Na face da onda é criada uma forte corrente ascendente.**

**A corrente resultante dirige-se para terra, principalmente após a onda rebentar.**

## 2.4 O que é uma onda perfeita?

### **Ex 1: Maldivas**

**Nas Maldivas  
ocorre a  
difracção  
à volta de  
pequenos  
atois de  
coral**

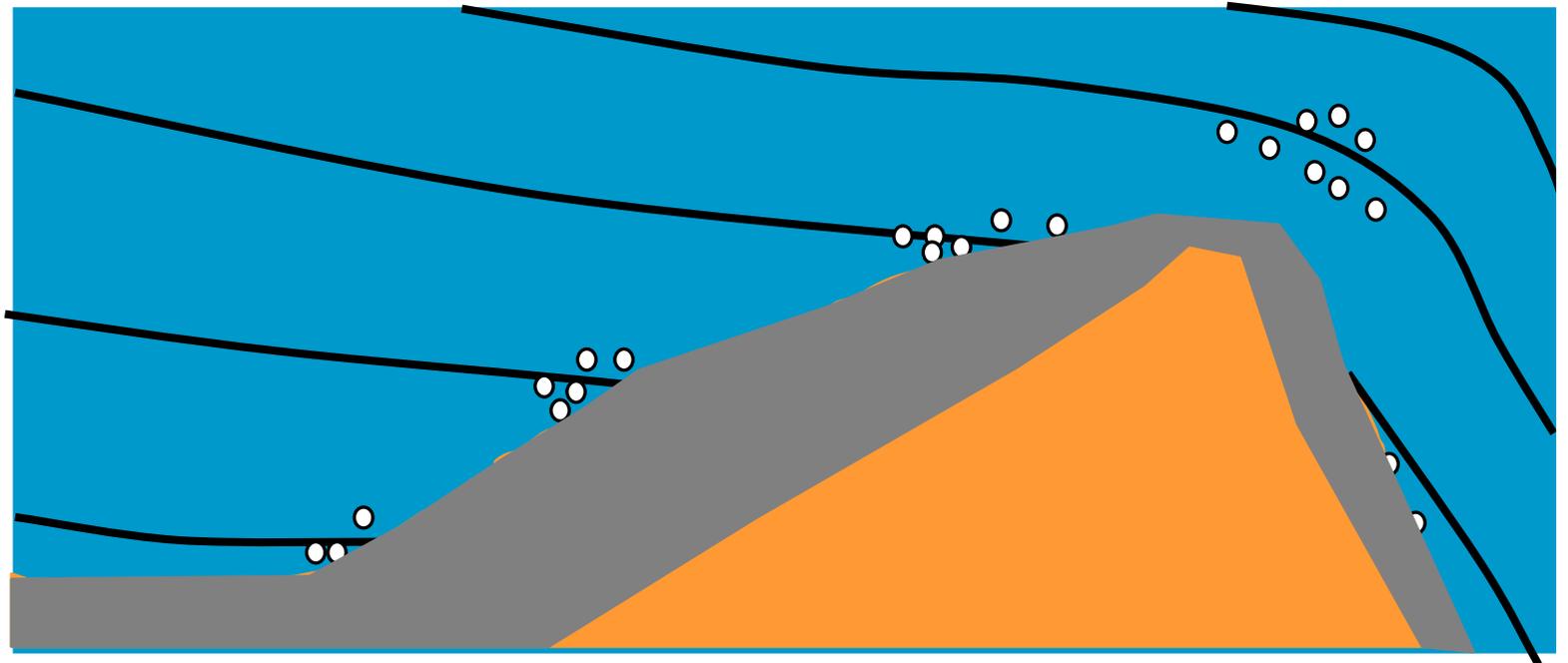


## Ex2: Madeira

A Madeira tem uma dezena de ondas de Point-Break de classe mundial (que infelizmente estão a ser destruídas por quebra-mares).

A refração concentra as ondas em frente a uma ponta submersa. Como não existe plataforma continental, a refração não é total.

Este tipo de onda inicia-se rebentando sobre as grande rochas submersas em frente a uma ponta. A onda prossegue ao longo da costa cujo fundo tem a inclinação IDEAL para criar tubos.



