



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

PORTUGAL  
INSTITUTO DE METEOROLOGIA, I.P.

# **CONSIDERAÇÕES SOBRE A TEMPESTADE TROPICAL DELTA E INFLUÊNCIA NA REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA**

**JOSÉ M. DA COSTA TÊSO**  
2006, MAIO

## **RESUMO**

Na temporada dos ciclones tropicais de 2005 no Atlântico Norte, a tempestade tropical Delta foi classificada como o vigésimo quinto acontecimento, superando todos os registos anteriormente estabelecidos e que prevalecia desde 1933. De acordo com o National Hurricane Center (doravante, NHC) o desenvolvimento da tempestade tropical Delta (doravante, TTD) decorreu de 23 a 28 de Novembro e atingiu ventos máximos de 60 nós, aproximadamente 110 km/h; o valor mínimo de pressão foi de 980 hPa. O seu movimento iniciou-se para sul e com uma velocidade, que variou entre os 5 e os 15 km/h; a partir do dia 26, muda de direcção, tomando o rumo de nordeste e a velocidade de deslocamento aumenta consideravelmente, oscilando entre os 25 e os 48 km/h. É nesta data que o NHC prevê, como trajectória provável, o arquipélago da Madeira. No dia seguinte, 27, a trajectória da TTD estava prevista para uma latitude mais baixa, mas sempre situada entre os arquipélagos da Madeira e Canárias, prevendo ventos de 65 a 100 km/h.

Este trabalho conduz a uma descrição, de entre outros elementos, do modo como se formam as tempestades tropicais, a diferença existente entre as depressões associadas a sistemas frontais, frentes frias, quentes e oclusas, os valores da humidade na média troposfera. A utilidade das anomalias verificadas na temperatura superficial da água do mar, as trajectórias previstas da TTD, as imagens de satélite, a interpretação dos tefigramas do Funchal, as análises dos diversos níveis das cartas do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (doravante, ECMWF) no cenário decorrido, bem como as ferramentas de diagnóstico e as consequências resultantes da passagem da TTD no arquipélago da Madeira, justificam o conhecimento e a riqueza do ponto de vista operacional.

Numa primeira fase são clarificadas as evidências adicionais ao desenvolvimento de uma tempestade tropical e as suas causas e efeitos. Na fase seguinte, e na procura de objectivar a evolução da tempestade tropical, faz-se a representação esquemática dos modelos numéricos.

Após a explanação espaço-temporal, analisa-se a influência da TTD na Região Autónoma da Madeira.

Palavras-chave: Instabilidade convectiva, temperatura oceânica, wind shear (doravante, WS), campos meteorológicos, equação Ómega.



Esse est percipere et percipi. Scientia maximum vitae decus.  
Me iudice.

## I INTRODUÇÃO

### 1. Conceitos, objectivos e procedimentos

Desde o ano de 1995 que se verifica um aumento progressivo na actividade do ciclo de furacões e de tempestades tropicais no Oceano Atlântico central, Mar das Caraíbas e Golfo do México. Este processo evolutivo tem sido acompanhado pelos técnicos do NHC, que para a época de 2005, compreendida entre 1 de Junho e 30 de Novembro, tinham previsto 18 a 21 tempestades tropicais, 9 a 11 furacões, de entre os quais 5 a 7 atingiriam a classe 3 ou superior<sup>1</sup>. No entanto, estas previsões ficaram aquém e ultrapassaram o recorde que prevalecia desde o ano de 1933. Na actualidade, ocorreram 27 tempestades tropicais e 13 furacões, dos quais 7 foram iguais ou superiores à classe 3 da Escala de Saffir-Simpson. Esta escala foi criada na década de 70 do século passado, pelo Eng. Herbert Saffir e por Robert Simpson, ao tempo director do NHC, de modo a fornecer à opinião pública a estimativa da potência dos furacões.

Dois conceitos, ditos principais, estão associados a esta Escala de Saffir-Simpson (doravante, ESS), um explícito que retrata os furacões como fenómenos que podem gerar acontecimentos sociais e económicos, e um implícito de que

são tempestades com capacidade para gerar precipitações intensas e ventos que sopram com rajadas de elevado valor «bélico», forte agitação marítima e correntes ascendentes e descendentes extremamente intensas no seu interior.

Pode afirmar-se que de todos os «ingredientes» envolvidos nas tempestades tropicais, o vento assume a responsabilidade mais frequente de diferenciação do tipo de perturbação cuja intensidade é progressiva.

A tabela 1 indica as cinco categorias de furacões em função da velocidade do vento e da pressão atmosférica. O nível 1 na ESS representa uma tempestade de severidade mínima e o nível 5 representa o «top» da severidade. Nesta base, na época de 2005, houve dois furacões de categoria 4 (Dennis, 5-13 Julho e Emily, 11-21 Julho) e três furacões de categoria 5 (Katrina, 23-31 Agosto, Rita, 18-26 Setembro e Wilma, 15-25 Outubro).

Escala Saffir-Simpson	Velocidade do vento		Pressão mínima à superfície hPa	Sobre-elevação do mar acima do nível médio m
	kt	km/h		
1	64–82	119–153	> 980	1–1,7
2	83–95	154–177	979–965	1,8–2,6
3	96–113	178–209	964–945	2,7–3,8
4	114–135	210–249	944–920	3,9–5,6
5	> 136	> 250	< 920	> 5,7

Tabela 1: A escala de Saffir-Simpson, ESS, indica a pressão mínima e os ventos máximos constantes de um furacão (o seu potencial destruidor). Se a tempestade se intensifica ou enfraquece, o número é reavaliado. Abreviação: 1 kt (nó) = 1,8519 km/h.

<sup>1</sup> A média estabelecida, 11 tempestades tropicais e 6 furacões, dos quais 2 atingiam a classe 3 ou superior da Escala de Saffir-Simpson.

A altura da elevação do nível da superfície da água do mar, que consta da ESS, é devida à baixa pressão e aos ventos muito fortes inerentes aos furacões e serve de aviso para salvaguarda de vidas humanas e bens materiais nas zonas costeiras e ribeirinhas, pela probabilidade elevada de ocorrência de inundações, ampliada pela configuração dos litorais, aquando da aproximação do centro da tempestade tropical.

A designação de ciclone tropical, recebe o nome de furacão (hurricane), após ter passado por vários estágios de desenvolvimento e atingir a designação citada no Oceano Atlântico Norte, no Golfo do México e Caraíbas, no Oceano Pacífico Nordeste a leste da linha internacional de data e no Oceano Pacífico Sul a leste da longitude 160° E. É um termo que define um centro de baixa pressão não-frontal, de escala sinóptica sobre águas tropicais ou subtropicais, com convecção organizada e intensa circulação ciclónica à superfície. A sua classificação está relacionada com o vento sustentável de superfície<sup>2</sup>.

Nas depressões tropicais as velocidades do vento são inferiores a 38 milhas por hora (doravante, mph). A tempestade tropical tem velocidades compreendidas entre 39 e 73 mph. Durante este estágio, as tempestades tropicais recebem nomes atendendo a que podem co-existir dois ou mais acontecimentos numa mesma macro-região, permanecendo quando elas se transformam em furacões. Acima das 74 mph a depressão não-frontal atinge o estado de maturidade de um furacão. Estes três estágios de desenvolvimento estão reproduzidos na tabela 2. A velocidade do vento<sup>3</sup> também pode ser

expressa em metro por segundo (doravante, m/s), em quilómetro por hora (doravante, km/h) e em nó (doravante, kt).

Velocidade do Vento			Depressão não-frontal
m/s	km/h	kt	Designação
< 17	< 62	< 33	Depressão Tropical
18–33	63–118	34–63	Tempestade Tropical
> 34	> 119	> 64	Furacão

Tabela 2: Classificação das depressões não-frontais, de acordo com a velocidade do vento sustentável de superfície.

*In memoriam*, para distinguir as tempestades tropicais e os furacões que podiam co-existir ao mesmo tempo numa mesma macro-região, um meteorologista australiano, no início do século XX, estabeleceu nomes para estes acontecimentos. A sua fonte de inspiração, dizem as crónicas da época, foi a crítica aos políticos que não conseguiam passar a mensagem das suas convicções. Desde 1953 que as tempestades tropicais recebem nomes por ordem alfabética e são estabelecidas listas pelo NHC. Estas listas de tempestades tropicais, quer se desenvolvem em furacões ou não, são estabelecidas por um comité da World Meteorological Organization (doravante, WMO) que concebe anualmente seis listas de nomes<sup>4</sup>. Até ao ano de 1978 houve a prática de nomear apenas listas com nomes de mulheres. De 1979 até aos nossos dias, foram introduzidos nomes de homens que alternam com nomes de mulheres.

<sup>2</sup> A velocidade do vento é definido pelo vento médio durante 1 minuto que se faz sentir a 10 metros acima da superfície.

<sup>3</sup> 1 mph = 1,6093 km/h = 0,8689 kt = 0,44704 m/s;  
 1 m/s = 3,6 km/h = 1,9438 kt = 2,2369 mph;  
 1 kt = 1,1508 mph = 1,8519 km/h = 0,5144 m/s;  
 1 km/h = 0,2778 m/s = 0,5399 kt = 0,6213 mph.

