

GERAÇÃO E PREVISÃO DE ONDAS

FÍSICA DA GERAÇÃO DE ONDAS

EXISTEM 3 CONCEITOS BÁSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DAS ONDAS

VELOCIDADE DO VENTO

DURAÇÃO (TEMPO)

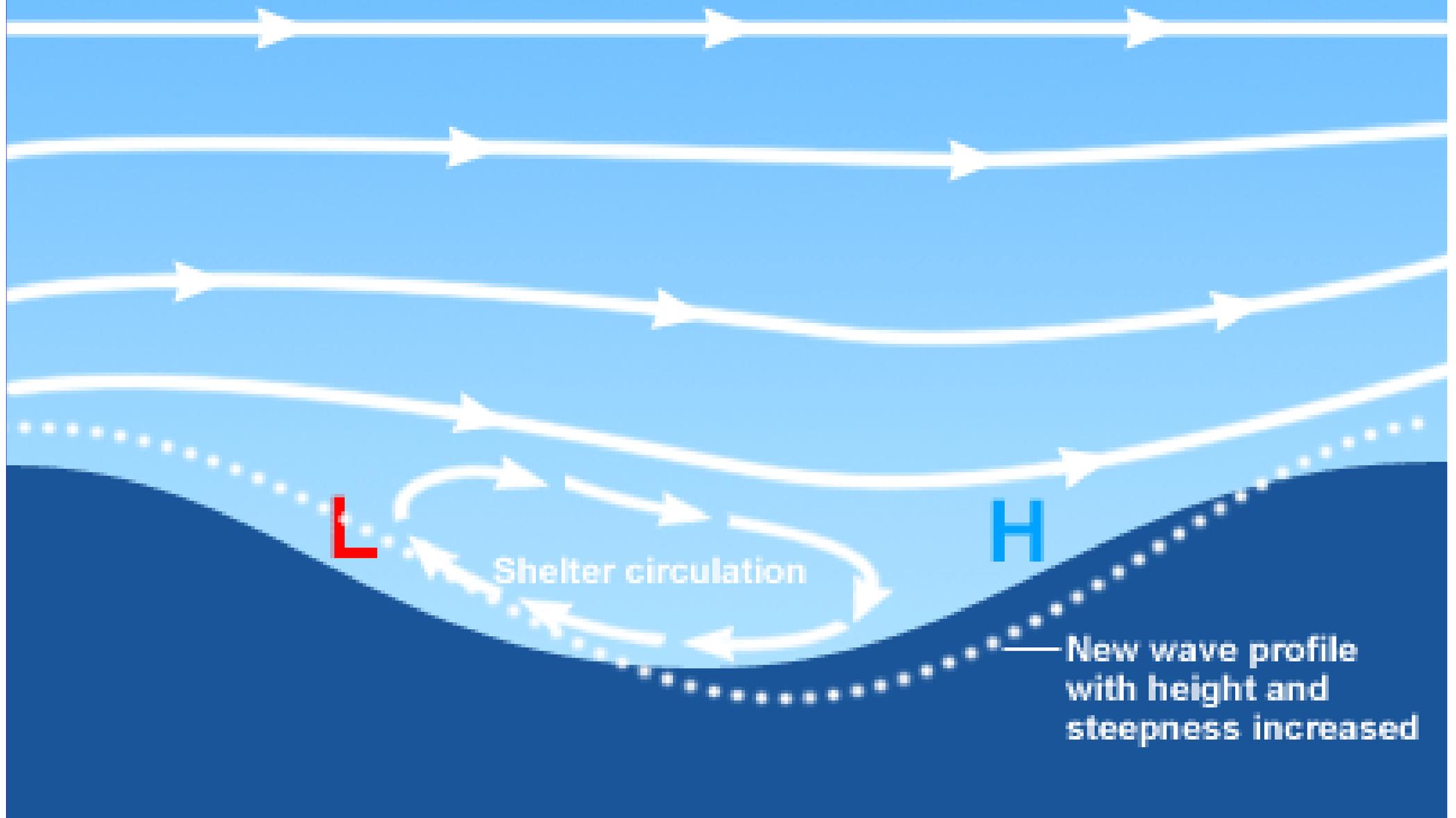
PISTA DE VENTO

VELOCIDADE DO VENTO

GERAÇÃO DAS ONDAS

ONDA CAPILAR ($L < 1,7\text{CM}$) — O PROCESSO DE COMO O VENTO PERTURBA A SUP. DA ÁGUA AINDA NÃO FOI TOTALMENTE DESCRITO.

Wave Sheltering Effect



VELOCIDADE DO VENTO

GERAÇÃO DAS ONDAS

ONDA CAPILAR ($L < 1,7\text{CM}$) → O PROCESSO DE COMO O VENTO PERTURBA A SUP. DA ÁGUA AINDA NÃO FOI TOTALMENTE DESCRITO.

RESSONÂNCIA DE PHILIPS → CRESCIMENTO LINEAR DE PEQUENAS ONDAS (VÁLIDO SOMENTE NOS ESTÁGIOS INICIAIS).

INSTABILIDADE DO FLUXO DE CISALHAMENTO → INTERAÇÃO COM FLUXO DE AR ACIMA

TEORIA DE MILES → DESENVOLVIMENTO EXPONENCIAL DA ORDEM DA RAZÃO ENTRE AS DENSIDADES DO AR E DA ÁGUA E PROPORCIONAL AO EXPECTRO DE ONDAS

$$S_{in}(f, \theta) = \frac{\rho_{ar}}{\rho_a} \beta \omega \left(\frac{U}{C} \cos \theta \right)^n F(f, \theta)$$

LIMITAÇÃO PELA VELOCIDADE DO VENTO

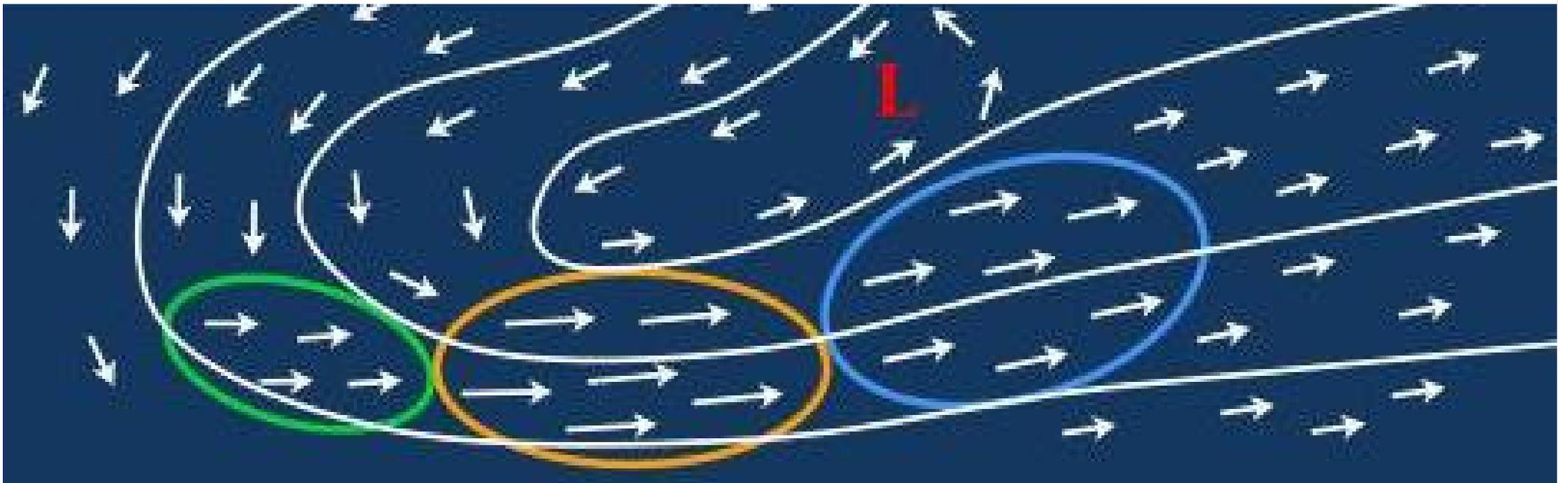
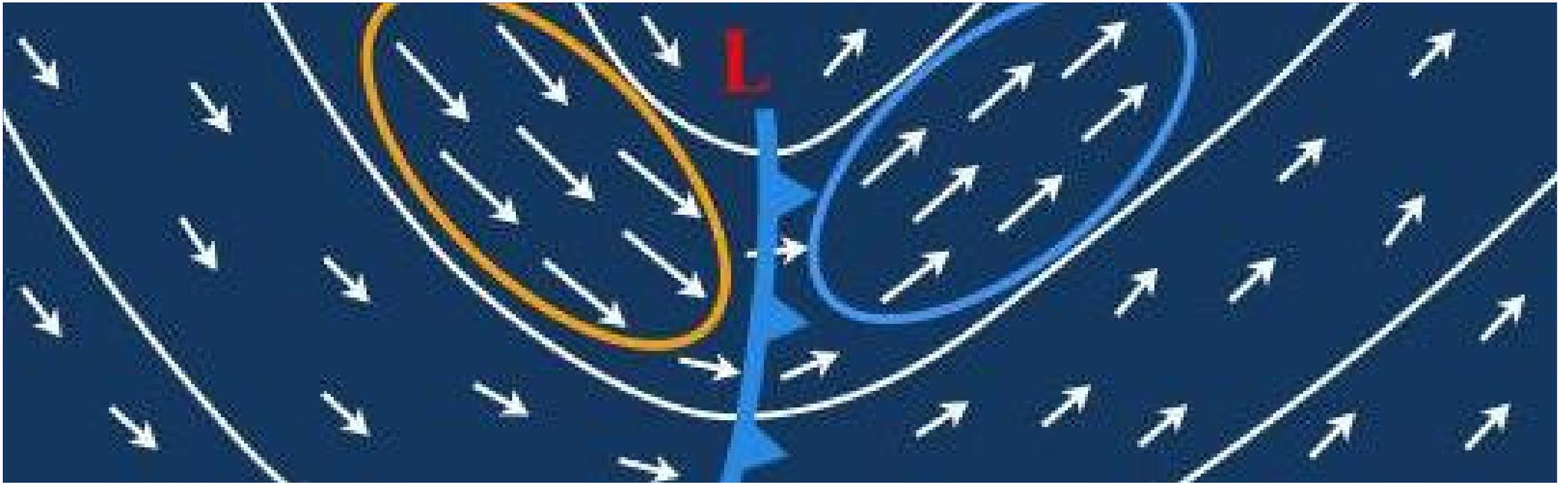
QUANDO A VELOCIDADE DO VENTO É MENOR OU IGUAL A VELOCIDADE DE FASE DAS ONDAS O CRESCIMENTO É INTERROMPIDO.