## Jardim do Mar







©2000 William Henry





### **3) O surf visto de perto, será perigoso?**

## 3.1 Descer a corrente ascendente

### Foto de drop



## 3.2 Tubo

### Foto de tubo



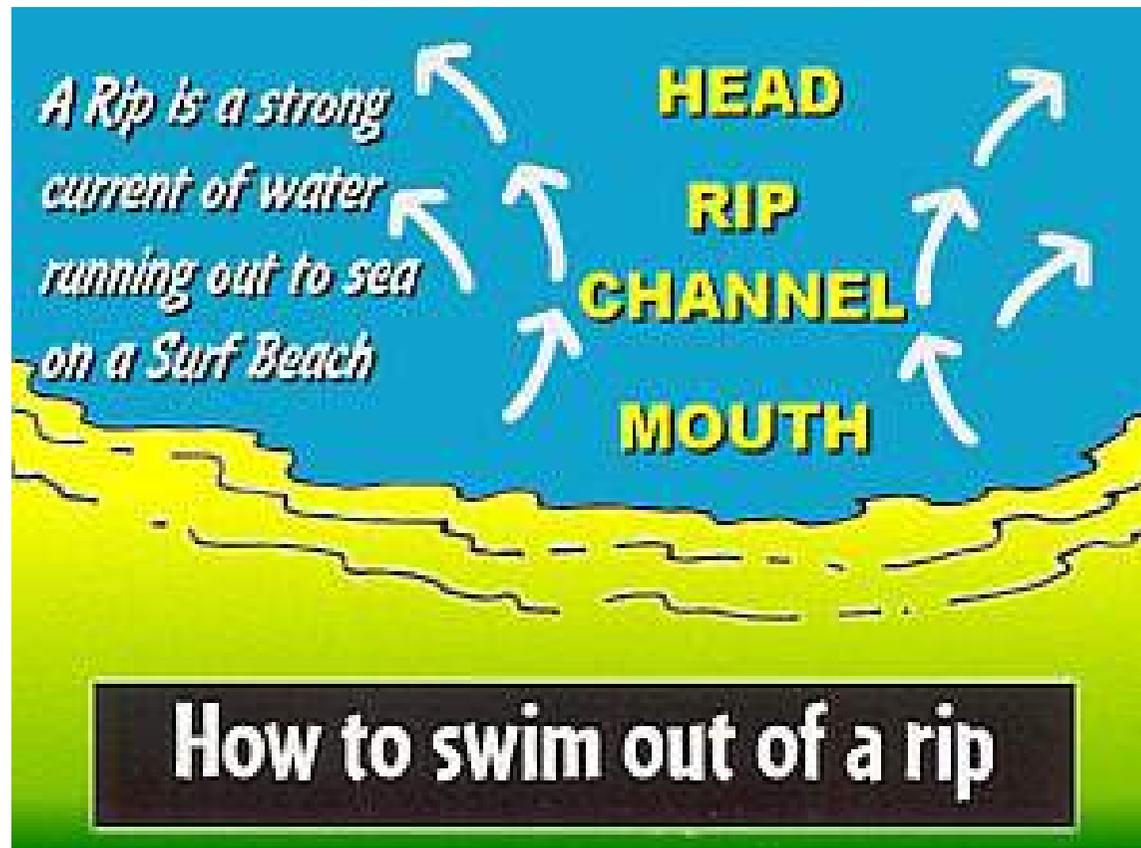
### 3.3 Esperar que a espuma passe

**Foto de espuma**

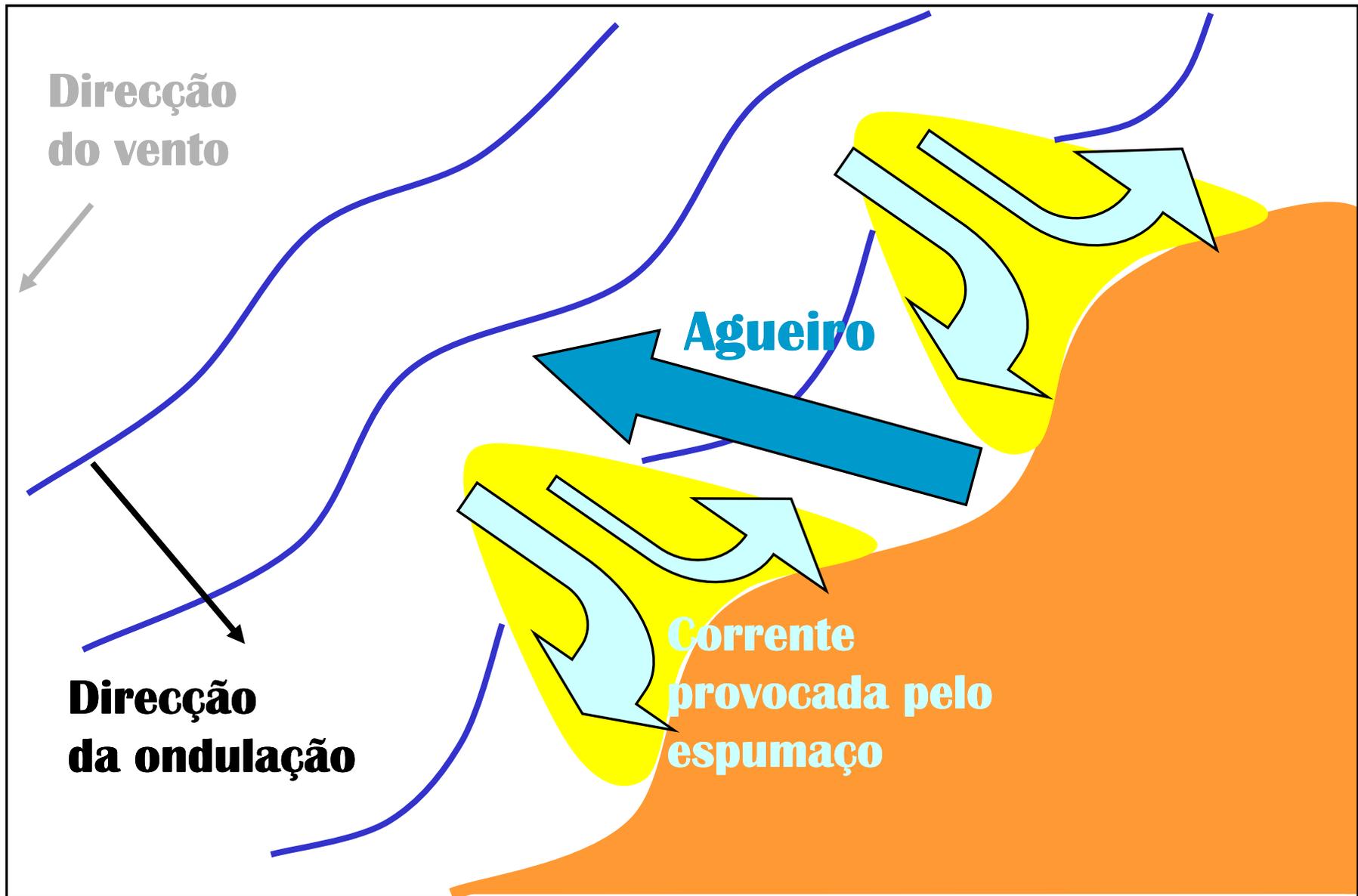


### 3.4 O agueiro, uma ratoeira para os banhistas

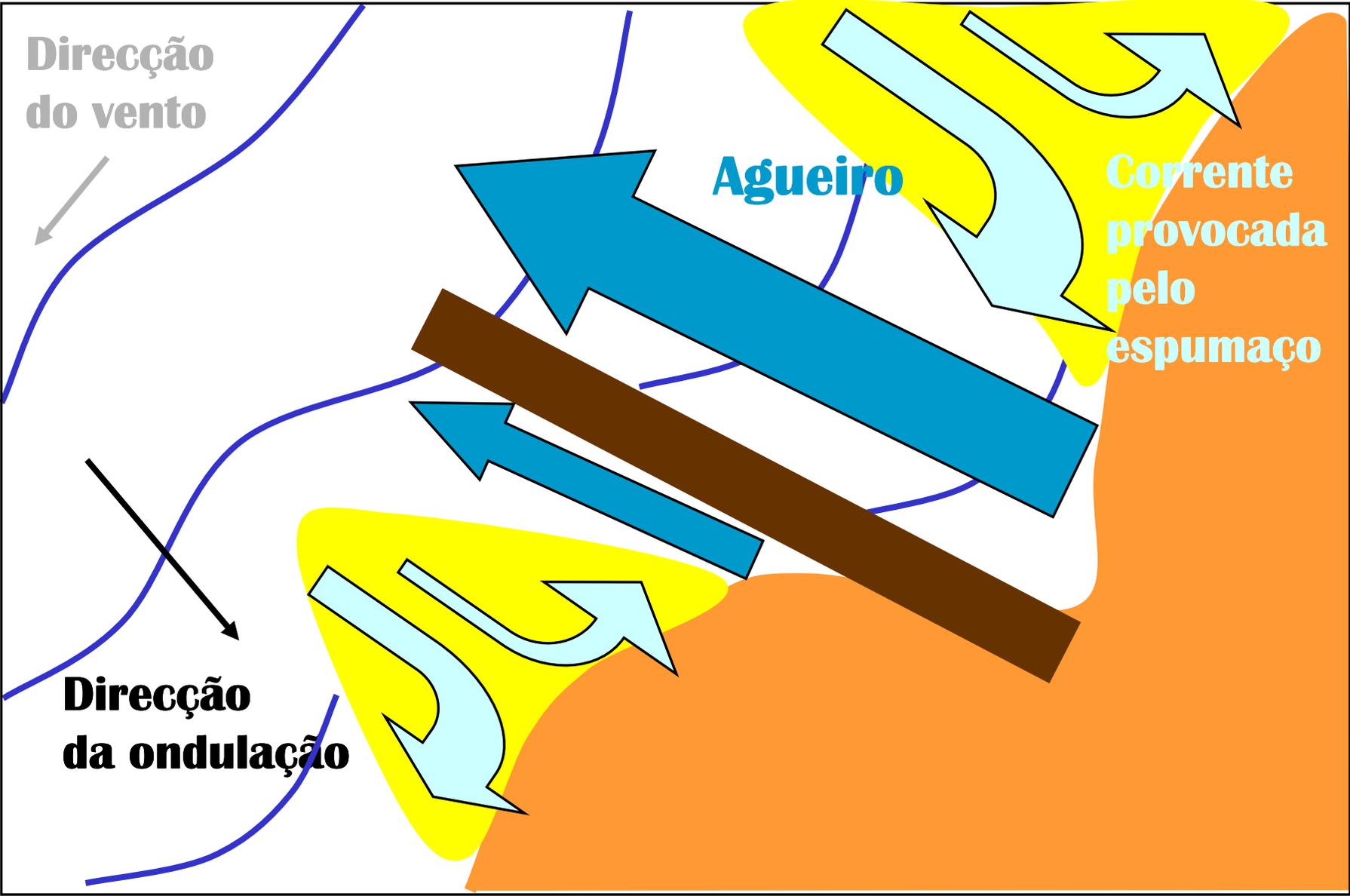
**O agueiro, (rip current) é responsável pela grande maioria das mortes nas praias portuguesas, e em qualquer costa sujeita a ondulações**