<sup>4</sup> As seis listas são usadas em rotação. Cada lista é utilizada após seis anos, sendo retirado da lista os nomes dos furacões que originaram inundações e, consequentemente, perdas de vidas e estragos materiais. A lista de 2005 será usada novamente em 2011, sendo suprimidos, por exemplo, os nomes Dennis, Katrina, Rita, Stan e Wilma.

## 2. Trilhos de reconhecimento

A lista das tempestades tropicais para a época de 2005 no Oceano Atlântico Norte ficou completa em finais do mês de Outubro com o furacão Wilma. Deste modo, houve necessidade de recorrer a nomes do alfabeto grego, Alpha, Beta, Gama, Delta, Epsilon, e assim por diante. A vigésima quinta tempestade foi designada por Delta e assumiu esta qualidade em 23 de Novembro. O seu epílogo ocorreu em 28 do mesmo mês, com uma duração de seis dias que «encaixa» na maioria dos casos estudados que é de cinco a dez dias.

A TTD teve origem numa depressão extratropical no Oceano Atlântico Central e no dia 19 de Novembro estava centrada a 1050 milhas das Ilhas das Bermudas, exactamente a leste-sueste destas ilhas. Apresentava propriedades sub-tropicais e o NHC previa, numa probabilidade de acerto elevada, que muito brevemente seria classificada com características tropicais. No dia 22 de Novembro estava centrada aproximadamente em 30N 40W. Nas próximas 24 horas adquire propriedades mais definidas e um núcleo de altas pressões faz bloqueio ao seu movimento para leste-nordeste, iniciando uma rota lenta para sudoeste. Nesta data, 22 de Novembro, a sua posição centrava-se a 800 milhas a sudoeste das Ilhas dos Açores, onde assumiu as características de depressão tropical.

Procurando águas mais quentes iniciou o movimento para sul e no dia 23 de Novembro após avaliação da intensidade do vento sustentável, o NHC classificou o sistema atmosférico por eles designado por 95L, como uma tempestade tropical a que foi dado o nome do alfabeto grego Delta.

Às 21:00 UTC do dia 23 de Novembro é emitido o 1º Aviso referente à discussão da TTD, centrada

em 25,9N 40,5W e com uma pressão atmosférica de 982 hPa. O vento era de 50 kt.

No prognóstico para as próximas 12 horas (dia 24, às 06:00 UTC), o NHC previa as coordenadas 25,1N 40,2W e uma velocidade máxima de vento da ordem dos 55 kt. Para as 18:00 UTC, do mesmo dia, estava prevista em 24,7N 39,7W e com intensidade de vento superior cerca de 60 kt.

Continuando com a leitura do 1º Aviso e dos prognósticos estabelecidos pelo NHC:

- a) Para as 36h, dia 25 / 06:00 UTC, previam a localização em 25,0N 39,4W e 60 kt;
- b) Para as 48h, dia 25 / 18:00 UTC, previam 26,0N 39,5W e 55kt;
- c) Para as 72h, dia 26 / 18:00 UTC, as previsões eram de 28,0N 39,5W, 55 kt e tornava-se gradualmente extratropical.
- d) Para as 96h, dia 27 / 18:00 UTC, os prognósticos dos técnicos do NHC indicavam uma localização em 32,0N 40,0W, ventos máximos de 50 kt e extratropical.
- e) Finalmente, para as 120h, dia 28 / 18:00 UTC, o prognóstico era de 36,0N 42,0W, mantendo a velocidade de 50 kt e permanecendo em situação extratropical.

Na primeira abordagem a NHC previa que o movimento estabelecido pela TTD fosse o rumo norte, determinante para que a tempestade tropical se tornasse muito em breve como uma depressão extratropical.

A tabela 3, mostra a distribuição observacional do NHC, incluindo os números de aviso, coordenadas, velocidades e direcção associada ao deslocamento da TTD. Para permanecer com a classificação de tempestade tropical são indicados os valores da pressão atmosférica e da intensidade do vento máximo sustentável de superfície.

Data/Hora UTC	Aviso nº	Direcção Velocidade km/h	Latitude °N	Longitude °W	Pressão hPa	Vento kt	Condição
23 / 2100	1	SSE / 15	25,9	40,5	982	50	Temp <sup>a</sup> . Tropical
24 / 0300	2	SSE / 13	25,3	40,3	982	50	TT
24 / 0900	3	SSE / 13	24,7	39,8	980	55	TT
24 / 1500	4	E / 04	24,8	38,8	980	60	TT
24 / 2100	5	Estacionária	24,6	38,9	980	60	TT
25 / 0300	6	S / 09	23,7	39,0	980	60	TT
25 / 0900	7	SW / 06	23,7	39,3	982	55	TT
25 / 1500	8	SSW / 07	23,2	39,7	982	55	TT
25 / 2100	9	SW / 06	23,0	40,0	984	50	TT
26 / 0300	10	S / 11	21,9	39,8	990	50	TT
26 / 0900	11	E / 09	21,9	39,0	993	45	TT
26 / 1500	12	NE / 15	22,4	38,1	997	35	TT
26 / 2100	13	NE / 26	23,2	36,7	997	35	TT
27 / 0300	14	ENE / 35	24,2	34,6	998	35	TT
27 / 0900	15	NE / 39	25,6	32,8	993	35	TT
27 / 1500	16	NE / 43	27,7	30,8	990	45	TT
27 / 2100	17	NE / 43	29,0	28,5	982	60	TT
28 / 0300	18	ENE / 43	29,3	26,1	985	55	TT
28 / 0900	19	ENE / 46	30,2	23,3	988	55	TT
28 / 1500	20	E / 48	30,3	20,1	988	55	TT

Tabela 3: Evolução da Tempestade Tropical Delta, de 23 a 28 de Novembro de 2005, e avisos emitidos pelo National Hurricane Center, Tropical Prediction Center, NHC/TPC.

A necessária caracterização dos conceitos, procedimentos, objectivos e trilhos de reconhecimento de uma época de ciclones tropicais, faz-se uma breve reflexão às estruturas e estratégias, passa-se ao novo saber das tecnologias, numa perspectiva de criar o saber com a prática.

No ponto de vista programático deseja-se e propõe-se para o segundo capítulo, uma caracterização e representação das evidências adicionais ao desenvolvimento de uma tempestade tropical: a sua estrutura e a utilidade dos satélites meteorológicos.

Entretanto, vale a pena lembrar que a evolução da TTD foi mais consequência da acumulação de várias estruturas de contingência existentes na área envolvente. No terceiro capítulo e para a versão ligada à prática de consulta na Internet, faz-se o resumo conveniente para uma boa compreensão, do estudo da evolução da

tempestade tropical Delta, no fluxo informativo, com referências a algumas situações ao movimento da TTD, fazendo a amostragem de produtos do ECMWF e dos modelos numéricos.

Num universo em que os progressos da técnica e do desenvolvimento científico afirmam a todo o instante a sua identidade comum na protecção aos recursos naturais, leva ao desafio proposto para o quarto capítulo, onde se personaliza a influência da TTD na Região Autónoma da Madeira.

## II EVIDÊNCIAS ADICIONAIS AO DESENVOLVIMENTO DE UMA TEMPESTADE TROPICAL

### 1. A estrutura de uma tempestade tropical

#### 1.1 Noções básicas

As tempestades que têm origem em latitudes tropicais recebem as

designações definidas na tabela 2, acrescidas de outras, como tufões e ciclones. A essência destas tempestades é similar e a diferença de designação reside apenas no local onde têm origem. O termo Ciclones, apenas deste modo, reporta-se aos ciclones tropicais que ocorrem no Oceano Índico e nas proximidades da Austrália.

Estas depressões não-frontais muito cavadas à escala sinóptica que se formam sobre águas tropicais ou subtropicais, caracterizam-se por uma baixa pressão central sem isóbaras fechadas em torno do centro e por ventos que circulam ciclonicamente em volta dele (anti-horária no Hemisfério Norte). Este vórtice atmosférico apresenta-se como uma formação nublosa circular que cobre algumas centenas de quilómetros, constituído por nuvens convectivas e organizadas em bandas espirais, de forma completamente diferenciada dos sistemas atmosféricos que caracterizam as latitudes médias porque são sistemas sem frentes associadas (frias, quentes ou oclusas).

Para uma depressão atingir a classificação de tempestade tropical, necessita da persistência de rotação em torno da área do seu centro de menor pressão atmosférica e que o vento sustentável de superfície atinja velocidades compreendidas entre 34 e 63 kt (63 a 118 km/h).

Com estas características o NHC insere-a na lista dos ciclones tropicais para a época<sup>5</sup> e confere-lhe um nome. Na sua área central e circular, onde se centra o valor mínimo da pressão, onde o ar é mais quente que nas regiões ao seu redor, constitui a estrutura designada por **olho** da tempestade tropical, que pode ser visível ou não<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> A estação das tempestades tropicais e dos furacões começa oficialmente em 1 de Junho e termina em 30 de Novembro. A maioria destes acontecimentos verifica-se em Agosto, Setembro e Outubro.

<sup>6</sup> Quando possui uma cobertura de nuvens central densa, conhecida por *central dense overcast*, a produção de chuva é muito menor do que nas regiões em redor.