SE O VENTO FOR CONTRÁRIO AO SENTIDO DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS O “CRESCIMENTO” CHEGA A SER NEGATIVO.

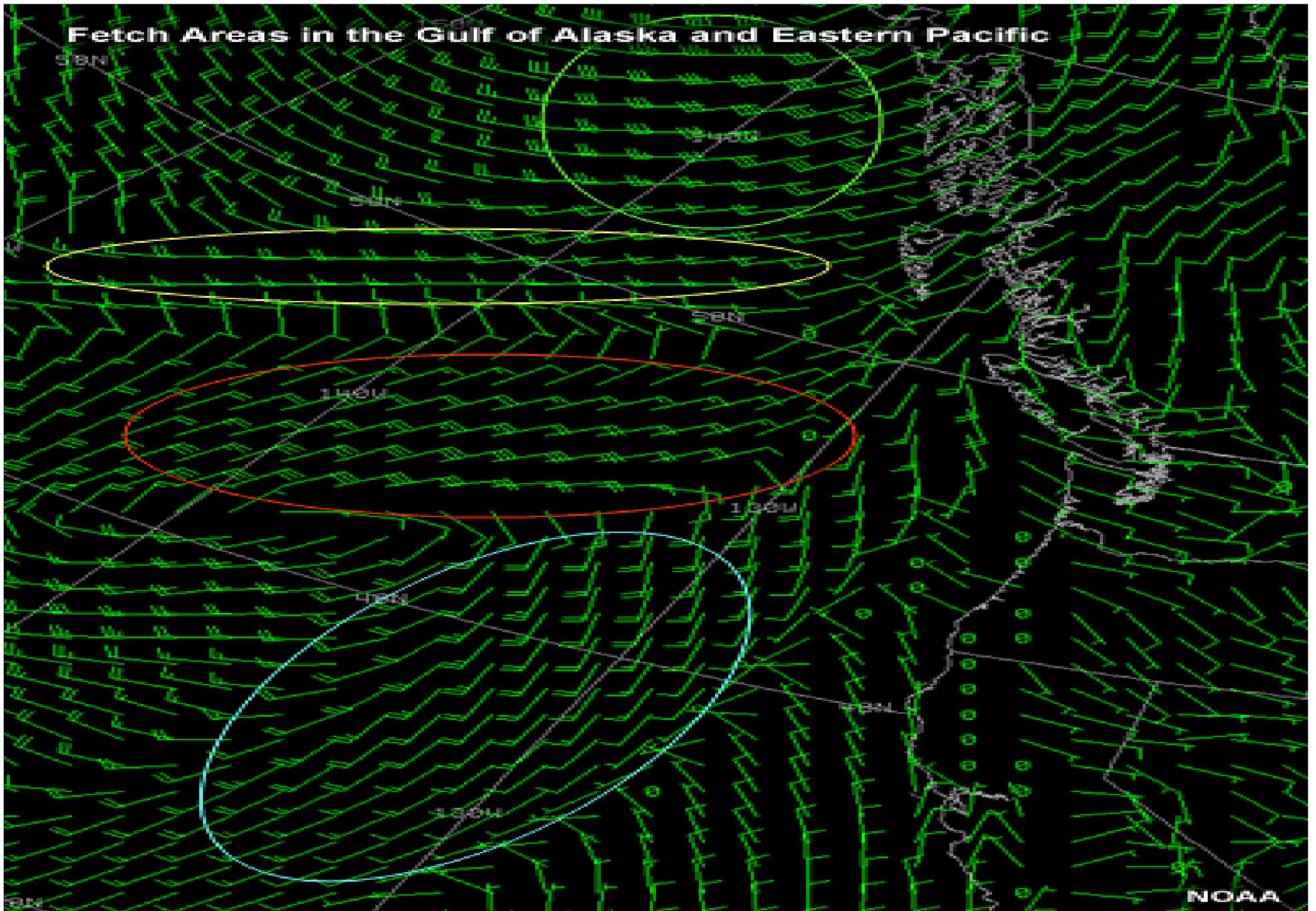
PISTA DE VENTO

DEFINIÇÃO: PISTA DE VENTO É A DISTÂNCIA NA QUAL O VENTO POSSUI VELOCIDADE E DIREÇÃO CONSTANTES.

O ENTENDIMENTO DE COMO A REGIÃO DA PISTA ESTÁ MUDANDO OU QUANTAS REGIÕES DIFERENTES DE PISTAS EXISTEM PODE AJUDAR AO PREVISOR SE OS MODELOS NUMÉRICOS ESTÃO CORRETOS EM SUAS PREVISÕES E ANÁLISES.



Fetch Areas in the Gulf of Alaska and Eastern Pacific



PISTA DE VENTO

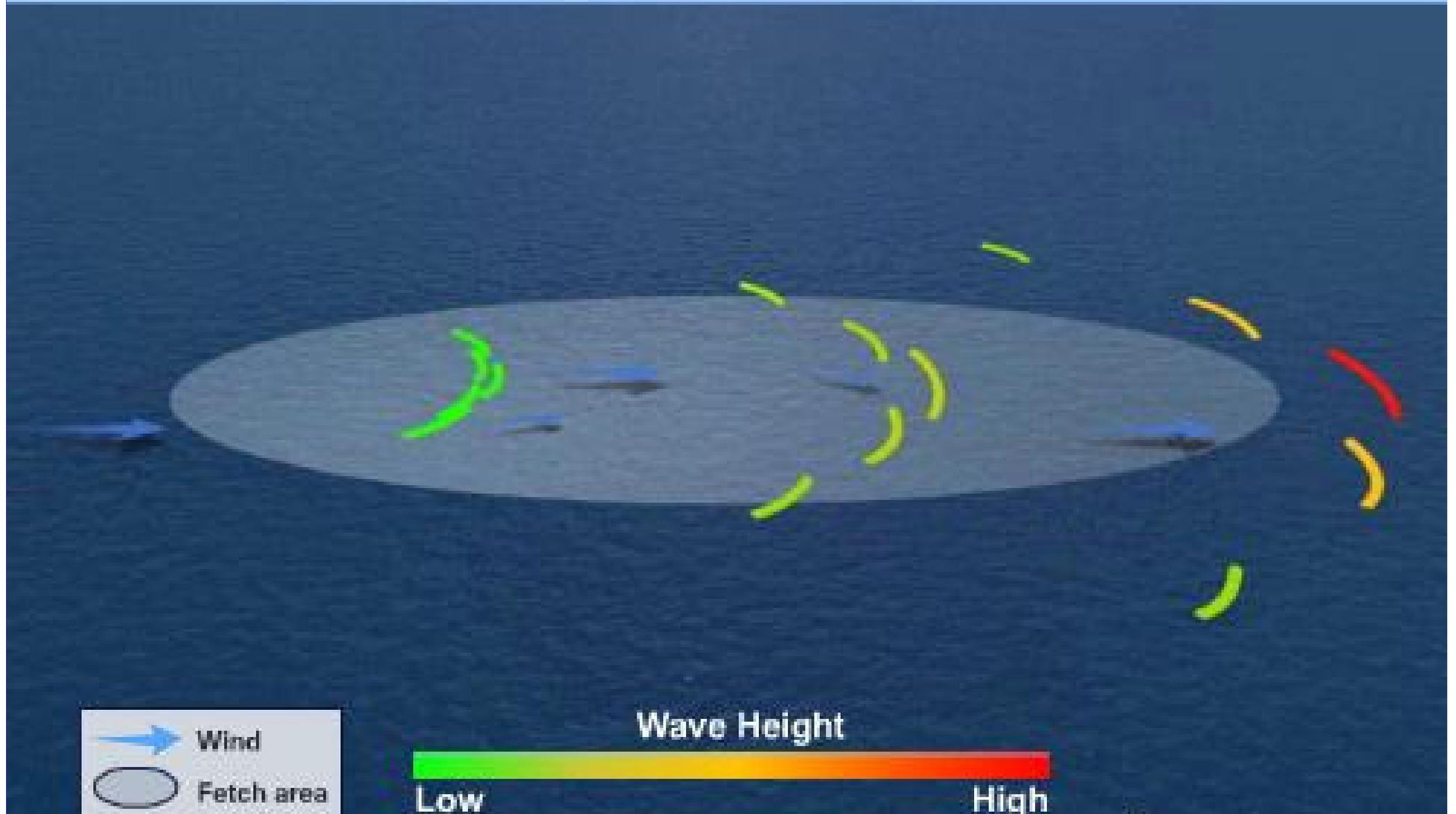
DEFINIÇÃO: PISTA DE VENTO É A DISTÂNCIA NA QUAL O VENTO POSSUI VELOCIDADE E DIREÇÃO CONSTANTES.

O ENTENDIMENTO DE COMO A REGIÃO DA PISTA ESTÁ MUDANDO OU QUANTAS REGIÕES DIFERENTES DE PISTAS EXISTEM PODE AJUDAR AO PREVISOR SE OS MODELOS NUMÉRICOS ESTÃO CORRETOS EM SUAS PREVISÕES E ANÁLISES.

O DESENVOLVIMENTO DAS ONDAS TAMBÉM PODE SER LIMITADO PELO TAMANHO DA DA REGIÃO DA PISTA (LIMITAÇÃO POR PISTA**)**

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PISTA

Wave Growth Within a Fetch



PISTA DE VENTO

DEFINIÇÃO: PISTA DE VENTO É A DISTÂNCIA NA QUAL O VENTO POSSUI VELOCIDADE E DIREÇÃO CONSTANTES.