## Exemplo de uma praia de areia sujeita à ondulação



# Caso de uma praia de areia com esporão



### 3.5 Surf extremo

**Pra vencer a corrente ascendente em ondas gigantes, o surfista necessita de ser rebocado (tow-in).**

**Também precisa de material especial e *?qualidades?* Fora do comum.**



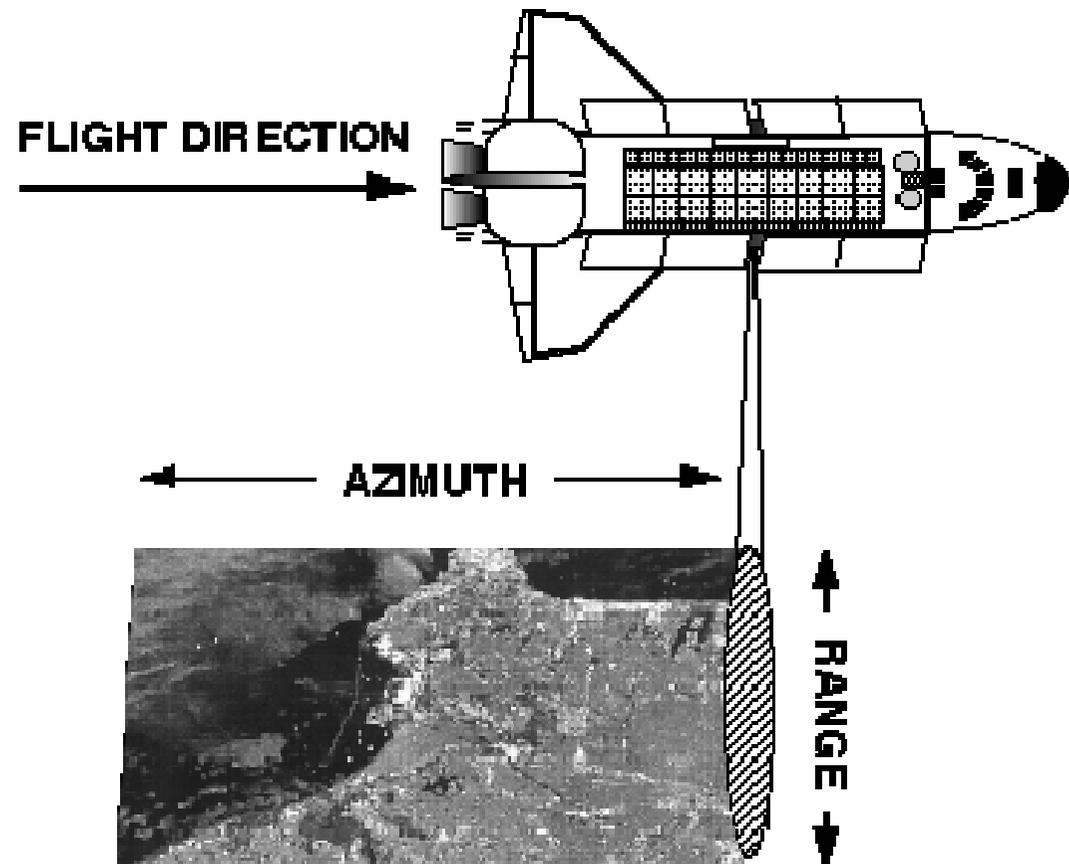






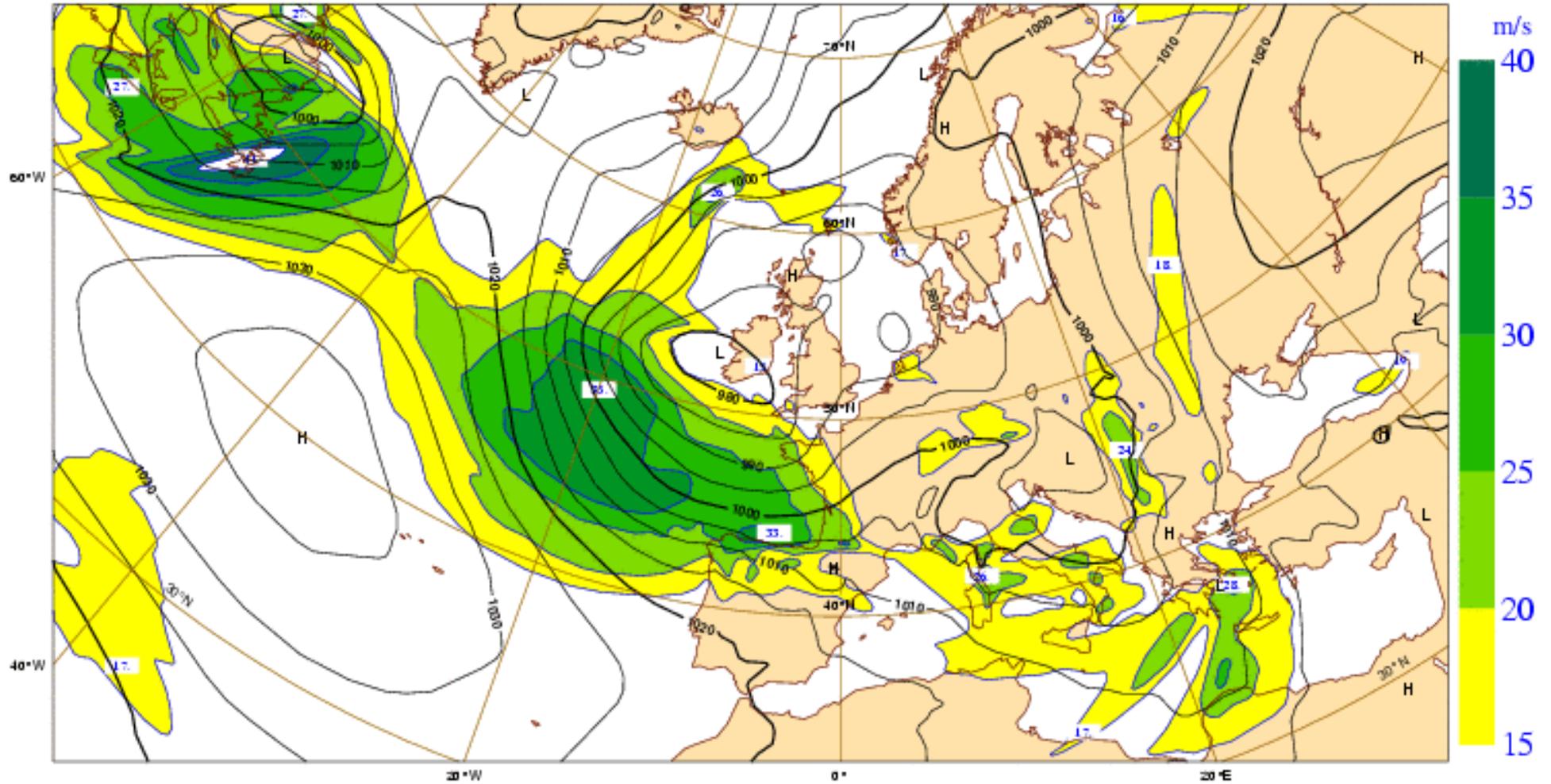
## **4) Surf e tecnologia**

## 4.1 Medindo ondas: a bóia ondógrafo e o satélite de abertura sintética



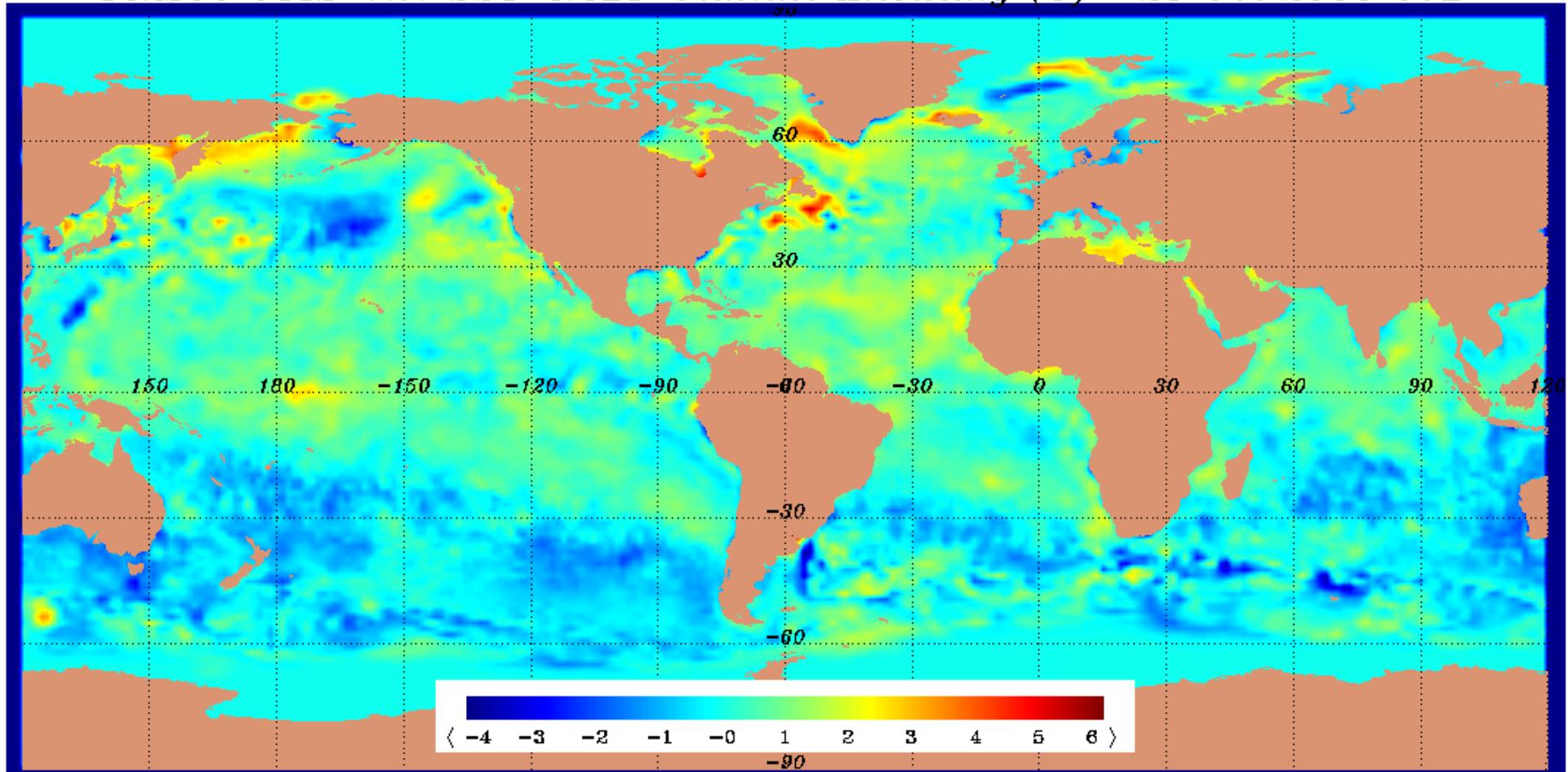