No caso dos furacões, como ilustra a figura 1, o seu diâmetro pode variar de 20 a 50 km/h e é composto de ar com ligeiro movimento descendente. A sua parede possui um fluxo onde se registam ventos máximos com velocidades diferenciadas. Como estas tempestades adquirem movimento, os ventos são resultado da conjugação da velocidade de rotação e da velocidade de deslocamento. Os ventos no lado direito da parede do olho tendem a ser mais fortes do que os ventos do lado esquerdo.



Figura 1: Os ventos são calmos no eixo de rotação. Na estrutura denominada por parede do olho, os ventos atingem máximos e as chuvas são fortes e intensas. Cortesia de Tripod em <http://members.tripod.com/meteorologia/furaco es.html>.

As suas velocidades são ventos sustentáveis<sup>7</sup> de superfície, as chuvas são mais intensas e as nuvens que a constituem, cumulonimbus, originam convecção profunda e trovoadas.

## 1.2 Condições inerentes à sua formação

Para o desenvolvimento de ciclogénese tropical, também chamado distúrbio tropical no seu estágio inicial, são necessárias algumas condições atmosféricas e oceânicas. A primeira afirmação é o facto de que uma tempestade tropical não se desenvolve de modo espontâneo, necessita de uma perturbação do campo da pressão à superfície, que pode ser gerada na proximidade da zona de confluência dos ventos alísios, na Zona Inter-Tropical de

<sup>7</sup> Os ventos dizem-se sustentados, porque são constantes por um longo tempo.

Convergência (doravante, ZITC), que se movimenta de leste para oeste e toma a designação de **onda de leste**, ou por um vale proveniente da dissipação de uma superfície frontal que penetrou até às regiões tropicais<sup>8</sup>.

Nas condições precursoras que devem ocorrer em simultâneo, a principal fonte de energia está nas águas oceânicas, com temperaturas iguais ou superiores a 26,5°C e numa camada desde a superfície até uma profundidade da ordem dos 50 m. Estas temperaturas do oceano, assim afirmam estudos estatísticos, irão alimentar o mecanismo da tempestade tropical. O ar sobre o oceano precisa também de estar muito quente e húmido, para que inicie movimento ascendente, por outras palavras, implica convergência à superfície. Conforme o ar sobe através da tempestade, o vapor de água condensa-se em água líquida e cada gota de água que se condensa liberta uma certa quantidade de energia, conhecida como calor latente, o qual é o principal combustível da tempestade<sup>9</sup>.

Por outro lado, na alta troposfera, bem perto da tropopausa, tem que existir circulação anticiclónica, aproximadamente entre os 300 e os 200 hPa, criando divergência e facilitando o movimento ascendente e intensificando a convergência à superfície. A velocidade do vento aumenta.

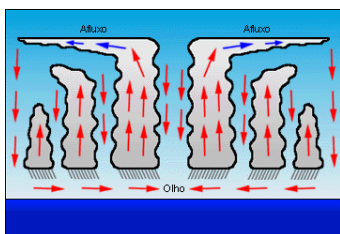


Figura 2: Diagrama dos movimentos principais do ar dentro de uma tempestade tropical, bem como ao seu redor. A uma atmosfera instável com pressão atmosférica baixa na superfície, origina um anticiclone nos níveis altos da troposfera. Cortesia do Colégio de S. Francisco/Geografia, Brasil, www.brasgreco.com.

<sup>8</sup> Rasquinho, Olavo – Ciclones Tropicais, Aspectos gerais.

<sup>9</sup> Conway, Eric D. An Introduction to Satellite Image Interpretation, 1997.

O vapor de água por ser menos denso, sobe rapidamente quando é aquecido e vai arrefecendo até que se transforma em gotículas de chuva. A mudança de estado liberta calor que aquece o ar nas redondezas. Este ar aquecido torna a subir e quando a corrente atinge a tropopausa<sup>10</sup>, ocorre uma inversão térmica e o ar é obrigado a descer, vindo a ser reabsorvido pela corrente principal. O modo como este mecanismo se auto-alimenta é ilustrado nas figuras 2 e 3.

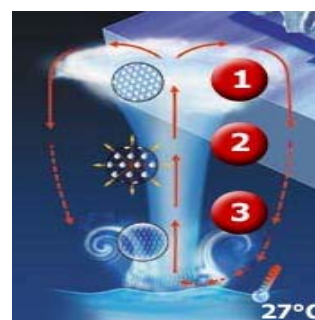


Figura 3: O ar quente do Oceano Atlântico origina tempestades tropicais. 1. Ao alcançar a tropopausa, o vapor de água transforma-se em gelo e a corrente ascendente pára e o ar frio desce pela lateral da nuvem. 2. O ar mais frio transforma o vapor de água em chuva, liberta mais calor e inicia-se nova corrente ascendente à medida que a tempestade se desenvolve, o ar frio lateral realimenta o sistema. 3. O calor da água aquece o vapor de água e forma uma corrente ascendente. Cortesia de Nogueira, Pablo – Dissecando um furacão.

Um dos factores que mais contribui para o desenvolvimento de uma tempestade tropical é o WS, wind shear,<sup>11</sup> quiçá, um factor que tanto lhe pode dar a génese como a morte antecipada. Entre a superfície e a alta troposfera, e dum modo geral nos primeiros 15 km, o WS tem que apresentar valores baixos. A variação do

<sup>10</sup> A camada da atmosfera em que a temperatura decresce com a altitude denomina-se de troposfera. É nesta zona, em que se concentra cerca de ¾ da massa de ar atmosférico e quase todo o vapor de água, que ocorre a quase totalidade dos fenómenos associados ao tempo. A camada em que a temperatura se mantém quase constante com a altitude denomina-se por estratosfera e à zona que separa a troposfera da estratosfera recebe o nome de tropopausa. É mais elevada sobre o equador, cerca de 17 km, do que nos polos, 7 km. A temperatura também não é uniforme, variando de -45°C nos polos a -85°C no equador.

<sup>11</sup> O wind shear, WS, define-se como a variação do vento em intensidade e em direcção com a altitude.



vento com a altitude, na vertical da perturbação inicial, tem a obrigatoriedade de ser fraca. Os ventos em altitude precisam de estar na mesma direcção.

Quando o WS está presente, quando apresenta valores altos, desfavorece a tempestade tropical que se encontre em fase de desenvolvimento, e numa probabilidade elevada, não se consegue formar como um sistema organizado. Este factor tem interferência directa na organização convectiva em torno do centro da tempestade tropical.

Sucintamente, as condições simultâneas e necessárias para a ciclogénese tropical são:

- a) Uma perturbação inicial do campo da pressão à superfície e possuindo vorticidade e convergência organizada.
- b) Temperatura da água do mar igual ou superior a 26,5°C numa camada com profundidade não inferior a 50 metros.
- c) Uma atmosfera que arrefeça rapidamente com a altitude, responsável pela libertação do calor armazenado na água oceânica para o interior da perturbação.
- d) Divergência em altitude e muito próxima da tropopausa.
- e) Valores baixos de WS entre a superfície e a alta troposfera.

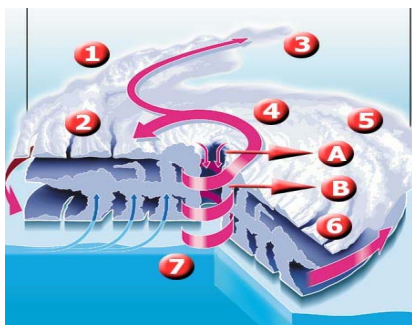


Figura 4: O estágio de desenvolvimento de uma tempestade tropical. 1. O seu tempo médio de vida é de 5 a 10 dias, mas pode durar 3 semanas. 2. Na tropopausa, o ar muito frio desce pelas laterais e uma pequena parte pelo olho da tempestade. 3. A tempestade na sua magnificência. 4/5/A. A região central, o olho, onde a tranquilidade habita e cujo comprimento pode variar entre 20 e 50 km. 6/B. As nuvens

em redor do olho são chamadas de paredes e o movimento do ar é em espiral. 7. No hemisfério Norte as tempestades giram no sentido anti-horário. Cortesia de Nogueira, Pablo – Dissecando um furacão.

A imensa massa energética que se desenvolve nas tempestades tropicais, é devida à libertação na atmosfera do calor latente de condensação, quando se formam os «mantos» nebulosos. É a radiação solar que ao incidir sobre as águas do oceano, obriga que parte da água superficial deste se evapore, iniciando o transporte de energia para a atmosfera na forma de calor latente de evaporação.

Embora a TTD não atingisse a classificação de Furacão, a figura 4 esquematiza a estrutura dessa tempestade tropical.

Após uma evolução inicial, um estágio de desenvolvimento e de maturação que pode durar duas a três semanas, a tempestade tropical entrará na fase final do seu percurso de vida: nasceu, desenvolveu-se e atinge a debilidade. Esta fraqueza é devida a vários processos, enchimento do campo da pressão à superfície, o WS atinge valores elevados, desloca-se em latitudes mais elevadas e com águas oceânicas mais frias, ou, quando entra em regiões continentais e perde a sua fonte de vapor de água.