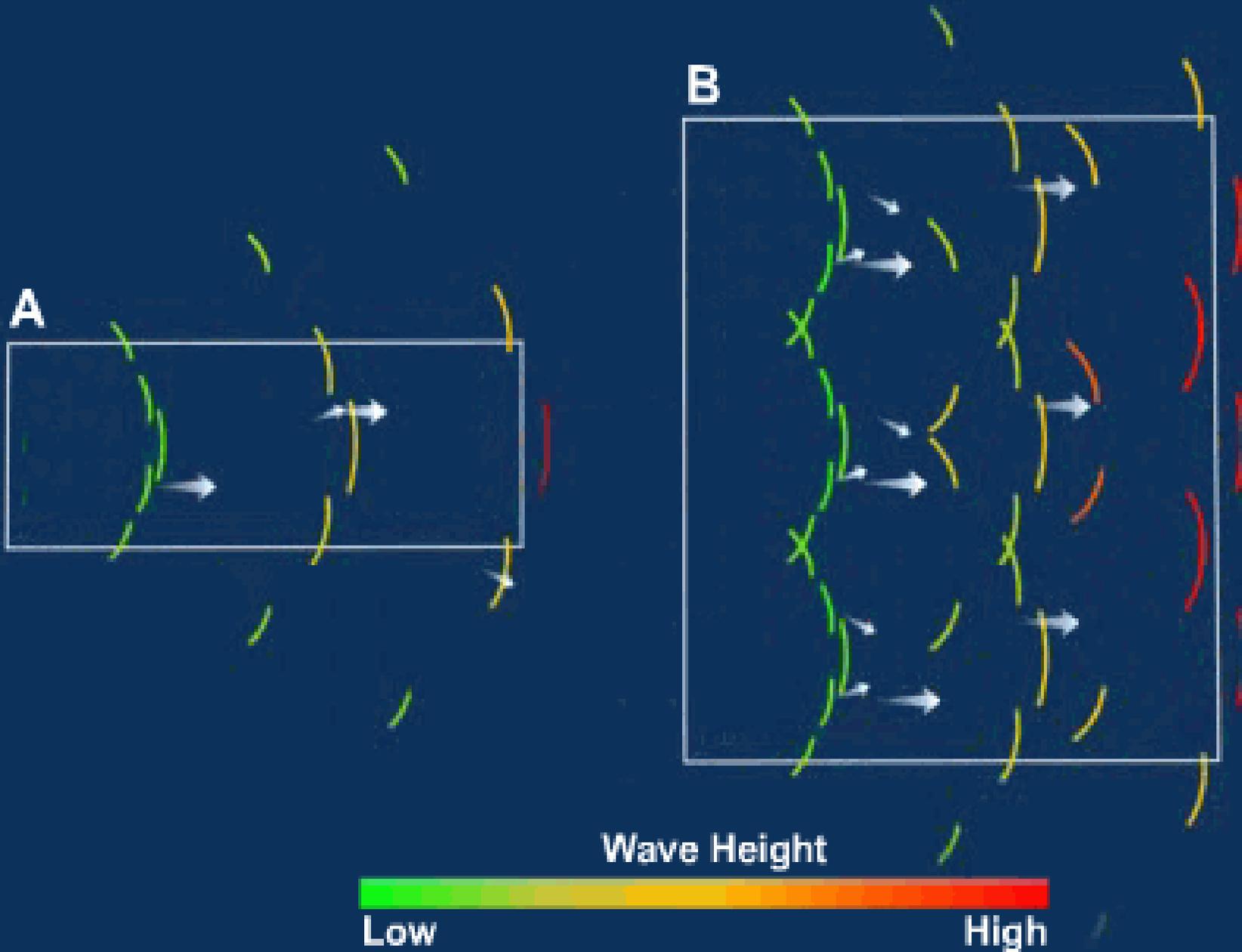
O ENTENDIMENTO DE COMO A REGIÃO DA PISTA ESTÁ MUDANDO OU QUANTAS REGIÕES DIFERENTES DE PISTAS EXISTEM PODE AJUDAR AO PREVISOR SE OS MODELOS NUMÉRICOS ESTÃO CORRETOS EM SUAS PREVISÕES E ANÁLISES.

O DESENVOLVIMENTO DAS ONDAS TAMBÉM PODE SER LIMITADO PELO TAMANHO DA DA REGIÃO DA PISTA (LIMITAÇÃO POR PISTA**)**

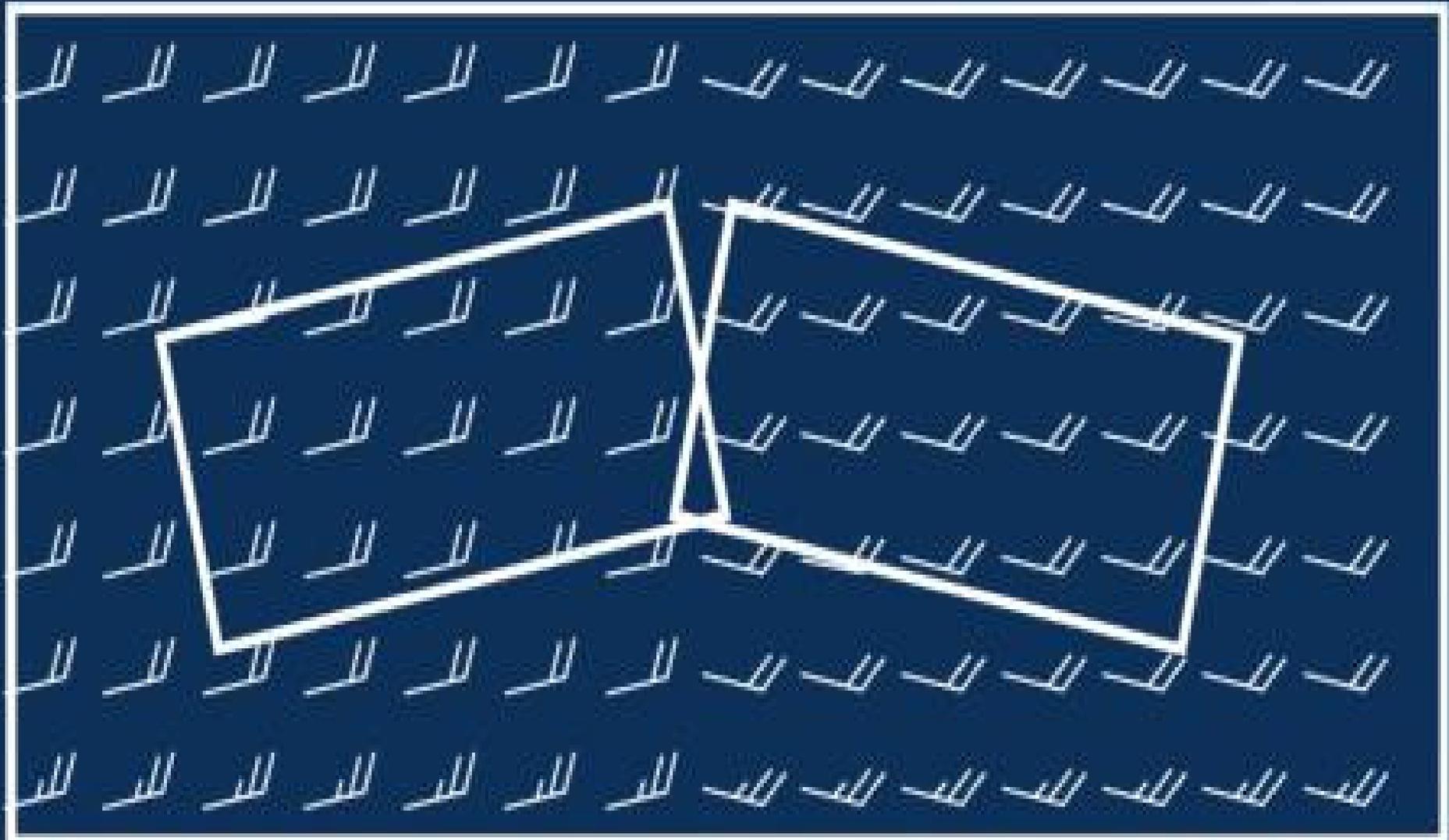
INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PISTA

INTERAÇÕES NÃO LINEARES: MECANISMO DE MAIS BAIXA ORDEM CAPAZ DE TRANSFERIR ENERGIA DA ALTA FREQUÊNCIA PARA FREQUÊNCIAS MENORES

Energy Loss: Small vs. Large Fetch Areas



Large vs. Small Fetch Dimensions



PISTA DE VENTO

DEFINIÇÃO: PISTA DE VENTO É A DISTÂNCIA NA QUAL O VENTO POSSUI VELOCIDADE E DIREÇÃO CONSTANTES.

O ENTENDIMENTO DE COMO A REGIÃO DA PISTA ESTÁ MUDANDO OU QUANTAS REGIÕES DIFERENTES DE PISTAS EXISTEM PODE AJUDAR AO PREVISOR SE OS MODELOS NUMÉRICOS ESTÃO CORRETOS EM SUAS PREVISÕES E ANÁLISES.

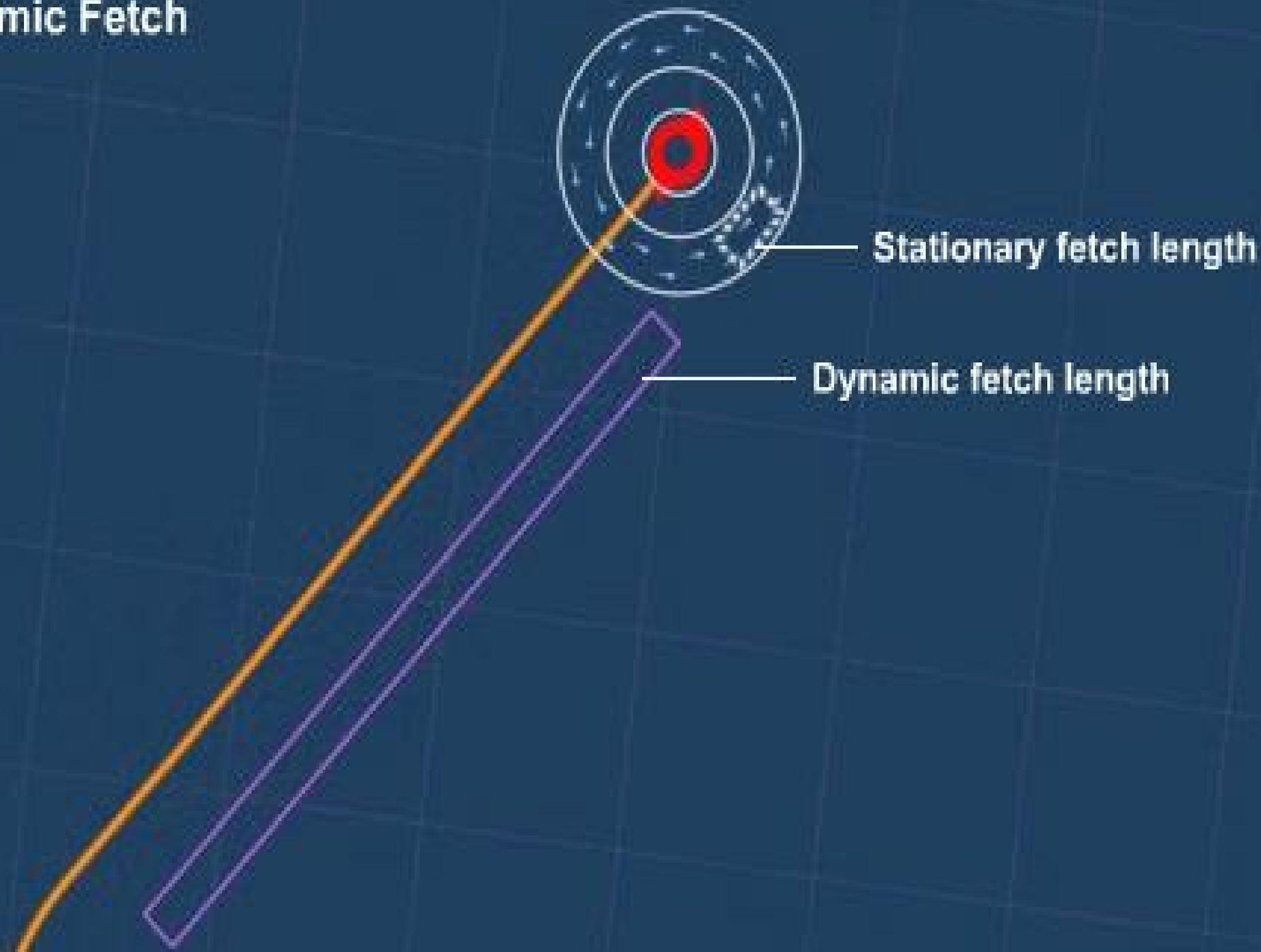
O DESENVOLVIMENTO DAS ONDAS TAMBÉM PODE SER LIMITADO PELO TAMANHO DA DA REGIÃO DA PISTA (LIMITAÇÃO POR PISTA**)**