## 4.2 Prevendo ondas: supercomputador, modelos meteorológico e WAM

Monday 27 October 2003 12UTC ECMWF Forecast t+72 VT: Thursday 30 October 2003 12UTC 850hPa u-velocity/ mean sea level pressure  
SURFACE: MSL Pressure / 850-hPa wind speed

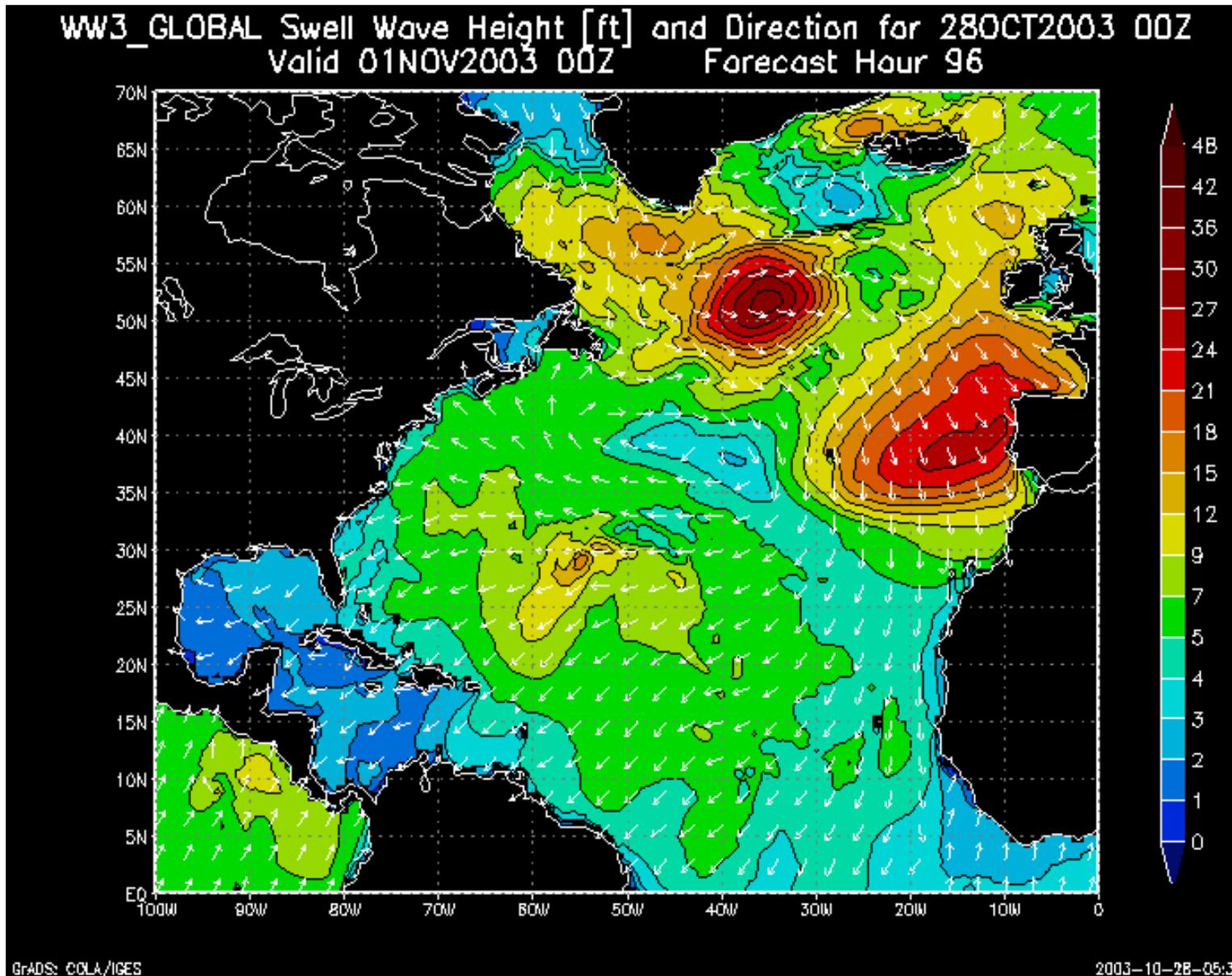


**A anomalia da temperatura da superfície da água do mar fornece uma indicação preciosa dos caminhos mais prováveis para as baixas pressões, que preferem águas relativamente mais quentes.**