### 1.3 Causas e efeitos

Estes acontecimentos tropicais<sup>12</sup> geram episódios que causam fenómenos adversos, tanto em mar alto como em terra. Diante disto, não é surpresa o facto dos danos originados pela intensidade dos ventos associados às tempestades tropicais, os efeitos destrutivos que provocam, as

<sup>12</sup> Dum modo geral, uma tempestade tropical forma-se entre o equador e o trópico de Cancer, a oeste de África. A radiação solar aquece a água oceânica e a temperatura superficial acima dos 27°C durante mais de um mês pode originar uma tempestade. O ar húmido e quente forma forte corrente ascendente e a pressão atmosférica cai. Das regiões circundantes surgem ventos que se dirigem para a baixa pressão e o rodopio tem início por efeito da força de Coriolis.



inundações por causa das chuvas torrenciais, a forte agitação marítima que é gerada, a visibilidade horizontal que é reduzida ao mínimo e as perdas humanas que são «ceifadas» neste evento tão singular.

As tempestades tropicais formam-se, com maior frequência, nas regiões dos anticiclones subtropicais e o gradiente horizontal de pressão é mais forte no lado das altas pressões. Do facto, no hemisfério Norte, os ventos têm uma componente acrescida com a direcção e sentido do deslocamento da tempestade: os ventos sopram com maior intensidade.

No lado oposto, o gradiente horizontal de pressão é mais fraco e os ventos são contrários ao sentido de circulação do anticiclone e do próprio movimento da tempestade tropical: os ventos sopram com menor intensidade.

A vaga, associada ao vento na área de geração, ultrapassa na maioria dos casos os 20 metros de altura, propaga-se para longe da área de geração e a altura vai diminuindo, enquanto que o período equivalente de potência e o comprimento de onda vão aumentando. As vagas geradas no lado direito da tempestade são mais altas, devido ao vento soprar dum modo constante e se propagarem na mesma direcção do movimento da tempestade, conforme ilustração da figura 5. A velocidade de propagação das ondas de grande comprimento de onda pode atingir os 40 kt.<sup>13</sup>

As grandes inundações que ocorrem nas regiões costeiras, estão interligadas com a **Storm Surge** (doravante, SS, onda de tempestade ou sobre-elevação do mar acima do nível médio, ver tabela 1), que não é mais do que o fluxo de água impulsionado pelos ventos ciclónicos associados às tempestades tropicais. A subida do nível das águas começa quando a tempestade

se encontra 300 a 500 milhas náuticas<sup>14</sup> da costa e atinge o máximo quando o olho da tempestade entra em terra. Em simultaneidade com a maré alta, podem atingir-se proporções destruidoras nunca imagináveis, com elevados danos materiais e humanos.



Figura 5: Propagação das ondas a partir do local da geração. O comprimento das setas está proporcional à velocidade e a sua largura é proporcional à altura. Cortesia de Rasquinho, Olavo – Ciclones Tropicais, Aspectos gerais.

O tamanho e a densidade populacional, aliada à configuração da linha de costa, a sua altitude em relação ao nível médio do mar, podem estar directamente relacionadas com a dimensão catastrófica, provocada pela aproximação e passagem da tempestade tropical e atendendo ao seu trajecto e extensão horizontal.<sup>15</sup>

Alguns autores associam o termo de maré meteorológica à definição de SS<sup>16</sup> e na soma da maré astronómica, *vulgare* preia-mar, com a onda de tempestade, SS, aplicam o conceito de Storm Tide (doravante, ST, ou maré de tempestade). É evidente, que estas definições passam necessariamente pelas consequências do tempo severo previsto, para que os habitantes das zonas costeiras atingidas identifiquem as condições adversas, como é sugerido na figura 6.

<sup>14</sup> Id.

<sup>15</sup> Além dos elevados danos materiais, a destruição de vilas e cidades, deslizamentos de terras, o afogamento de muitas dezenas de pessoas, há que considerar a morte de outras tantas por epidemias. As chuvas torrenciais, assim como trovoadas, que acompanham as tempestades tropicais podem causar enchentes destrutivas, afectando localidades que estão situadas a centenas de quilómetros da linha de costa, vários dias depois dos ventos terem diminuído de intensidade.

<sup>16</sup> A Storm Surge mede-se pela diferença entre a altura que a água atinge devido à tempestade e a altura que teria se esta não tivesse ocorrido, Glossary of NHC/TPC Terms.

<sup>13</sup> Rasquinho, Olavo – Ciclones Tropicais, Aspectos gerais.

A sobre-elevação do mar acima do nível médio, na ESS, ver tabela 1, vai de 1 m a 3,8 m na categoria de furacão 1 a 3, aumentando para 3,9 m a 5,6 m na categoria 4. Na categoria de furacão 5, a sobre-elevação do mar é superior a 5,7 m. O rigor da adversidade serve para alertar as populações, para que esteja preparada para o pior.

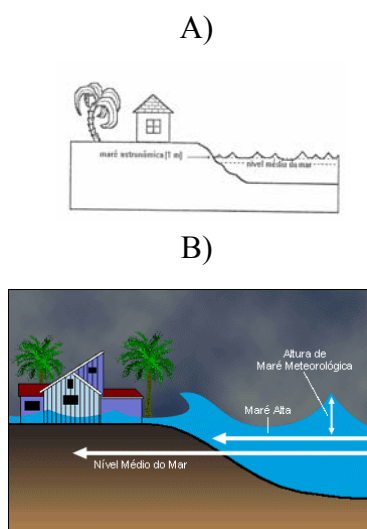


Figura 6: **A)** Situação inserida na normalidade, numa zona de costa, em plena maré alta. Cortesia de Rasquinho, Olavo. **B)** Combinação da maré alta com a onda de tempestade, ST, fluxo de água que provoca inundações e um elevado grau destrutivo em regiões costeiras aquando da aproximação e passagem de uma tempestade tropical. Cortesia de Markham, Alexander, imagem.

## 2. A utilidade dos satélites meteorológicos

É cada vez mais sólido o reconhecimento que a comunidade internacional atribui à utilidade dos satélites meteorológicos. É o poder de visualizar o conjunto Terra – Atmosfera e extrair a máxima informação possível através de técnicas e processos de alta tecnologia, a fim de obter produtos em que o objectivo se baseia na análise qualitativa e quantitativa das imagens obtidas.

Estas imagens, utilizam-se para a visualização de nuvens e sua classificação, na observação do vapor de água existente na alta e média troposfera e na observação da

temperatura da superfície da terra e da temperatura superficial do mar.

A Terra e a atmosfera emitem radiação térmica confinada dentro de um determinado intervalo espectral,<sup>17</sup> onde se encontra a banda do Infravermelho (doravante, IR). Nestes comprimentos de onda, a reflectividade é virtualmente nula e a radiação solar desprezível, por isso considera-se como radiação de corpo negro e relaciona-se com o parâmetro temperatura, medida em graus Kelvin.<sup>18</sup> As imagens de IR são utilizadas para a observação de estruturas várias, quando não há radiação solar, o mesmo é dizer de noite, em que os pontos quentes surgem escuros e os pontos frios aparecem brancos. É possível estabelecer tabelas de cores para diferenciar as temperaturas numa estrutura nebulosa.

Metade da energia emitida pelo Sol fica inserida no comprimento de onda do visível e os radiómetros dos satélites medem a radiação solar reflectida nesse intervalo. A radiância detectada na banda do visível é uma medida da reflectividade da Terra. As zonas de alta reflectividade aparecem brancas e as de menor reflectividade surgem escuras ou mesmo pretas. Também neste tipo de imagens do espectro Visível (doravante, VIS) é possível utilizar contrastes para definir a forma dos objectos que compõem as imagens, principalmente das nuvens, razão porque a banda do VIS é muito útil na meteorologia sinóptica.

As imagens VIS e IR térmico, utilizam as bandas do espectro electromagnético onde a absorção pelos gases atmosféricos é pequena. No entanto, são de interesse, os intervalos espectrais em que a radiação infravermelha emitida pela Terra é absorvida pelo vapor de água da atmosfera. As imagens de vapor de água

<sup>17</sup> 3 a 100  $\mu\text{m}$ , enquanto que o infravermelho está no intervalo espectral médio de 3 a 30  $\mu\text{m}$ .

<sup>18</sup> 1° Celsius = -273,15° Kelvin.

(doravante, WV) são na sua maioria, representativas da humidade da média e alta troposfera.

O desenvolvimento de uma tempestade tropical através da análise de uma imagem obtida por satélite, é reconhecer o tipo de nuvens que apresenta e o modo como variam no tempo. As imagens formam o «filme» da intensidade e do estágio de desenvolvimento, assim como o estado de enfraquecimento e a «morte» de uma tempestade tropical.

Os satélites meteorológicos fornecem enorme quantidade de material, de valor único, para quem precisa de informações sobre a intensidade, posição e movimento das tempestades tropicais.<sup>19</sup>

Estas informações são utilizadas para previsão, análise, e fornecem avisos importantes sobre estas tempestades em volta do mundo. Os Centros especializados esquematizam a evolução de uma perturbação, desde o estágio inicial de depressão tropical até ao culminar de um furacão, na sua plenitude de máquina destrutiva e, quiçá, assassina. A figura 7 ilustra três métodos de apresentação da TTD através do satélite meteorológico.