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PISTA

INTERAÇÕES NÃO LINEARES: MECANISMO DE MAIS BAIXA ORDEM CAPAZ DE TRANSFERIR ENERGIA DA ALTA FREQUÊNCIA PARA FREQUÊNCIAS MENORES

PISTA DINÂMICA (ACÚMULO DE PISTA)

Dynamic Fetch



PISTA DE VENTO

DEFINIÇÃO: PISTA DE VENTO É A DISTÂNCIA NA QUAL O VENTO POSSUI VELOCIDADE E DIREÇÃO CONSTANTES.

O ENTENDIMENTO DE COMO A REGIÃO DA PISTA ESTÁ MUDANDO OU QUANTAS REGIÕES DIFERENTES DE PISTAS EXISTEM PODE AJUDAR AO PREVISOR SE OS MODELOS NUMÉRICOS ESTÃO CORRETOS EM SUAS PREVISÕES E ANÁLISES.

O DESENVOLVIMENTO DAS ONDAS TAMBÉM PODE SER LIMITADO PELO TAMANHO DA DA REGIÃO DA PISTA (LIMITAÇÃO POR PISTA**)**

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PISTA

INTERAÇÕES NÃO LINEARES: MECANISMO DE MAIS BAIXA ORDEM CAPAZ DE TRANSFERIR ENERGIA DA ALTA FREQUÊNCIA PARA FREQUÊNCIAS MENORES

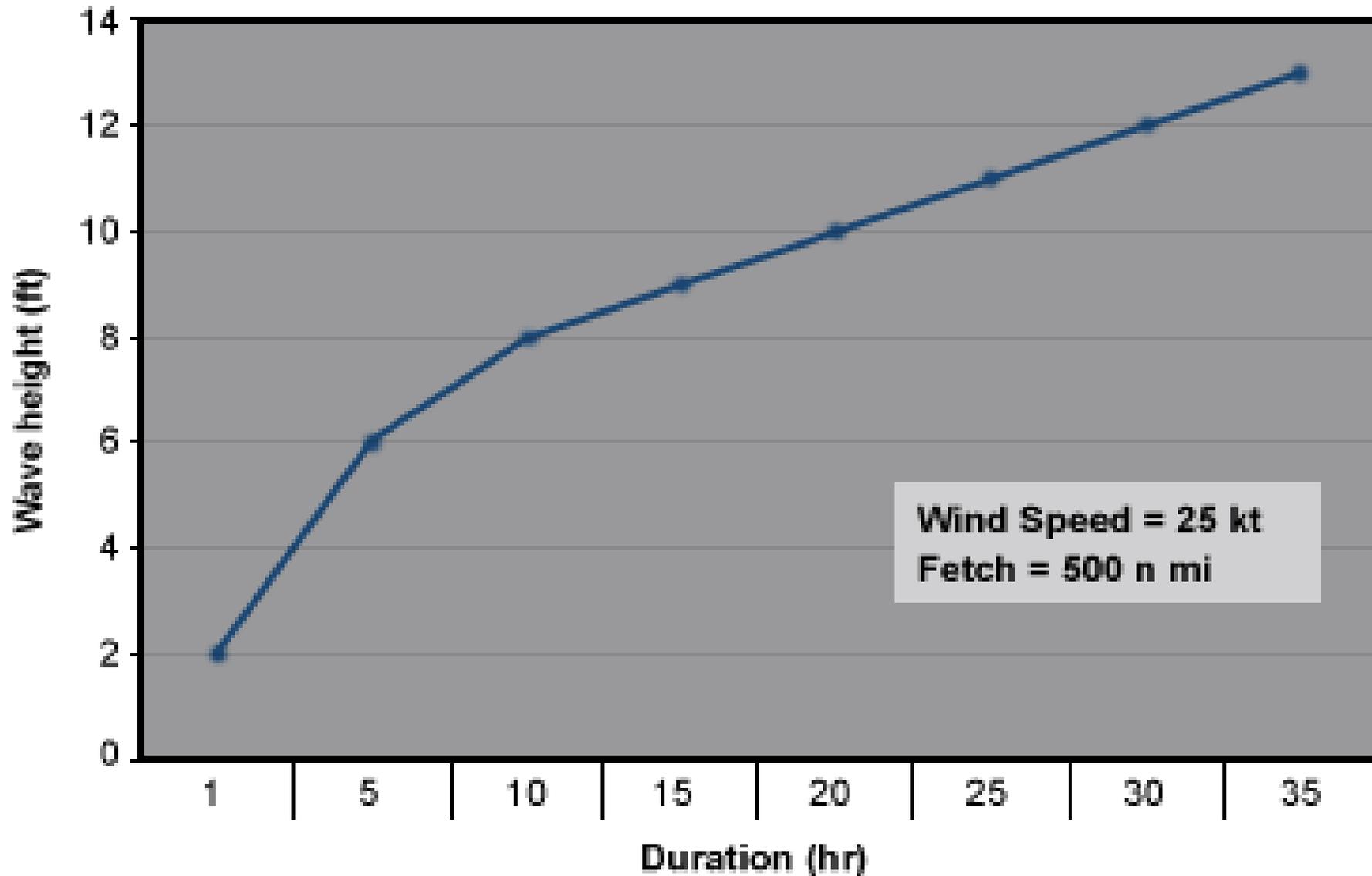
PISTA DINÂMICA (ACÚMULO DE PISTA)

[animação](#)

WHITECAPPING

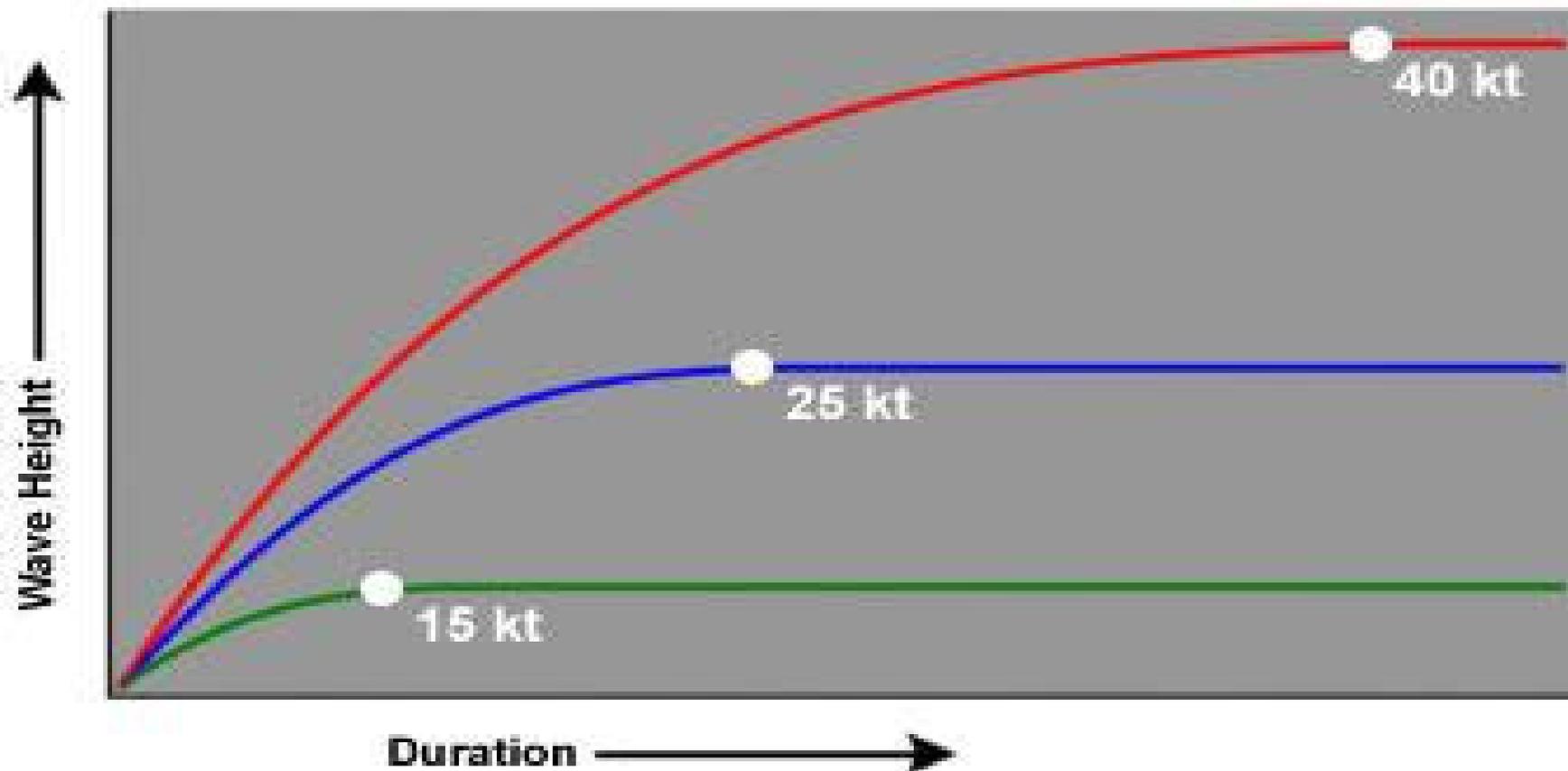
DURAÇÃO (TEMPO)

Wave Height Given Constant Wind Speed and Fetch



ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO COMPLETO

Fully Developed Seas Concept Given Various Wind Speeds and Unlimited Fetch and Duration



ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO COMPLETO

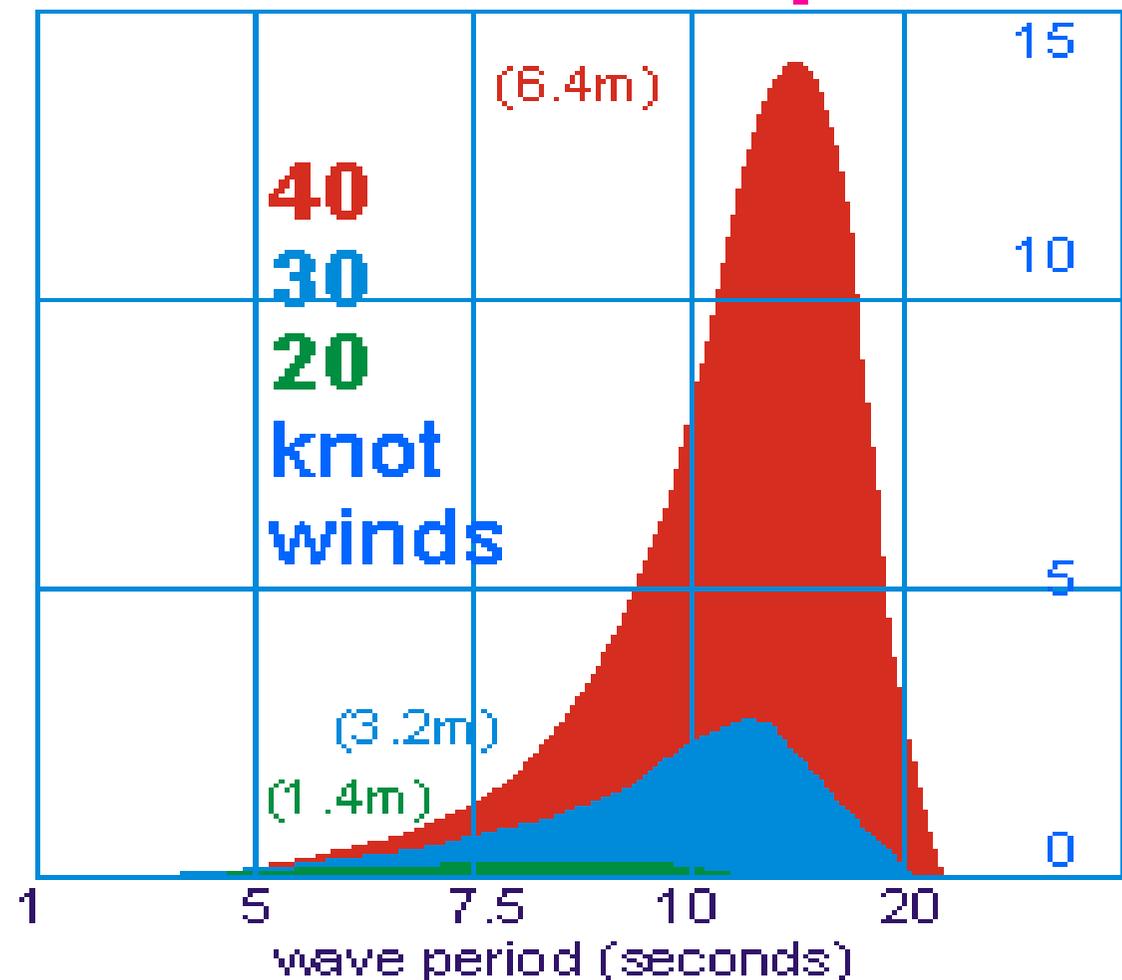
Fully Developed Sea

energy spectrum for various wind speeds

As the wind speed increases, the amount of energy transferred to the sea, increases very much more rapidly, proportional to the fourth power of wind speed.

The diagram shows energy spectra for winds of 20, 30, 40 knot. The area under each bell curve represents the total energy of the sea state.

Vertical scale is wave amplitude squared ($A \times A$) in m^2 . Average wave heights shown in brackets.



Adapted from Van Dorn, 1974.

MODELAGEM DE ONDAS

EM MODELAGEM DE ONDAS O OBJETIVO PRINCIPAL CONSISTE NO ENTENDIMENTO DE COMO A ENERGIA INTRODUZIDA PELO VENTO SE DISTRIBUI NAS FREQUÊNCIAS E DIREÇÕES DAS COMPONENTES DE ONDA

EQUAÇÃO DE CONSERVAÇÃO DA DENSIDADE ESPECTRAL DE ENERGIA

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{C}_g \cdot \nabla F = S_{tot}$$

$$F = F(f, \theta; x, y, t)$$

VETOR VELOCIDADE DE GRUPO

TERMO FONTE

- ARISTÓTELES, PLÍNIO O ANCIÃO, LEONARDO DA VINCI E BENJAMIN FRANKLIN
- SECULO XIX, TEORISTA DA MEC. FLU. MODERNA (AIRY, STOKES E RAYLEIGH)
- ATÉ O INÍCIO DA DECADA DE 40, ESTADO DO MAR DADO PELA ESCALA BEAUFORT.

ESCALA BEAUFORT RELACIONA INTENSIDADE DO VENTO COM A FORÇA DO MAR

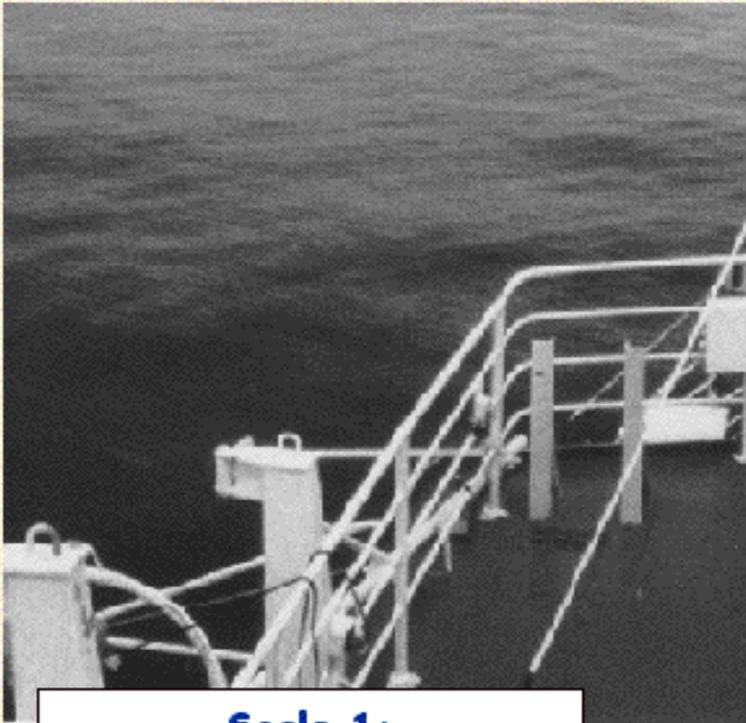
$$U = 1,87 \cdot B^{3/2}$$

INTENSIDADE DO VENTO (NÓS)

FATOR BEAUFORT

Wind Scales:

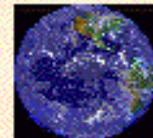
- Beaufort (0-12), Sea State Code (0-9)



Scale 1:
wind speed: 1-3 knots
wave height: 10cm
ripples



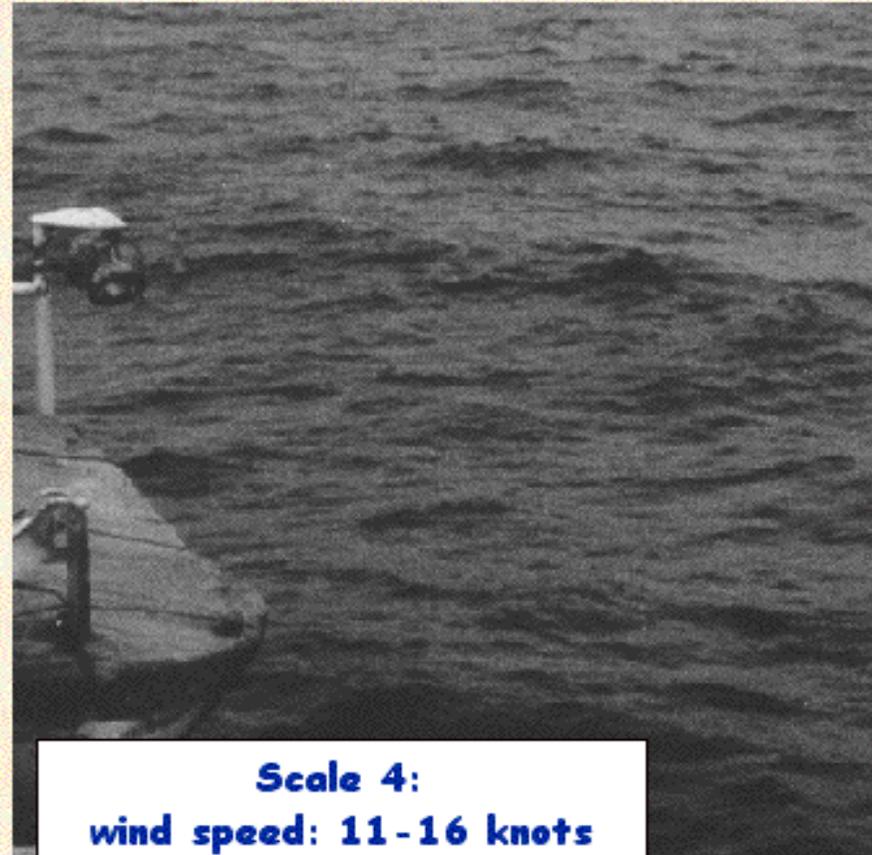
Scale 2:
wind speed: 4-6 knots
wave height: 20-30 cm
wavelets



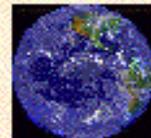
Wind Scales:



Scale 3:
wind speed: 7-10 knots
wave height: 60-100cm
large wavelets



Scale 4:
wind speed: 11-16 knots
wave height: 1-1.5m
small waves



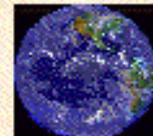
Wind Scales:



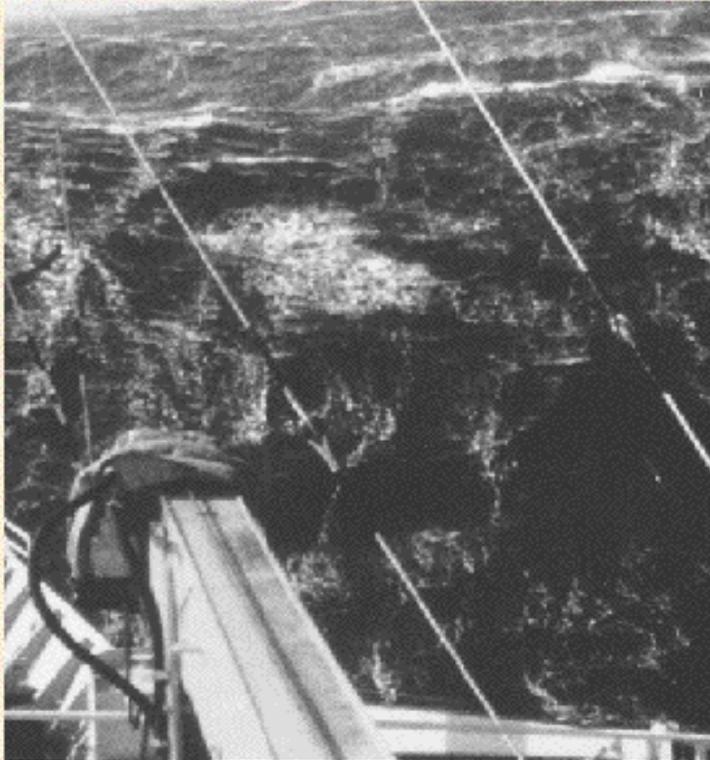
Scale 7:
wind speed: 28-33 knots
wave height: 4-5.5m
large waves, spray



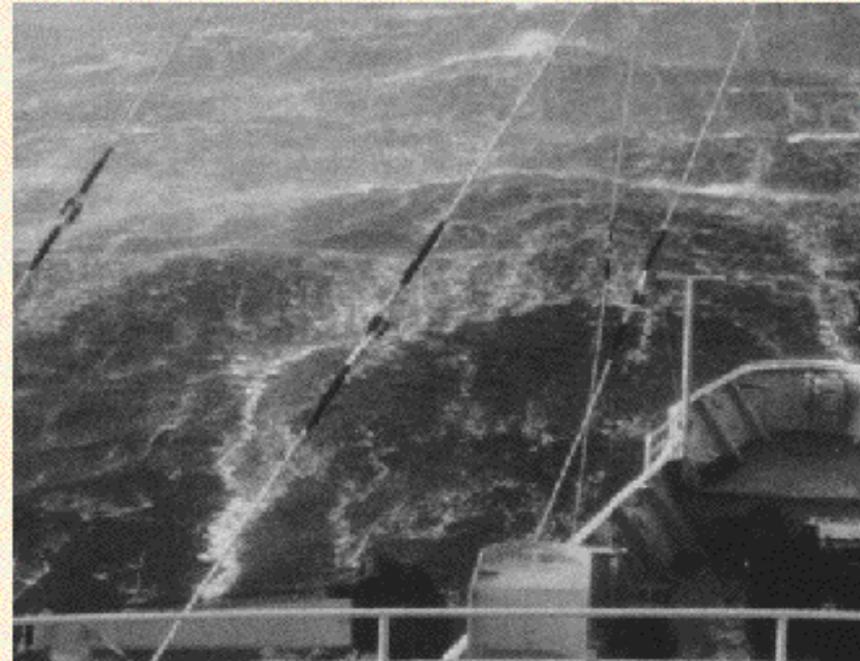
Scale 8:
wind speed: 34-40 knots
wave height: 5.5-7.5m
moderately high waves



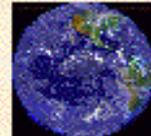
Wind Scales:



Scale 9:
wind speed: 41-47 knots
wave height: 7-10m
high waves

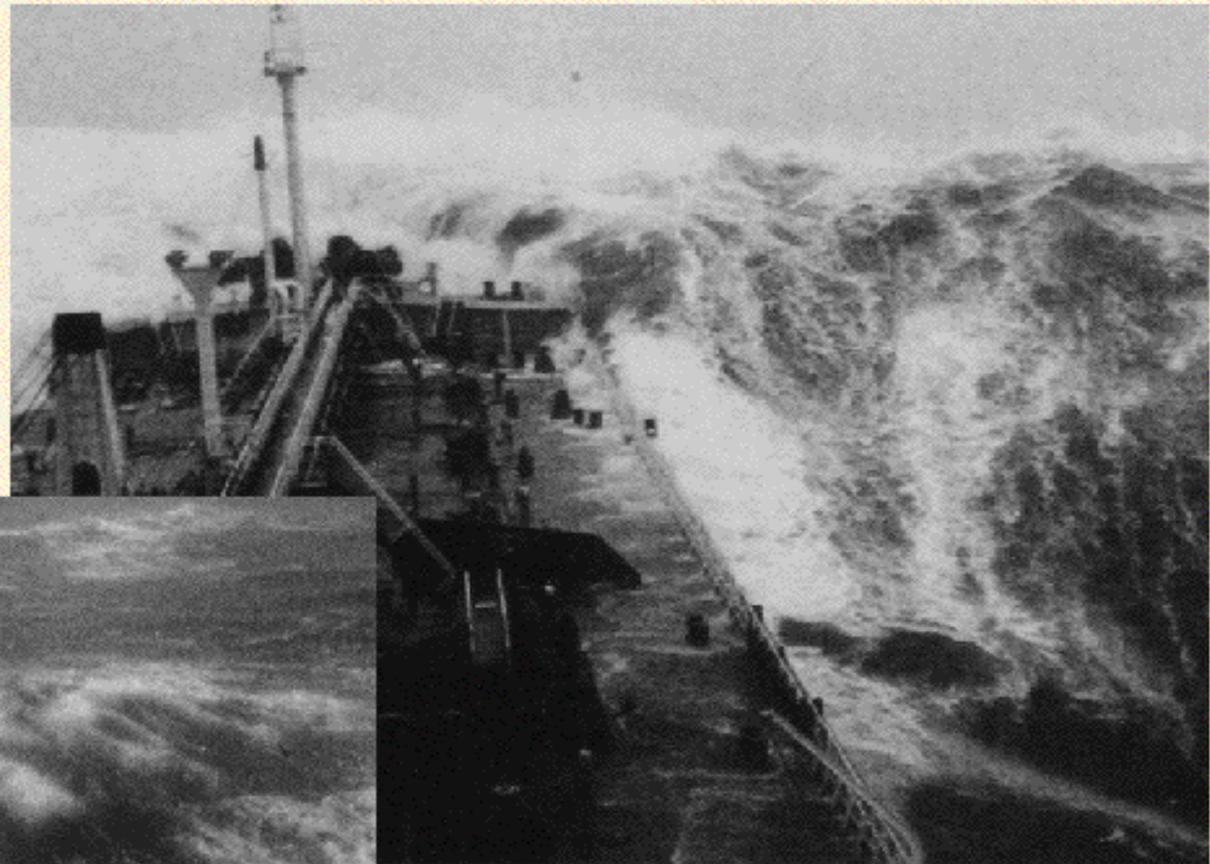


Scale 10:
wind speed: 48-55 knots
wave height: 9-12.5m
very high waves

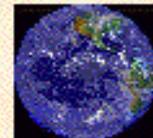


Wind Scales:

Scale 11:
wind speed: 56-63 knots
wave height: 11.5-16m
huge waves



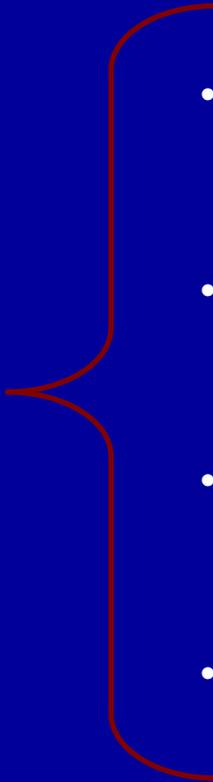
Scale 12:
wind speed: >64knots
wave height: >15m
giant waves



- ARISTÓTELES, PLÍNIO O ANCIÃO, LEONARDO DA VINCI E BENJAMIN FRANKLIN
- SECULO XIX, TEORISTA DA MEC. FLU. MODERNA (AIRY, STOKES E RAYLEIGH)
- ATÉ O INÍCIO DA DÉCADA DE 40, ESTADO DO MAR DADO PELA ESCALA BEAUFORT.
- DURANTE A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL. SVERDRUP E MUNK (1947) DESENVOLVEM MODELO PARAMÉTRICO DE DESCRIÇÃO DO ESTADO DO MAR UTILIZANDO LEIS EMPÍRICAS SOBRE *WIND SEA* E *SWELL*.
- PIERSON INTRODUZ O CONCEITO DE ESPECTRO DE ONDA EM 1955.
- GELCI EM 1956 E 1957 INTRODUZIU O CONCEITO DA EQUAÇÃO DE TRANSPORTE ESPECTRAL.
- DESDE ESSA ÉPOCA O AVANÇO DOS COMPUTADORES PERMITIU O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DE DIVERSOS MODELOS DE ONDAS.

DESCRIÇÃO DE MODELOS DE ONDA

BASICAMENTE EXISTEM 4 DOMÍNIOS FÍSICOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ONDAS SUPERFICIAIS DE GRAVIDADE GERADAS POR VENTO



- OCEANO PROFUNDO

- MARES COSTEIROS

- ZONA DE EMPINAMENTO

- ESTRUTURAS

Tabela 2.1: Importância relativa dos processos físicos envolvidos em cada tipo de domínio, \otimes - desprezível; \circ - pouca importância; \cdot - significante; \bullet - dominante. Segundo Young (1999).