*FNMOG OTIS 4.0: SST-NCEP Climate Anomaly (C) 28 Oct 2003 00Z*



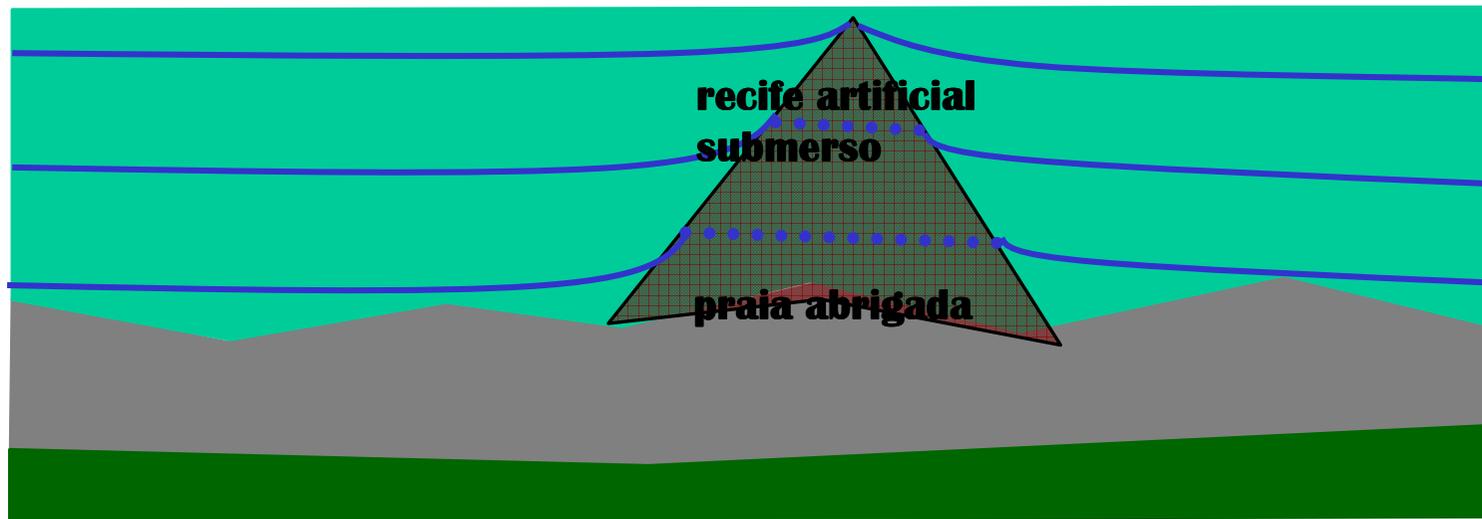
**É mais fácil prever a ondulação do que prever do que o tempo.**



## 4.3 Podemos proteger a costa e criar ondas perfeitas??

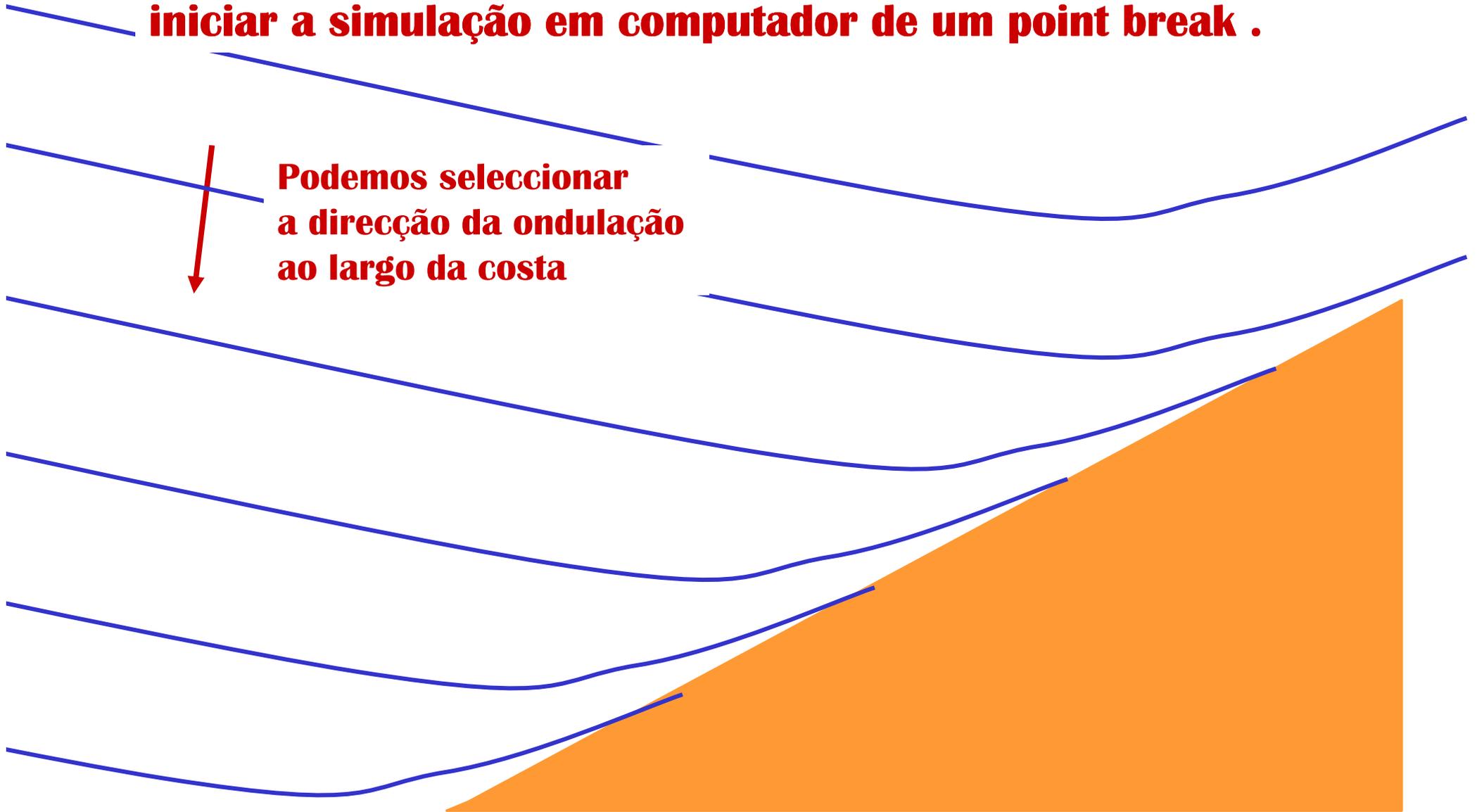
Presentemente, as novas TECNOLOGIAS oceanográficas estão a caminhar no sentido de construir recifes artificiais, com rochas, calhau ou sacos de areia submersos, para

- criar ondas boas para o surf
- proteger a costa da erosão, e os banhista das ondas
- servir de habitat e de santuário para peixes