Estudar-se o movimento de uma tempestade tropical através de uma simples imagem de satélite meteorológico, permite avisar os navios mercantes que se encontram em áreas muito próximas, de modo a iniciarem salvaguardas humanas, ou simplesmente, iniciarem a sua fuga para latitudes ou longitudes mais afastadas. Quando o olho da tempestade não está visível, torna-se difícil localizar o centro da circulação, porque se encontra coberto por nuvens médias e altas, originando algumas dificuldades nas direcções típicas assumidas pelas

mesmas, atendendo a que algumas têm movimentos erráticos, como veremos com a TTD, fazendo um «loop» ou movendo-se em direcções não usuais.

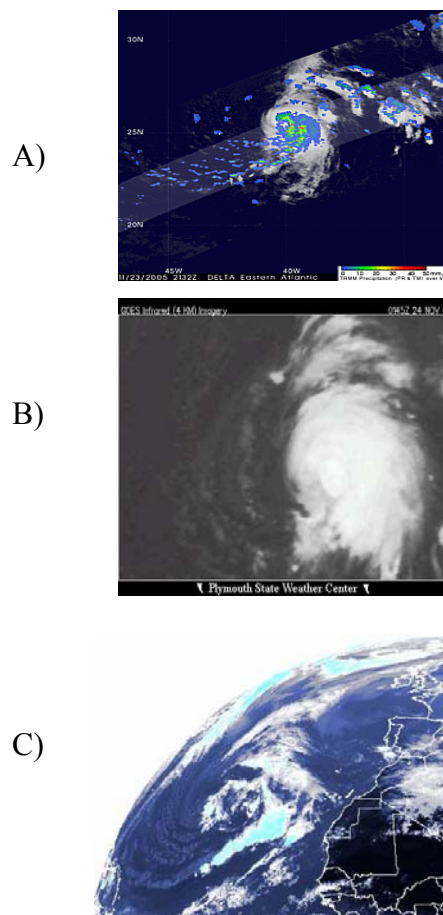


Figura 7: A) TTD, November 23, 2005, aplicação Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM, cortesia Earth Observatory, NASA. B) TTD, GOES IR, 01:45Z, 24NOV05, cortesia Plymouth State Weather Center. C) TTD, Meteosat IR, 21:32 UTC, 23NOV05, cortesia Bugalho, Lourdes, Instituto de Meteorologia.

### III EVOLUÇÃO DA TEMPESTADE TROPICAL DELTA

#### 1. O fluxo informativo

A TTD teve origem numa depressão extratropical no dia 19 de Novembro de 2005. A sua localização em pleno Oceano Atlântico, estava centrada aproximadamente a 1050 milhas a leste-sueste das Ilhas das Bermudas.

O NHC/TPC usa as análises da temperatura da superfície do mar, em

<sup>19</sup> Conway, EricD. and the Maryland Space Grant Consortium, 1997, An Introduction to Satellite Image Interpretation.

°C, (sea surface temperature, doravante, SST) em modelos estatísticos e previsão da intensidade das tempestades tropicais. No início de cada semana são actualizadas as análises, com dados obtidos por bóias, ships e satélites, referentes à semana transacta. Na mesma linha de procedimento é elaborado um quadro de anomalia, com base na média climatológica da SST<sup>20</sup> para o mês em questão.

A figura 8, indica os valores médios para o mês de Novembro, segundo o método de Reynolds. A análise SST e a anomalia no período de 1 semana, que terminou em 19 de Novembro de 2005, estão na figura 9.

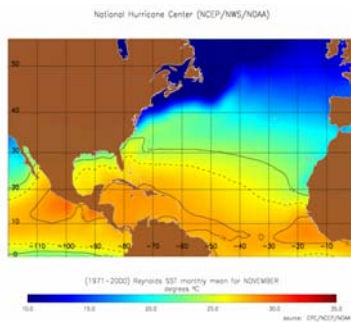


Figura 8: A média da temperatura superficial das águas oceânicas, em °C, para o mês de Novembro, segundo o método de Richard Reynolds, usando como referência o período de 1971-2000. Cortesia NOAA/CPC/NCEP.

O sistema depressionário teve um movimento para leste, temporariamente para nordeste,

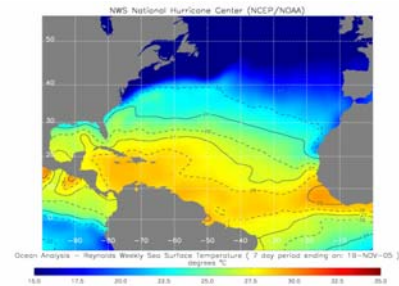
<sup>20</sup> A análise, em tempo real, da temperatura superficial das águas do oceano, SST, foi desenvolvida por **Richard Reynolds** do EMC/NCEP, Centro de Modelação Ambiental, do Centro Nacional de Prognósticos Ambientais. O CPC/NOAA, Centro de Prognósticos Climáticos, criou uma climatologia global para as análises SST, usando um valor acrescentado de 1°C mensal. Esta climatologia derivou de Oiv2, Optimum Interpolation das análises de SST, produzido semanalmente, sendo os dados referentes ao período de 1971-2000. Devido à complexidade dos cálculos, os meios computacionais calcularam a anomalia da SST, usando a teoria de Reynolds e uma média mensal ponderada para o campo SST. A análise da temperatura superficial e a respectiva anomalia cobrem a área compreendida entre os 60°N e os 60°S no Oceano Atlântico e no Oceano Pacífico Oriental.

Para as análises, são utilizados dados recebidos por barcos, através dos comunicados meteorológicos «ship», bóias e informação obtida por satélite. Antes da SST ser calculada, os dados de satélite são ajustados para os preceitos que usam o método descrito por Reynolds, 1988, e Reynolds e Marsico, 1993. Uma descrição pormenorizada do método de análise da temperatura superficial das águas oceânicas pode ser encontrada em Reynolds e Smith, 1994.

alcançando no dia 22 de Novembro de 2005 uma posição aproximada a 800 milhas a sudoeste do Arquipélago dos Açores. Em três dias, este sistema depressionário adquiriu características de uma depressão tropical, ou melhor dizendo, características de uma perturbação tropical, atendendo a que as suas propriedades eram sub-tropicais.

O NHC, como organismo responsável da Organização Meteorológica Mundial (doravante, OMM) fez o acompanhamento diário das variações do campo da pressão e do vento da futura TTD.

A)



B)

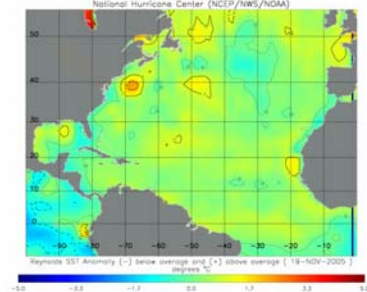


Figura 9: **A)** Temperatura superficial do mar, em °C, com base no critério das análises oceânicas de Reynolds, num período de 7 dias que terminou em 19 de Novembro de 2005. Cortesia de Environment Modelling Center/NCEP/NOAA. **B)** Anomalia da análise da temperatura superficial do mar, em °C, com base no critério de Reynolds, no período semanal que terminou em 19 de Novembro de 2005, em que (-) representa abaixo da média mensal e (+) simboliza acima da média mensal. Cortesia Climate Prediction Center/NCEP/NOAA.

Nestas últimas 24 horas o sistema tornou-se mais definido, e por acção de um anticiclone de bloqueio colocado a norte, o seu movimento deixa de ser para nordeste e começa a movimentar-se para sudoeste, onde existe uma anomalia positiva nas análises da SST de Reynolds. Aliando

esta afirmação com o movimento, aliando a transição sub-tropical para a forma tropical e considerando que o NHC já tinha avaliado os ventos como possuidores de uma intensidade de tempestade tropical, o nascimento da 25ª tempestade da época de 2005 do Atlântico Norte estava para breve.

A OMM<sup>21</sup> delegou neste Centro toda a responsabilidade na vigilância e prognóstico das perturbações tropicais em todo o Oceano Atlântico. Quando estas perturbações alcançam zonas de responsabilidade dos países costeiros, o NHC aconselha o seguimento mais específico e detalhado através dos Institutos Meteorológicos de cada país.

Este sistema, classificado desde o início como 95L, irá tornar-se em tempestade tropical, quarta da época com letra grega, Delta. O seu centro apresentava as coordenadas, aproximadas, de 30N 40W, no dia 22 de Novembro às 18:00 UTC, o valor de pressão era de 982 hPa e o vento tinha uma intensidade de 45 kt. A figura 10 mostra toda a postura da futura tempestade tropical, que continuava com o seu movimento para sul. Às 21:00 UTC do dia 23 de Novembro, o NHC atribuía-lhe o nome Delta, TTD.

O aviso nº 1 do NHC referente à TTD, dá o seu centro perto da latitude 25,9N e longitude 40,5W, a 1150 milhas, cerca de 1850 km, a sudoeste das ilhas dos Açores. A uma semana do final da época das tempestades tropicais no Oceano Atlântico Norte, o NHC iniciava os procedimentos de salvaguarda de vidas e bens, inerentes a fenómenos adversos, para informar os

meios de comunicação internacionais da presença de uma tempestade tropical no Oceano Atlântico, e dum modo especial, todo o tráfego marítimo que existisse na proximidade da TTD ou cuja rota coincidissem com os prognósticos elaborados.