Proc. Físico	Oceano Prof.	Mares Cost.	Zona de Empin.	Estruturas
Difração	\otimes	\otimes	\circ	\bullet
Refração/empinamento	\otimes	\cdot	\bullet	\cdot
Refração por corrente	\otimes	\circ	\cdot	\otimes
Interações quad	\bullet	\bullet	\circ	\otimes
Interações triad	\otimes	\circ	\cdot	\circ
Entrada pelo vento	\bullet	\bullet	\circ	\otimes
<i>White-capping</i>	\bullet	\bullet	\circ	\otimes
Quebra por profundidade	\otimes	\circ	\bullet	\otimes
Fricção com fundo	\otimes	\bullet	\cdot	\otimes

DESCRIÇÃO DE MODELOS DE ONDA

BASICAMENTE EXISTEM 4 DOMÍNIOS FÍSICOS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ONDAS SUPERFICIAIS DE GRAVIDADE GERADAS POR VENTO

•MODELOS DE FASE X MODELOS ESPECTRAIS

•REPRESENTAÇÃO DOS TERMOS FONTE EM MODELOS ESPECTRAIS

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds}$$

ENTRADA DE ENERGIA PELO VENTO

INTERAÇÕES NÃO LINEARES ONDA-ONDA

DISSIPACÃO (WHITECAPPING)

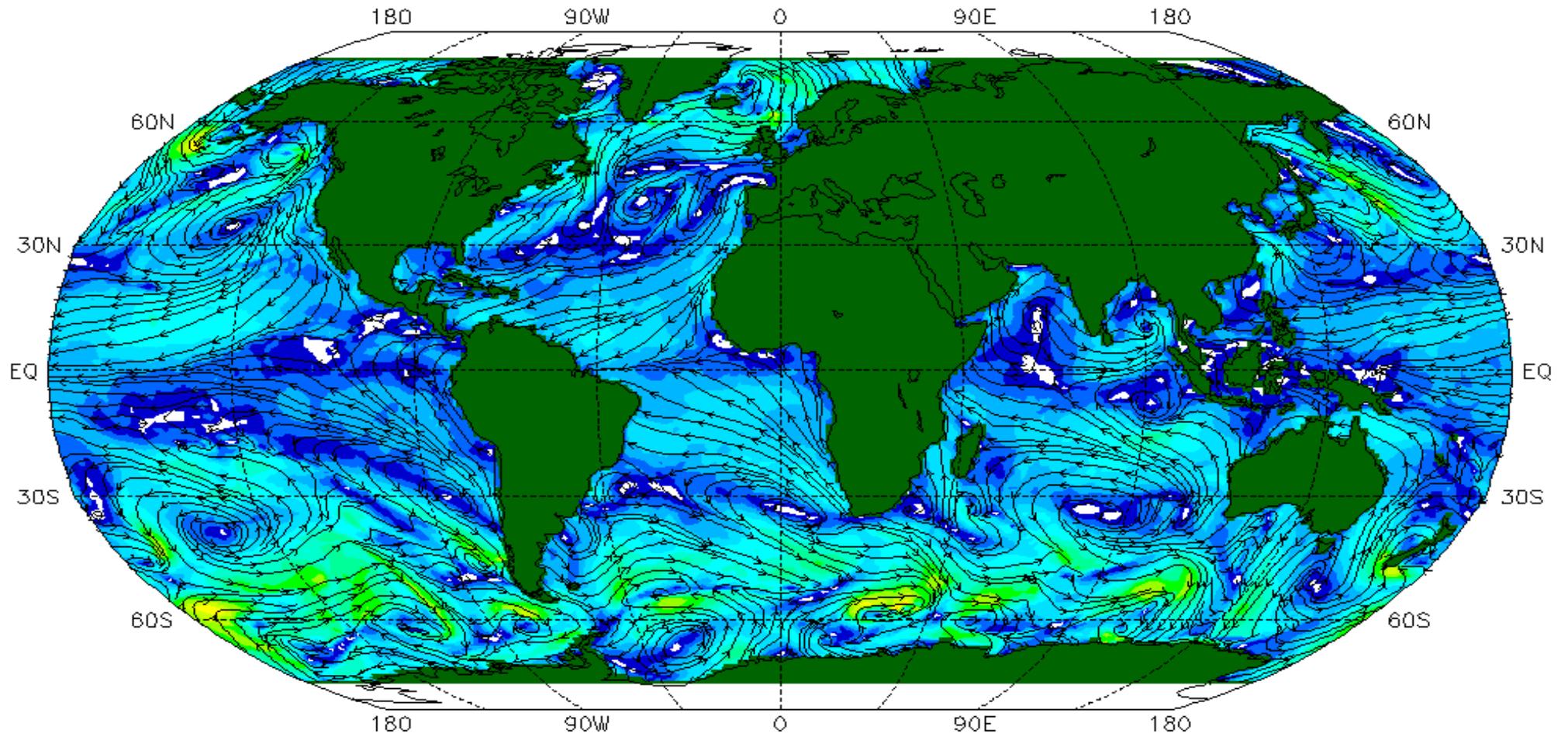
CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS ESPECTRAIS

Tabela 2.2: Classes de modelos com base na resolução do termo fonte segundo Young (1999).

	S_{in}	S_{nl}	S_{ds}
Primeira Geração	<ul style="list-style-type: none"> •Baseado em medidas da taxa de desenvolvimento. •Grande em magnitude. 		<ul style="list-style-type: none"> •Limite de saturação
Segunda Geração	<ul style="list-style-type: none"> •Baseado em medidas de fluxo. •Menor que o de 1^a geração. 	<ul style="list-style-type: none"> •Forma paramétrica. •Flexibilidade limitada. 	<ul style="list-style-type: none"> •Limite de saturação igual ao de 1^a geração.
Terceira Geração	<ul style="list-style-type: none"> •Baseado em medidas de fluxo. •Estresse acoplado ao estado do mar. 	<ul style="list-style-type: none"> •Forma aproximada da integral de Boltzman. 	<ul style="list-style-type: none"> •Forma explícita.