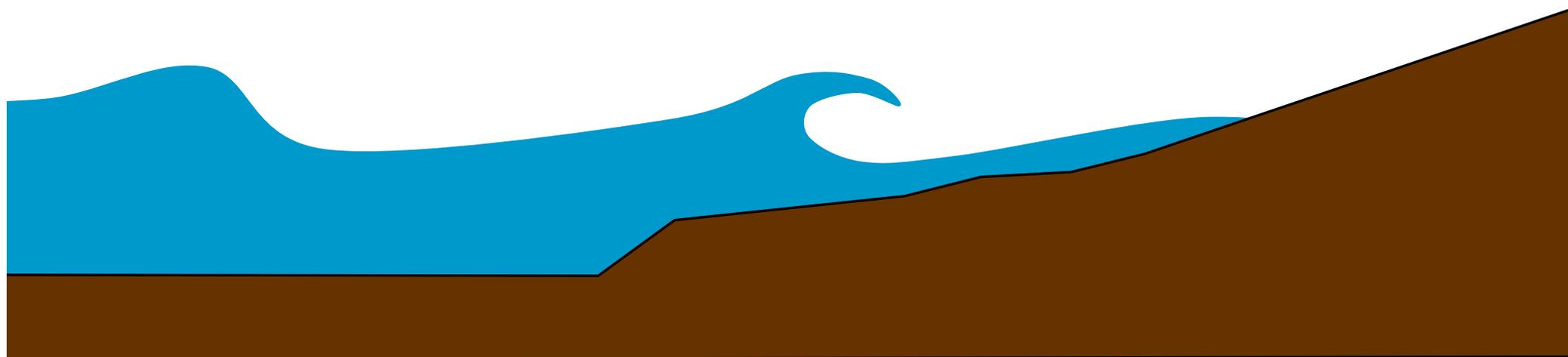


**Mas será possível criar uma onda perfeita? Estamos a iniciar a simulação em computador de um point break .**

**Podemos seleccionar a direcção da ondulação ao largo da costa**



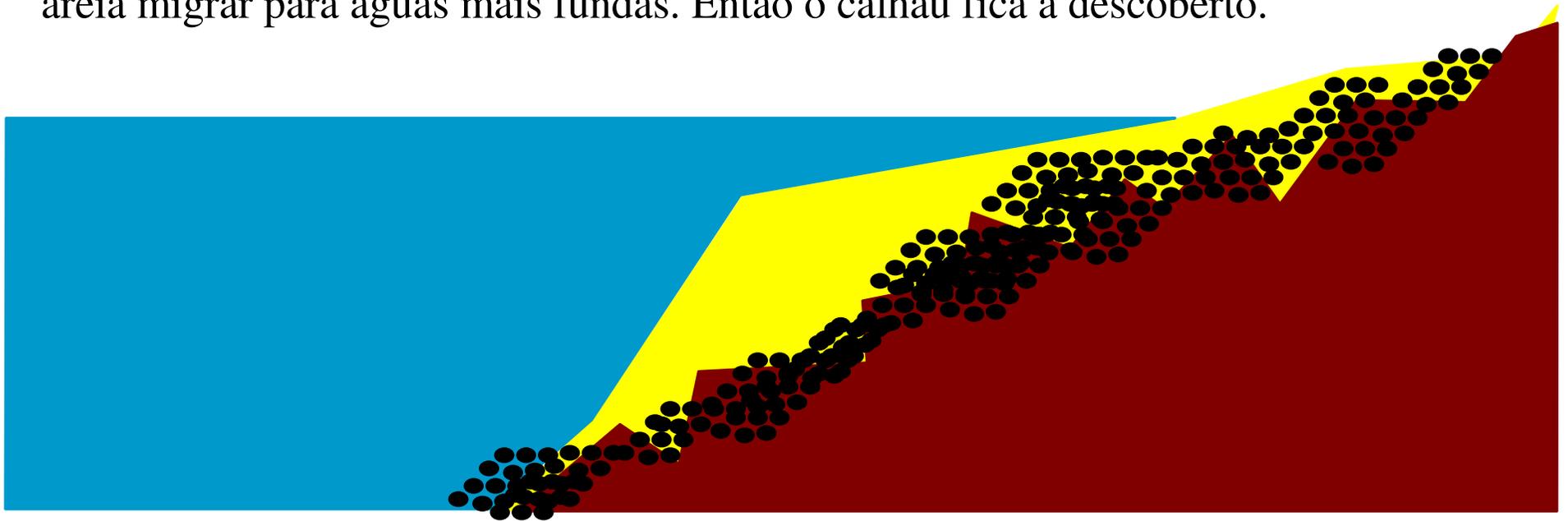
**Podemos seleccionar o perfil do fundo junto à costa.**



**E assim esperamos vir a perceber em grande detalhe que condições originam as ondas perfeitas, de foram a sermos capazes de projectar um fundo artificial que origine ondas como as da Indonésia, ou da Madeira.**

Também é possível transformar uma praia de calhau numa praia de areia (temporária). Vejam-se as famosas praias de Copacabana no Brasil, ou de Oeiras em Lisboa que foram criadas com tecnologia portuguesa.

As praias de areia costumam ter um fundo composto primeiro por rocha, em seguida por calhau rolado e finalmente por areia. É normal, em dadas épocas do ano em que a ondulação é mais forte ou em que o vento sopra do mar, parte da areia migrar para águas mais fundas. Então o calhau fica a descoberto.



**Ainda não se compreende a 100% como criar uma onda perfeita.**

Longe das praias, desenvolvem-se piscinas com surf.



## 4.4 A hidrodinâmica da prancha de surf

**Ainda não se compreende a 100% como cada prancha de surf funciona.** Cada nova invenção é testada directamente no surf.

Essencialmente a prancha combina a impulsão (princípio de Arquimedes) com o efeito de asa, no **rail** no **tail** e nos **fins**. Tem propriedades semelhantes às lanchas a motor potentes.

Para um barco planar necessita de uma força superior a 10% do próprio peso.



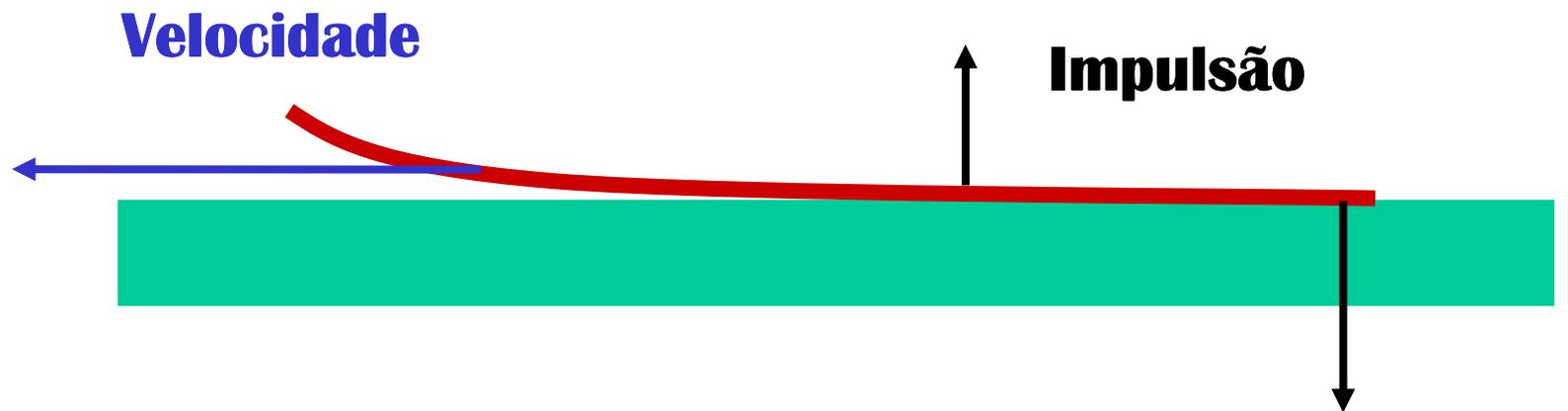
## A velocidade durante a remada é limitada pelo comprimento da prancha



$$V_{\max} = \sqrt{g l / 8 \pi} \quad , \quad g = 9,8 \text{m/s}^2$$

**A planar a velocidade da prancha já não tem limite.**

**Por outro lado a prancha tende a levantar a parte da frente e a afundar a parte de trás**



**Efeito de asa**



hang ten

**Para curvar, o surfista apoia o peso sobre o bordo da prancha interior à curva.**

**Simultaneamente apoia o peso sobre a traseira da prancha.**

**Lança ainda a rotação do corpo rodando primeiro os braços.**

**Efeito de asa no **rail** (borda) e nos **fins****





Veronica Kay



[www . quiksilver . com](http://www.quiksilver.com)