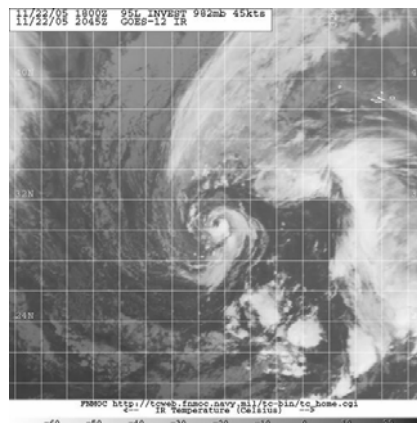


Figura 10: Imagem de satélite GOES-12, IR, do dia 22 de Novembro de 2005, 18:00 UTC, referente à futura Tempestade Tropical, que ficou conhecida como Delta. As suas coordenadas eram de 30N 40W. Cortesia de FNMOC, US Navy.

## 2. As referências ao movimento da TTD, segundo o NHC e alguns produtos do ECMWF

### 2.1 Os dias 23, 24 e 25 de Novembro

No dia 23 de Novembro de 2005, pelas 21:00 UTC, o previsor Stewart do NWS TPC/NHC de Miami, Florida, USA, anunciava a 25ª tempestade tropical da época de 2005 no Atlântico Norte. Chamava-se Tempestade Tropical Delta. Na figura 11, imagem de satélite, IR, das 18:00 UTC de 23 de Novembro, três horas antes da emissão do Aviso nº 1, estão indicadas as características de uma perturbação que apresentava convecção profunda, centrada a 1000 milhas náuticas das ilhas açoreanas.

A intensidade inicial de 50 kt foi confirmada por duas bóias colocadas a 50 e a 40 milhas náuticas a leste do centro da Tempestade Tropical. Esta confirmação era apoiada pela informação obtida pelas imagens dos

<sup>21</sup> Com sede em Genebra, Suíça, esta Organização conta com 185 membros, forma parte das Nações Unidas e é a voz científica e autorizada no que concerne ao estado e ao comportamento da atmosfera e do clima da Terra. A OMM iniciou as suas actividades, como sucessora da Organização Meteorológica Internacional, no ano de 1951.

Os principais programas da OMM são: Vigilância Meteorológica Mundial, Programa Mundial sobre o Clima, Programa de Investigação da Atmosfera e o Meio Ambiente, Programa de Aplicações da Meteorologia, Programa de Hidrologia e Recursos Hídricos, Programa de Recursos e Formação Profissional e Programa de Cooperação Técnica.



satélites meteorológicos. A pressão atmosférica indicada pelas duas bóias foi de 986,5 hPa e 984,4 hPa, respectivamente.

A TTD era uma depressão com forte desenvolvimento, em que a extensão dos seus ventos atingia as 345 milhas, 555 km, do seu centro.

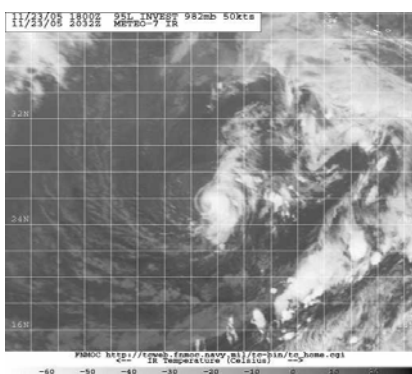


Figura 11: As características apresentadas pela TTD, 3 horas antes de ser emitido o Aviso n.º 1 do NWS TPC/NHC, Miami, USA, na pessoa do previsor Stewart. Imagem Meteo-7, IR, pressão de 982 hPa e intensidade de vento com 50 kt (25,9N 40,5W). Cortesia FNMOC, US Navy.

A estimativa do movimento inicial foi para 165°, vulgar SSE, com uma velocidade de 8 kt. Os modelos físico-matemáticos, quer regionais, quer globais, eram unânimes ao afirmarem que nas 24 horas seguintes a TTD mudaria as suas coordenadas na latitude antes de tomar a direcção Norte. A única diferença, entre os modelos e o previsor, residia em saber se a Tempestade Tropical ficaria a leste ou a oeste da longitude 40W. Na camada 850-200 hPa, a previsão do vento vertical apresentava uma diminuição dos 50 kt para os 22 kt em 36 horas. A TTD apresentava um comportamento normal dentro das tempestades tropicais clássicas. Considerando, que a SST estava ligeiramente acima dos 25,5°C nas próximas 36 horas e que havia um pequeno fortalecimento da corrente anticiclónica, era previsível o deslocamento para Sul da TTD.

Os dados de Dvorak<sup>22</sup> apoiavam a permanência da intensidade actual dos 50 kt da TTD e a tempestade movia-se sobre águas oceânicas ditas mornas.

Tudo conjugado com o vento vertical, que não apresentava variações dignas de nota, não havia diminuição das características da TTD, antes um ligeiro fortalecimento. A figura 12 mostra a estrutura vertical dos ventos numa tempestade tropical, um perfil médio normalizado.

Deste modo não haveria grande mudança na filosofia do traçado da TTD, muito embora a discordância entre modelos começasse a ser notada, e a TTD continuaria a sua progressão lenta para sul nas próximas 24 horas.

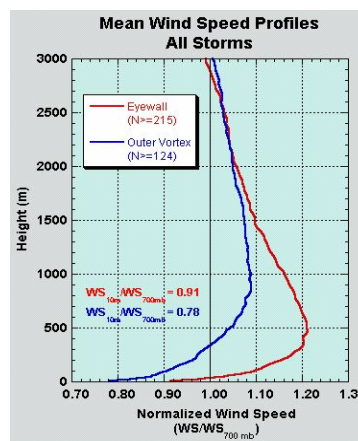


Figura 12: Perfil vertical médio da velocidade do vento de várias tempestades tropicais. Trata-se da velocidade do vento relativa ao nível dos 700 hPa, aproximadamente a 3000 metros. A curva azul indica a velocidade na parte mais externa do vórtice, 124 tempestades avaliadas, enquanto que a curva vermelha mostra a velocidade no olho do furacão, 215 furacões analisados. Cortesia de Conway, Eric D., An Introduction to Satellite Image Interpretation, 1997.

O previsor Pasch prognosticava pelas 03:00 UTC de 24 de Novembro que muito em breve o seu movimento deixaria de ser para sul (nas próximas

<sup>22</sup> Dvorak baseia a sua técnica na análise de imagens de satélite, através das quais são catalogadas as diferentes configurações das bandas nublosas associadas às várias fases de desenvolvimento das tempestades tropicais, permitindo prever a sua evolução. Além da interpretação das imagens de satélite, é utilizado um modelo físico-matemático de desenvolvimento das tempestades. Technical Note N.º 153, OMM, *The Use of Satellite Imagery in Tropical Cyclone Imagery Analysis*. Cortesia, Rasquinho, Olavo - Ciclones Tropicais, Aspectos Gerais.



36 horas), havendo assim, uma perda das características tropicais quando o seu movimento se dirigisse para águas mais frias.

No entanto, as imagens de IR mostravam a TTD a organizar-se, embora a área convectiva associada permanecesse pequena.

O dia 24 foi caracterizado pelo fortalecimento da tempestade tropical, inclusive, os modelos apontavam a possibilidade de tomar a classificação de furacão. Ora estava estacionária, ora seguia o caminho de sudoeste, ora trocava o sudoeste pelo sul. A TTD vagueava pelo oceano e o seu movimento era muito irregular. Deste modo, a sua referência ao Arquipélago dos Açores apresentou os seguintes dados: 1185 milhas (1910 km), 1145 milhas (1845 km) e 1160 milhas (1865 km), sempre a sudoeste. Os ventos de tempestade estenderam-se até 260 milhas (415 km) e 230 milhas (370 km) do seu centro. Conforme a tabela 3, a TTD apresentou ventos sustentados de 60 kt, tanto às 15:00 como às 21:00 UTC, valores muito próximos da classificação de furacão, que necessita de ventos sustentados superiores a 64 kt. Ver figura 13.

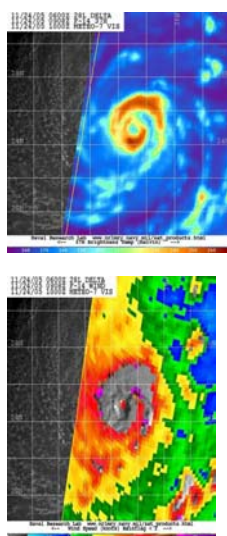


Figura 13: Imagens de satélite de 24 de Novembro de 2005, utilizando vários aplicativos para assinalar as características do olho da tempestade. Cortesia de Naval Research Laboratory, Marine Meteorology División, Monterrey, Califórnia.

No início do dia 25 o centro da tempestade estava a 1215 milhas, 1955 km a sudoeste das ilhas dos Açores e continuava com o seu movimento devagar, devagarinho, para sul, sendo possível, pelos previsores do NHC, algum movimento irregular nas próximas 24 horas. Inicialmente, o vento sustentado permaneceu nos 60 kt e os ventos de tempestade estenderam-se até 185 milhas, a 295 km do seu centro. O previsor Knabb, do NWS TPC/NHC de Miami, afirmou no Boletim das 03:00 UTC, que a possibilidade de a tempestade se transformar em furacão, categoria 1, ainda existia, mesmo que fosse por um breve período de tempo, isto é, enquanto persistisse o vento sustentado na ordem dos 60 kt e a pressão do centro com 980 hPa. O WS deveria começar a aumentar nas próximas 36 horas, vindo a induzir uma gradual tendência para o enfraquecimento. Deste modo, a TTD deveria começar a deslocar-se em direcção ao Norte, sobre águas oceânicas mais frias e brevemente alcançaria a designação de extratropical.