PREVISÃO DE ONDAS

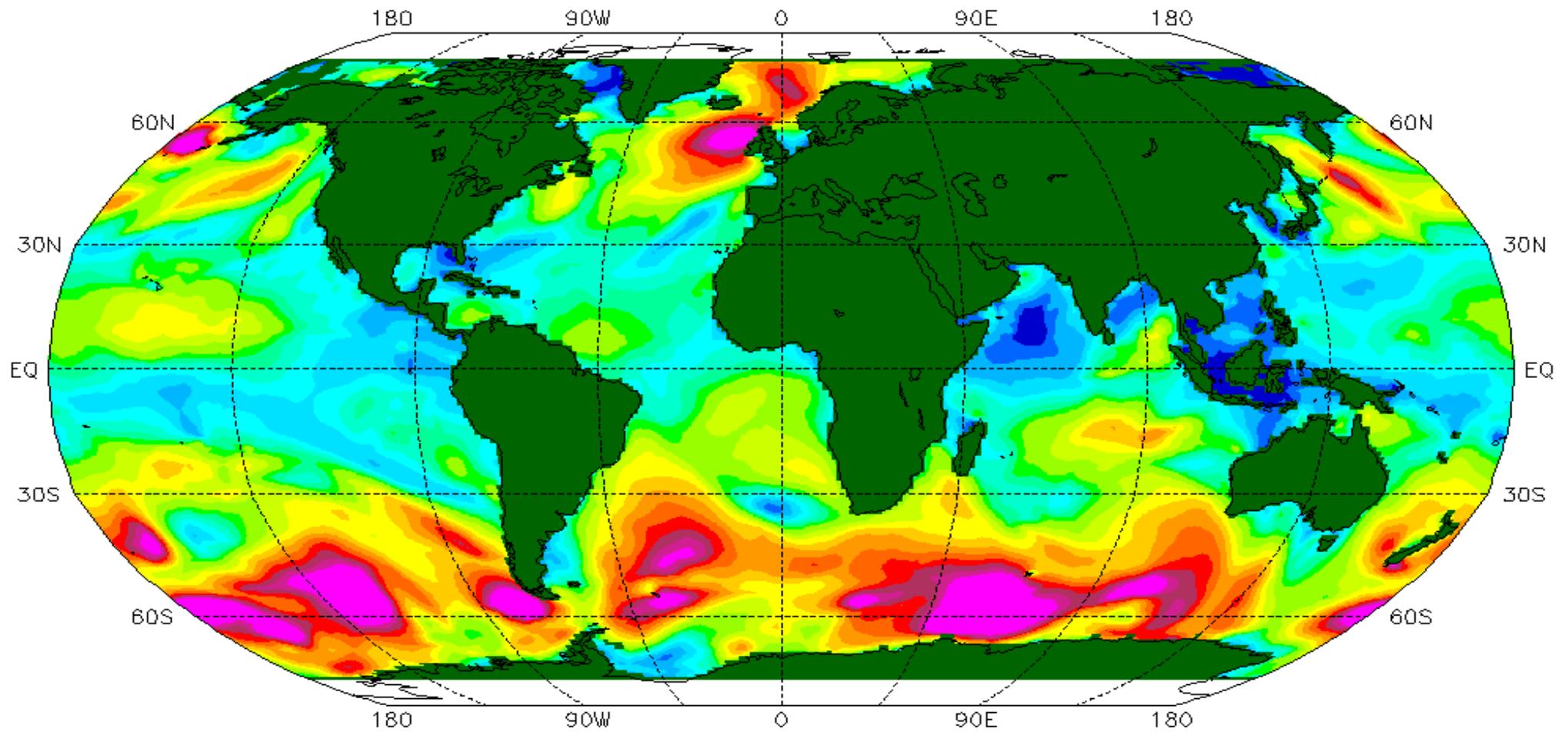
Vento a 10 m [m/s] – 2006/04/26 00z



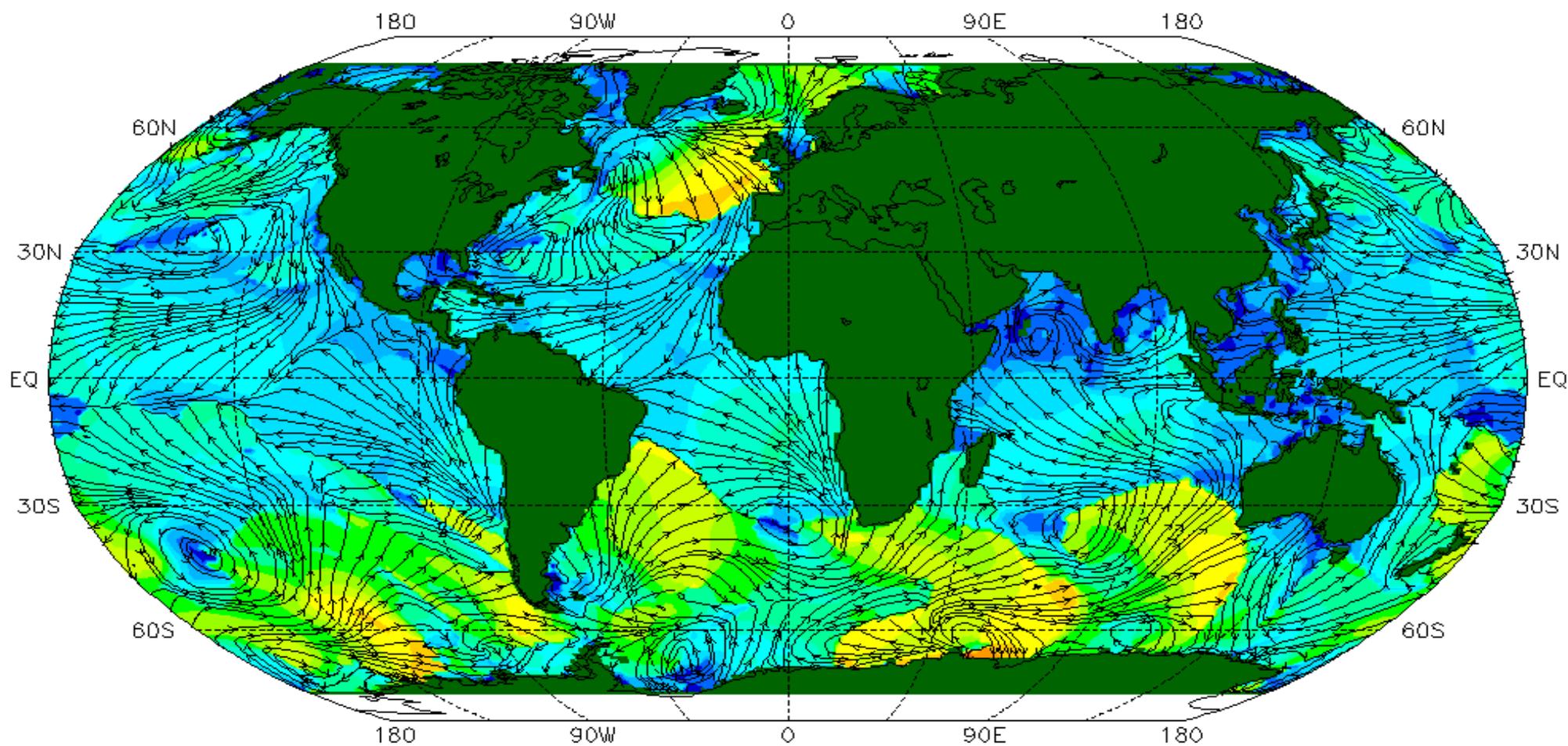
WAVEWATCH III – MASTER/DCA/IAG/USP

Modelo Global 1.25x1

Altura Significativa [m] - 2006/04/26 00Z

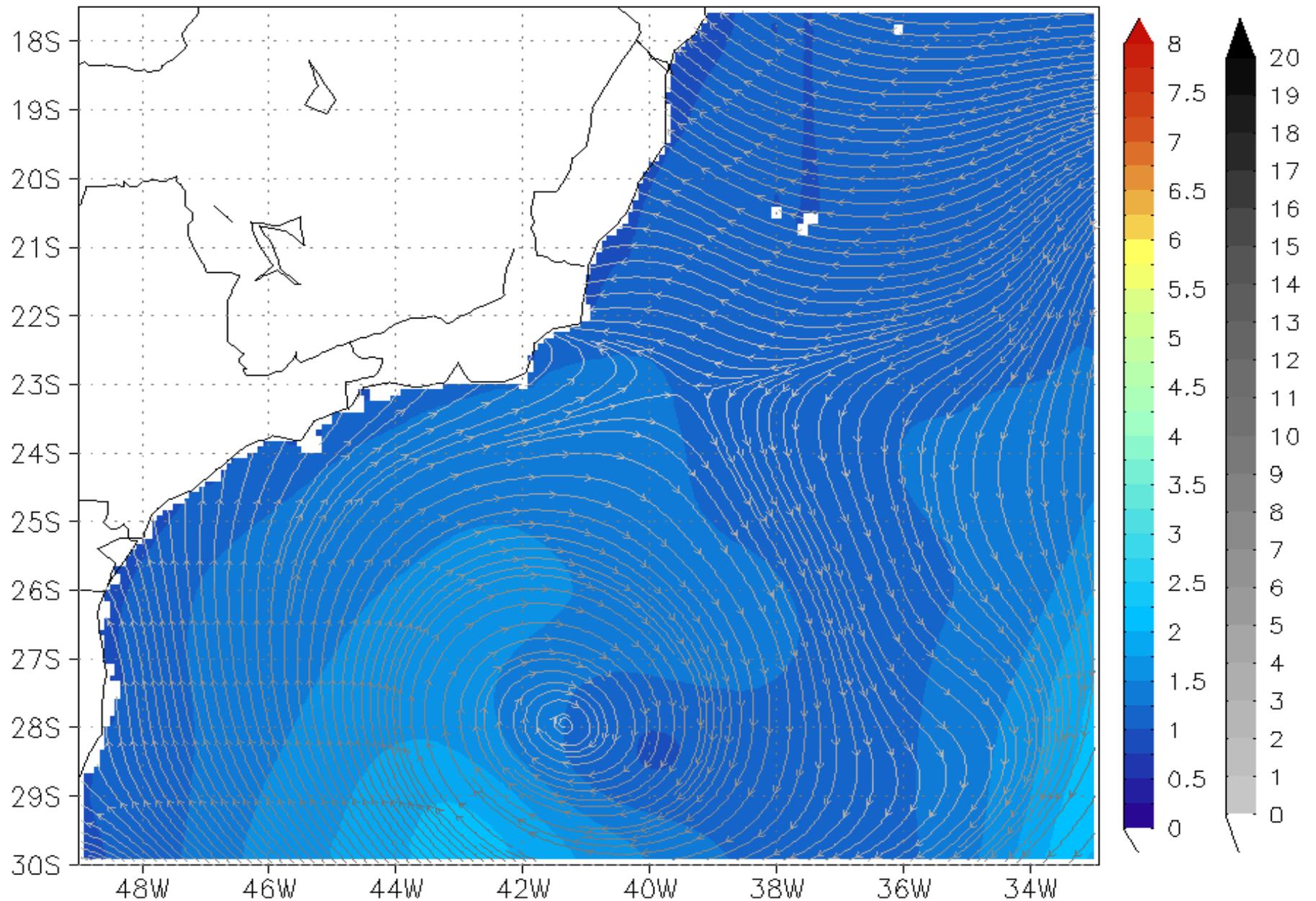


Periodo [s] e Direcao de Pico – 2006/04/26 00z

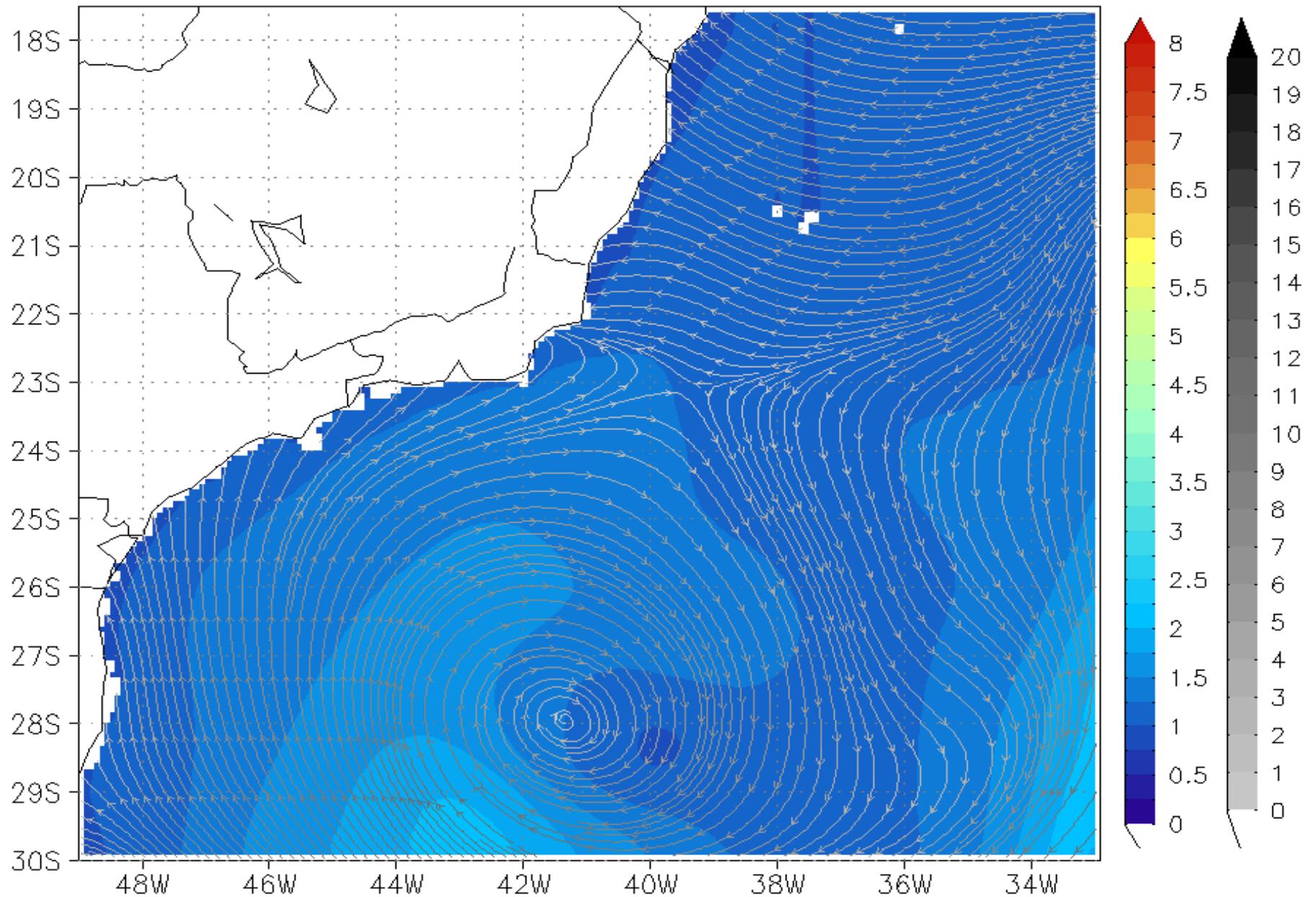


ESTUDO DE CASOS

Altura Significativa e Ventos a 10m – 2004/03/26 00z



Altura Significativa e Ventos a 10m – 2004/03/26 00z



CLIMATOLOGIA DE SWELL

REFERÊNCIAS BÁSICAS

Dean, R. G. e R. A. Dalrymple, 1990: *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, United States of America, 353pp.

Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, e P. A. E. M. Janssen, 1994: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 532pp.

Le Blond, P. H. e L. A. Mysak, 1978: *Waves in the Ocean*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands, 602pp.

Pedlosky, J., 1986: *Geophysical fluids dynamics*. Springer-Verlag New York Inc, New York, United States of America, 2nd ed. edition, 710pp.

WMO, 1989: *Guide to Wave Analysis and Forecasting*. World Meteorological Organization, Genève, Suisse, 2nd ed. edition, WMO-No.702.

Young, I. R., 1999: *Wind Generated Ocean Waves*. Elsevier Science Ltd., Amsterdam, Netherlands, 288pp.

CONTATO: FABRÍCIO V. BRANCO

fabricao@master.iag.usp.br

www.master.iag.usp.br