Roxy Trip - South Pacific

**QUIKSILVER** 

© photo: Hornbaker

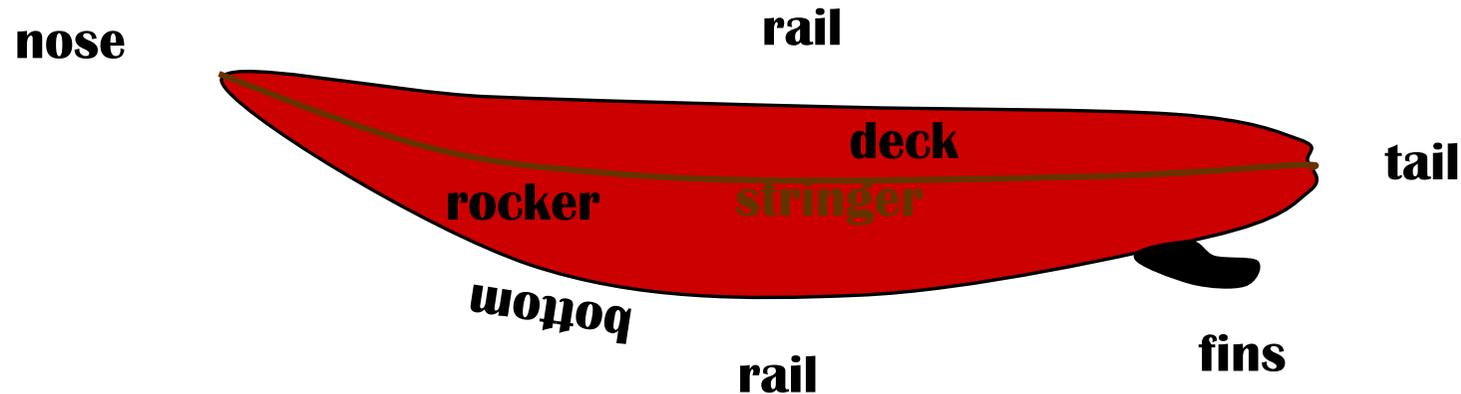


**O surfista também usa o efeito de asa para cortar a onda, principalmente num tubo**





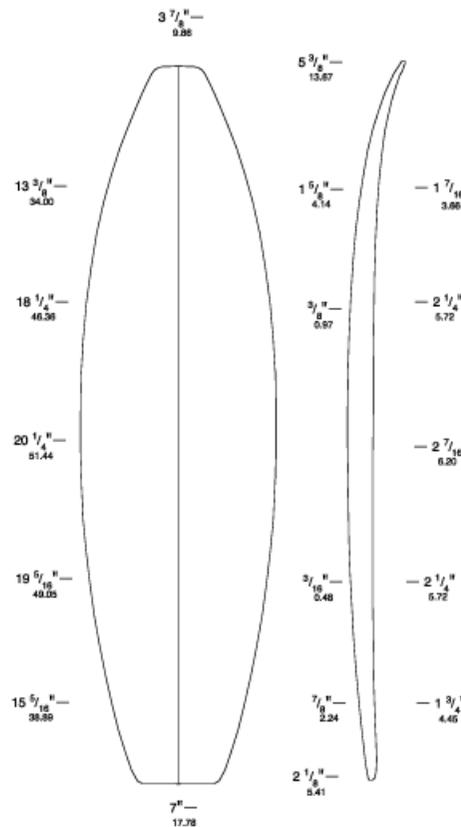
## 4.5 Fabricar uma prancha de surf: objecto belo, leve, resistente e flexível



**A prancha de surf foi inventada há mais de 1500 anos pelo povo polinésio, que na altura liderava a tecnologia naval. Foi necessário esperarmos pelo desenvolvimento tecnológico originado pela II guerra mundial para a prancha de surf se desenvolver radicalmente.**



# 6'1"R



Overall Bottom Length:  $6' 2 \frac{3}{8}"$  (188.93)  
 Tip-to-tip Deck Length:  $6' 1 \frac{9}{16}"$  (186.84)  
 Maximum Width:  $20 \frac{1}{4}"$  (51.44)  
 Maximum Thickness:  $2 \frac{7}{16}"$  (6.20)  
 Displacement: 1.216 cubic feet (0.03443 m)  
 History: Introduced January, 1995  
 Rockers: Natural  
 Factory Stocking: Always  
 Limited Volume Charge: None  
 Blanks Per Box: 4 - 7'0"

Shaper's Comments: 6'1"R uses the same logic as the other close tolerance blanks in the "R" series. It is designed to be used for boards in the 5'10"-6" size range. The central part of the deck should be very close to the finished board with enough volume in the rail to allow a good range in rail contour.



Shaped By: Rick Hamon and Rusty Preisendorfer



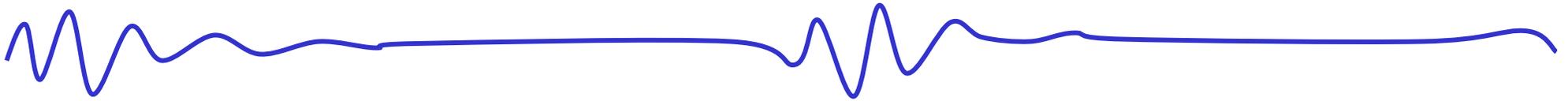


Presentemente estão sendo desenvolvidas fresadoras robotizadas (com controlo numérico por computador), dedicadas ao fabrico de pranchas de surf.



## **5) Concluindo**

## 5.1 Uma onda é um ser físico



**A onda do mar é um ser físico. As ondas são a base da física moderna, no entanto apenas a onda do mar é directamente observada e entendida pelo homem.**

**No entanto a onda do mar ainda não é compreendida a 100% pelos cientistas e engenheiros, pois existem ainda vários problemas em aberto por explicar.**

## 5.2 O surf, o homem e a natureza

O surf oferece instantaneamente o contacto com a natureza. Serve de escape e de inspiração às populações urbanas.

O surf já movimenta 5 bilhões de Euros anualmente, seja pelo turismo e pelas escolas de surf, seja pela indústria de pranchas, fatos e outros acessórios.

Curiosamente as indústrias ligadas ao Surf acabam por se fixar nas localidades onde existem as melhores ondas do mundo. Estas NOVAS indústrias atraem mão de obra qualificada, por isso são relevantes para as regiões periféricas.

Os surfistas são naturalmente empurrados para batalhas ambientalistas, pois são directamente sensíveis à poluição e aos empreendimentos costeiros.

Em Portugal a **orla costeira não pode ser privatizada**. Desde sempre o povo teve o direito a aceder à costa, e nos tempos de crise foram as lapas e os polvos que salvaram as populações costeiras de passar fome. Esta é uma das pedras de toque da identidade portuguesa.

No entanto ...