A TTD continuou o seu movimento errático, confundindo tudo e todo, os modelos físicos, os prognósticos do NHC, ao fazer um pequeno movimento para oeste-sudoeste, direcção oposta ao previsto e aumentando a distância para as Ilhas dos Açores (1225 milhas, 1975 km). No Aviso n.º 8 do NHC, às 15:00 UTC, era difundida a informação que a TTD estava menos organizada e progredia para Sudoeste, ficando centrada a 1270 milhas, 2040 km a sudoeste dos Açores. A intensidade dos ventos sustentados tinha diminuído para os 55 kt e os ventos de tempestade estendiam-se a 160 milhas, a 260 km do seu centro.

Os modelos físicos indicavam que a tempestade deixaria a componente sul (mais uma vez...) nas próximas 12 horas, retrocedendo para norte ou nortenordeste. A ideia generalizada apontava

a direcção nordeste para o movimento da TTD e, seguidamente para leste nas 72 horas, aproximando-se das Ilhas Canárias ou Marrocos mas já numa fase de dissipação. Às 21:00 UTC, encontrava-se centrada a 1290 milhas, a 2075 km a sudoeste das Ilhas dos Açores, a intensidade dos ventos tinha descido para os 50 kt e os ventos de tempestade sentiam-se a 150 milhas, a 240 km do seu centro, que possuía uma pressão atmosférica de 984 hPa.

### 2.1.1 As ferramentas de diagnóstico

Pela análise das 00:00 UTC de 24 de Novembro do modelo global do ECMWF, com vento horizontal a 10 m em kt, figura 14, constata-se a existência de uma circulação depressionária centrada na proximidade de 25N40W, que corresponde à TTD. A temperatura a 2 m é da ordem dos 25°C.

A evolução da ciência ficou a dever-se, em boa parte, ao chamado conhecimento científico, objectivo e controlado. A importância dessa forma de conhecimento não é igual em todos os ramos do saber. A curiosidade permanente, a observação sistemática, o equilíbrio ponderado, a objectividade rigorosa e o bom-senso da sabedoria levam ao conhecimento da atmosfera, através da frieza dos dados científicos. A realidade do conhecimento da previsão do estado do tempo em situações inerentes às potencialidades das tempestades tropicais, as suas excepcionais condições de formação, as situações de convecção profunda e de vortacidade, levam à utilização de algumas ferramentas de diagnóstico<sup>23</sup> (Pereira, 2003 e 2004) aplicadas às análises do ECMWF.

<sup>23</sup> Nota Técnica 1/2003, Ferramentas de diagnóstico – Aplicação aos modelos ALADIN e ECMWF, Parte 1, Janeiro 2003; Nota Técnica 1/2004, Ferramentas de diagnóstico – Manual de utilização, Parte 2, Janeiro 2004. Departamento de Vigilância Meteorológica, Divisão de Previsão Numérica, Processamento e Arquivo, Instituto de Meteorologia, Portugal.

Os **índices** de estabilidade são aplicados no estudo de situações *post mortem* e no diagnóstico de modelos conceptuais associados aos fenómenos meteorológicos que originam situações de tempo severo.<sup>24</sup>

Esta aplicação calcula a temperatura potencial equivalente e a pseudotemperatura potencial do termómetro molhado, a advecção de temperatura, a advecção de vortacidade e o integral da convergência da humidade específica, a diferença entre a temperatura aos nível dos 500 hPa e dos 850 hPa, a advecção e convergência da humidade específica, o vector Q, componente normal e tangencial, a divergência do vector Q e o parâmetro frontal térmico, de entre outros índices de estabilidade que constituem parte integrante deste estudo da TTD.

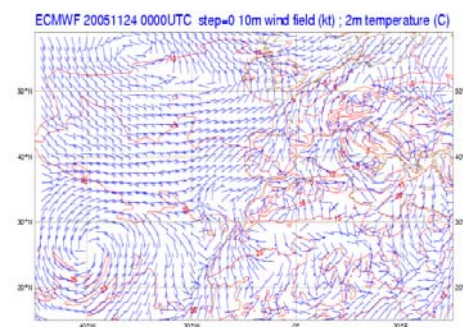


Figura 14: Análise do ECMWF no dia 24 de Novembro de 2005, às 00:00 UTC do vento horizontal a 10 m e temperatura a 2 metros. Em 25N40W, encontra-se centrada a TTD e a intensidade do vento apresenta valores da ordem dos 30 kt. Em latitude mais elevada um anticiclone que alimenta a tempestade tropical.

A convecção e a convergência são dois factores que assumem capital importância na potencialidade organizativa da ascensão de uma camada de ar. Nas condições de instabilidade que a atmosfera pode assumir; nos processos de nebulosidade e como resultado natural e coerente, a ocorrência de precipitação moderada ou forte. A convecção, associada a certos valores de temperatura e de humidade,

<sup>24</sup> Pereira, Margarida Belo, 2004: Nota Técnica 1/2004, Ferramentas de diagnóstico, Manual de utilização, Parte 2, Página 1.

principalmente nos níveis baixos da troposfera, assume a formação de nuvens que promovem aguaceiros ou chuva forte e trovoadas. Estas características de fortes movimentos verticais formam a gênese da convecção profunda. Por outro lado, a convergência proporciona que o ar suba numa determinada zona, vindo a favorecer a formação de nuvens e, quiçá, a consequente fraca, moderada ou forte precipitação.

No caso das tempestades tropicais, a precipitação forte está quase sempre associada a nuvens designadas por *cumulonimbus*, Cb, nuvens do tipo baixo, mas com grande desenvolvimento vertical que é proporcionado pela forte instabilidade existente na zona de impacto da tempestade.

Utilizando os parâmetros numéricos, também conhecidos por ferramentas de diagnóstico, obtidos através das análises do modelo global do ECMWF, permite determinar a existência ou não, de condições favoráveis de convecção profunda.

Após as análises do vento horizontal a 10 m e do geopotencial aos 300 e 500 hPa às 00:00 UTC do dia 24 de Novembro, assegurando e confirmando a existência da TTD em 25,9N40,5W, aplica-se a teoria dos índices de estabilidade e da convergência de humidade.

A advecção de temperatura, usando o nível dos 700 hPa, assume algum protagonismo na instabilidade atmosférica. De acordo com as noções de meteorologia sinóptica, a presença de advecção de ar quente nos níveis baixos da troposfera é condição essencial para a geração de convecção e ocorrência de precipitação moderada a forte.

A advecção de ar quente aos 700 hPa, está associada ao desenvolvimento de células convectivas, que na figura 15 está assinalada pela cor mais clara ao redor da TTD.

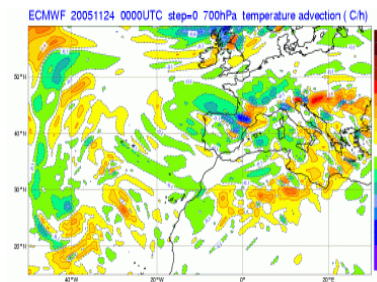


Figura 15: Advecção de temperatura aos 700 hPa. Análise do ECMWF das 00:00 UTC do dia 24 de Novembro de 2005 (isolinhas de 0,1 °C/H).

O parâmetro numérico que determina a convergência de humidade nos níveis baixos da troposfera é obtido através do integral da convergência da humidade específica entre os níveis dos 1000 hPa e dos 850 hPa.

A utilidade continua a residir na convecção, figura 16, para diagnosticar a ocorrência de aguaceiros fortes e trovoada. Os valores positivos abundam na zona da TTD, apresentando a cor verde.

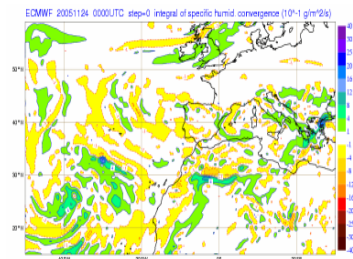


Figura 16: Integral da convergência da humidade específica na camada entre os 1000 hPa e os 850 hPa. Análise do ECMWF das 00:00 UTC do dia 24 de Novembro de 2005 (isolinhas de  $10^{-1} \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

O sistema quase-geostrófico de equações<sup>25</sup> é obtido pela equação da vorticidade quase-geostrófica e pela equação da termodinâmica. A primeira equação, resulta da eliminação do termo de torção e da advecção vertical de vorticidade, da substituição do vento real no termo de advecção pelo vento geostrófico e pela diminuição da

<sup>25</sup> Holton, James R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press.

vorticidade relativa em comparação com o parâmetro de Coriolis no termo da divergência. Na segunda equação, supõe-se que o vento real é substituído pelo vento geostrófico. A análise clássica conduz à equação da tendência do geopotencial, à equação Ómega,<sup>26</sup> à conservação da vorticidade potencial quase-geostrófica e ao conceito do vector  $Q$ , componentes normal e tangencial.