Pedro Bicudo



A Física do Surf



-  Direcção da deriva litoral (transporte longitudinal)
-  Cunha de Acreção sedimentar a barlar da estrutura
-  Zona de Erosão sedimentar a sotamar da estrutura
-  Direcção e localização actual das principais "rip currents" (*agueiros*)



www.soscarcavelos.com

# ONDA HUMANA

**Carcavelos  
13FEV. 14H**

*Contra a destruição da Praia de Carcavelos*

- 14H** Aulas de Surf gratuitas
- 15H** Palestra no WindsurfCafé e/ Nuno Jonet e Pedro Bicudo
- 16H30** Formação da Onda Humana
- 17H** Sorteio de pranchas de Surf e Bodyboard

*Todos juntos vamos  
juntar 1000 pessoas  
à beira-mar*

*Save Our Surf*

[WWW.SOSCARCAVELOS.COM](http://WWW.SOSCARCAVELOS.COM)

Evento Organizado por:  **ENTRA NESTA ONDA  
PARA QUE NÃO DESTRUAM AS NOSSAS.**

Impressão: 







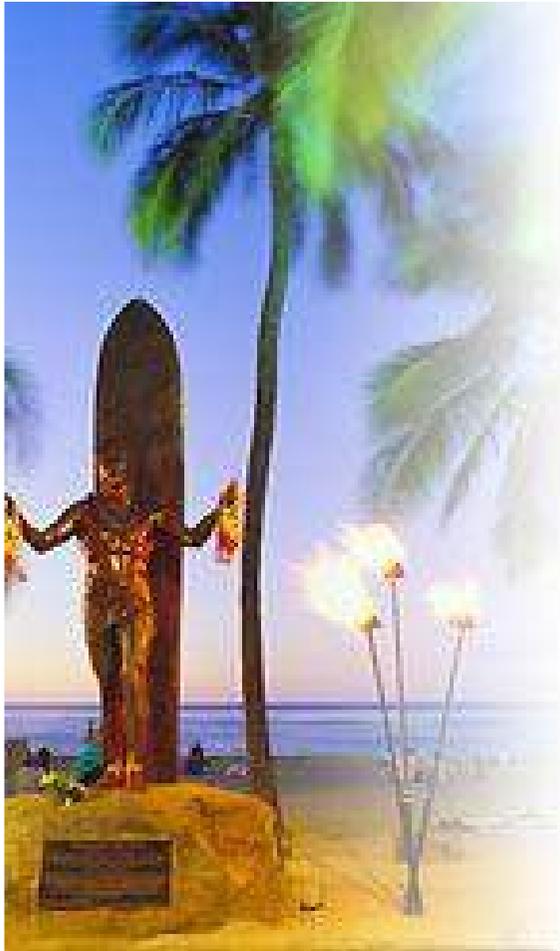




Pedro Bicudo

A Física do Surf

# O modelo de desenvolvimento havaiano do Town and Country



**Foto que abre a campanha da agência de viagens [expedia.com](https://www.expedia.com) para o Hawaii**

Uma possível perspectiva de desenvolvimento é aqui apresentada. Propomos que seja seguido o modelo havaiano do “town and country”, pois

- o Hawaii é uma arquipelago onde emigrantes madeirenses se integraram perfeitamente no fim do Século. XIX,
- está no TOP dos rankings atribuídos pela população americana, para o turismo e a qualidade de vida,
- acolhe cerca de 150.000 turistas todos os dias na ilha,
- a ilha de Oahu dispõe de uma grande cidade Honolulu, estando o resto do arquipelago em sintonia com a natureza, que inclui ondas gigantes para o surf, mares tropicais para o mergulho, e altas montanhas vulcânicas.

### 5.3 O surf na internet, nos livros e na universidade

#### **Por tu gal**

<http://www.ip.pt/surf>      <http://www.surftotal.com/>  
<http://www.infopraias.com/>    <http://www.beachcam.pt>  
<http://www.mar.com.pt/NM.htm>

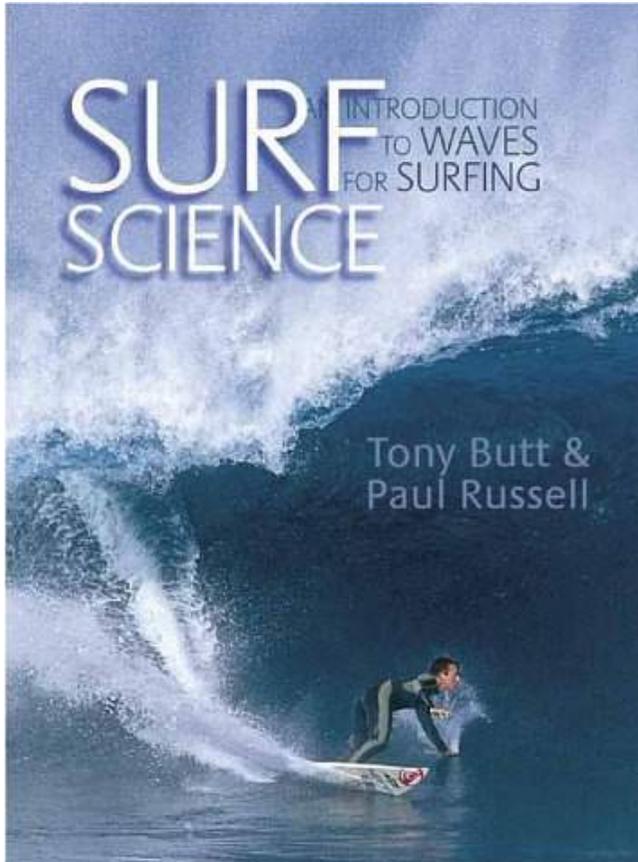
#### **Am bien te**

<http://www.surfrider.org/>  
<http://www.savethewaves.org/>

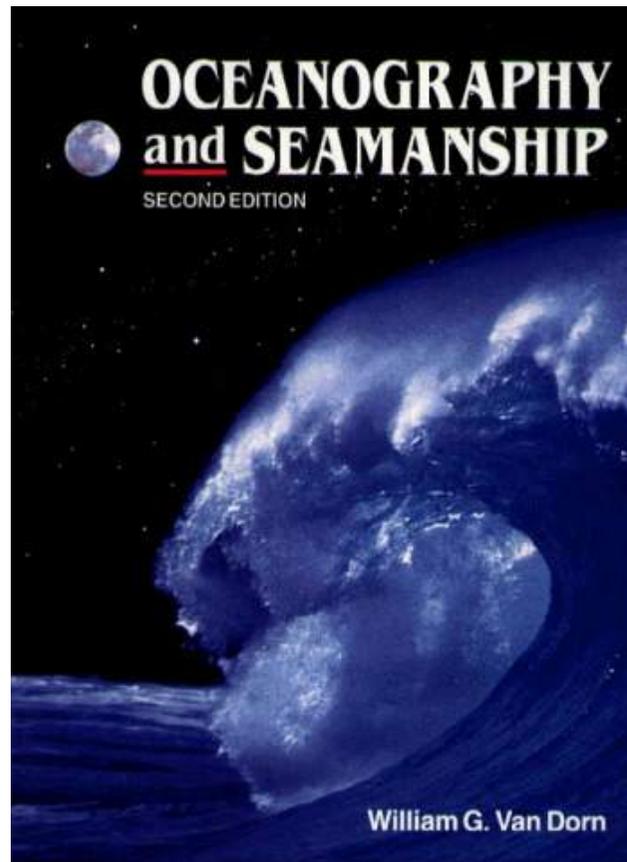
<http://www.stormsurf.com/>  
<http://www.towsurfer.com/>  
<http://www.foamez.com/>

#### **Oce ano grafia**

<https://www.fnmoc.navy.mil/>  
<http://www.noaa.org/>  
<http://www.scripps.edu/>  
<http://southport.jpl.nasa.gov/>  
<http://www.ecmwf.int/>



Pedro Bicudo



A Física do Surf