Do ponto de vista físico, a advecção anticiclónica leva ao aumento do geopotencial acima do nível de referência, enquanto a advecção ciclónica leva ao abaixamento do geopotencial. Deste modo, a espessura de uma camada centrada em  $p$  deve aumentar e, pela relação hipsométrica, a temperatura deve aumentar: para que a temperatura aumente deve ocorrer subsidência. Quando a advecção de vorticidade aumenta com a altitude, origina subsidência do ar e quando a advecção de vorticidade diminui com a altitude, implica ascensão do ar. Quando há advecção fria, a velocidade vertical,  $w > 0$ , que o mesmo é dizer, subsidência, enquanto que advecção quente leva ao movimento ascendente,  $w < 0$ .

Se houver convergência do vector  $Q$ , há movimentos verticais ascendentes ( $w < 0$ ); se houver divergência do vector  $Q$ , há movimentos verticais descendentes ( $w > 0$ ).

Um outro parâmetro numérico a interpretar a TTD é a humidade relativa<sup>27</sup> ao nível dos 700 hPa.

Os valores da humidade relativa aproximam-se dos 100 % na área envolvente ao centro da TTD e na franja colocada a leste do seu centro. A

ocidente o ar é bastante seco ao nível dos 700 hPa.

A primeira Lei da Termodinâmica diz que a quantidade de calor fornecida à unidade de massa de ar, ocupando o volume  $v$ , à pressão  $p$  e temperatura  $T$  é uma parte dela utilizada no aumento da sua energia interna e a restante utilizada no trabalho efectuado contra a pressão exterior durante a expansão.<sup>28</sup> Uma transformação diz-se adiabática quando se efectua sem troca de calor com o exterior. Nesta transformação a variação de energia interna do gás é devida ou ao trabalho efectuado pelo gás na expansão ou ao trabalho efectuado sobre ele pela compressão. No entanto, na atmosfera nenhuma transformação se pode considerar rigorosamente adiabática, atendendo que uma partícula de ar pode receber ou ceder calor por radiação, condução ou convecção, mas porque estes processos actuam lentamente numa partícula de ar animada dum movimento ascendente rápido pode desprezar-se a influência daqueles processos na variação de temperatura da partícula de ar e admitir-se que a transformação é adiabática.

Deste modo, devido ao decréscimo rápido da pressão com a altitude (aproximadamente 1 hPa por cada 10 m), quando uma partícula de ar se eleva, expande-se e a sua temperatura diminui, quando desce, é comprimida e a sua temperatura aumenta. Para tomar comparáveis as temperaturas do ar a altitudes diferentes, das medidas em estações a diferentes altitudes, torna-se necessário eliminar as diferenças de temperatura devidas às diferenças de pressão. Para isso, usa-se reduzir aquelas temperaturas a um nível padrão, sendo escolhido o nível dos 1000 hPa. Chama-se Temperatura Potencial (doravante,  $\theta$ ) à temperatura que uma partícula de ar teria se fosse levada adiabaticamente ao nível dos 1000 hPa.

<sup>26</sup> A equação Ómega, expressa em termos do vector  $Q$ , é definida pela expressão:

$$\left( \sigma \nabla^2 + \frac{f_0^2}{\partial p^2} \right) \omega = -2 \nabla \cdot \bar{Q}$$

<sup>27</sup> É a relação entre a quantidade de vapor de água existente na atmosfera, a uma determinada temperatura e aquela para a qual o ar ficaria saturado a essa mesma temperatura.

<sup>28</sup> Silva, A. Nunes, 1955: Meteorologia



A  $\theta_{sw}$  assume-se como uma característica de cada massa de ar e seria a temperatura a que ficaria uma massa de ar se fosse levada por um processo adiabático até ao nível de condensação e depois trazida por um processo pseudoadiabático até ao nível dos 1000 hPa.

A vorticidade do escoamento atmosférico em latitudes médias tem a ordem de magnitude de  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , sendo uma ordem de magnitude menor que a vorticidade planetária de terra,  $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ .

A vorticidade absoluta é o somatório da vorticidade planetária e a vorticidade relativa, isto é, a vorticidade do escoamento relativo à Terra e a vorticidade devido à rotação da Terra. Aliada a estes conceitos de rotação, está a força de Coriolis,<sup>29</sup> que é aparente e devida ao movimento de rotação da Terra, que actuando sobre a partícula de ar logo que esta inicia o movimento, sob a acção da força do gradiente, lhe altera a trajectória, desviando-a daquela que a partícula seguiria sob a acção da força do gradiente. Esta força depende da velocidade do corpo em movimento, e é nula, por definição, no caso de um corpo imóvel em um referencial em rotação. A força de Coriolis aparenta-se à força centrífuga, que depende da posição do corpo em relação ao centro de rotação. A força centrífuga é o componente estático da força de inércia que se manifesta no referencial de rotação, enquanto que a força de Coriolis é o componente dinâmico, que actua numa direcção normal à direcção do movimento da partícula, tendendo a desviá-la para a direita no Hemisfério Norte.

As análises do ECMWF no nível dos 300 hPa, mostram a existência da corrente de jacto no bordo oeste da TTD, que diminui gradualmente no dia

25, figura 17. Ao nível dos 850 hPa, a vorticidade está plenamente integrada na rotação da própria TTD, apresentando um escoamento turbulento giratório onde as linhas de corrente apresentam um padrão circular ou espiral ao redor do centro da tempestade.

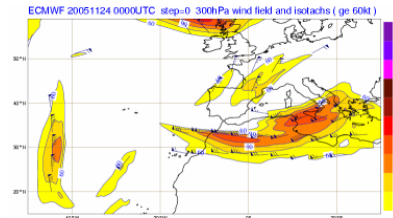


Figura 17: Corrente de jacto e isotáxicas ao nível dos 300 hPa. Análise do ECMWF, das 00:00 UTC de 24 de Novembro de 2005 (ge 60 kt).

O movimento vertical é a componente vertical do movimento da parcela do ar ( $w=dz/dt$ ). No sistema  $p$ , o movimento vertical nas coordenadas isobáricas é medido através da quantidade  $w=dp/dt$  e a sua unidade é  $\text{Pa s}^{-1}$ . A equivalência é aproximadamente dada por  $w \approx -g \rho w$ , onde  $g$  é a aceleração da gravidade e  $\rho$  é a densidade.

Os valores negativos de  $w$  representam movimentos verticais ascendentes e os valores positivos representam movimentos verticais descendentes. Na figura 18, os valores negativos estão representados a vermelho tracejado e os positivos a azul.

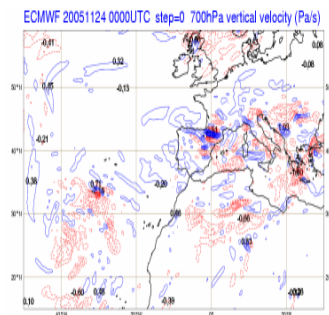


Figura 18: A variável meteorológica  $w$ , aos 700 hPa, representa a velocidade vertical do vento em coordenadas de pressão ( $\text{Pa s}^{-1}$ ). A componente vertical é usualmente 1000 vezes menor que a componente horizontal. No campo  $w$ , os valores negativos representam ar subindo e os positivos, ar descendo. As regiões de movimento ascendente estão sempre associadas a instabilidade atmosférica, ou seja ao

<sup>29</sup> Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843), matemático e engenheiro francês. Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps, 1835.

Segundo a teoria geral, a tropopausa é o nome da camada entre a troposfera e a estratosfera, situada a uma altura média em torno dos 13 km. A troposfera tende a assumir uma maior espessura nas regiões dos trópicos e nas proximidades do equador, onde chega a atingir quase 20 km.

As propriedades da tropopausa e em especial a sua continuidade, a sua homogeneidade e espessura, dependem das condições troposféricas de cada zona. De um modo geral, todos os efeitos climáticos e fenómenos meteorológicos que ocorrem no nosso quotidiano são produzidos na troposfera e as variações climáticas de curto prazo são assinaturas relevantes. A temperatura diminui com a altitude, ao ritmo de um grau por cada cento e oitenta metros, isto é, quase seis graus por cada mil metros. A maior parte do vapor de água que se encontra na atmosfera localiza-se na troposfera, fazendo com que na estratosfera não existam nuvens. A ausência de nuvens nas camadas superiores deve-se ao facto de que a temperatura tende a ser estável não existindo transferência térmica.

Os mapas da tropopausa foram obtidos através da Vorticidade Potencial Isentrópica sendo construídos de forma a encontrar o nível isobárico, onde se encontram características de ar estratosférico que é caracterizado por valores superiores a 1,5 PVU (unidades de vorticidade potencial), no caso presente de 2 PVU.

Os mapas propostos representam a *topografia* simplificada da tropopausa, visto que indicam a que nível isobárico se encontram os afundamentos, podendo-se avaliar as intrusões da estratosfera e até que nível elas se projectam. Consequentemente, avaliar a importância do fenómeno que decorre dado que, quanto maior for o afundamento da tropopausa, maior será

o cavamento da perturbação à superfície.

A corrente de jacto (ver figura 17) aos 300 hPa, apresenta ar estratosférico, mais quente e mais seco, à esquerda e ar troposférico à direita.

Situa-se imediatamente abaixo da tropopausa e na região de inclinação da mesma, encontrando-se nas imediações da zona de afundamento da tropopausa. Nas análises do ECMWF, das 12:00 UTC do dia 24 de Novembro de 2005, figura 19, a intrusão da estratosfera projecta-se até aos 300 hPa e com maior incidência às 12:00 UTC.

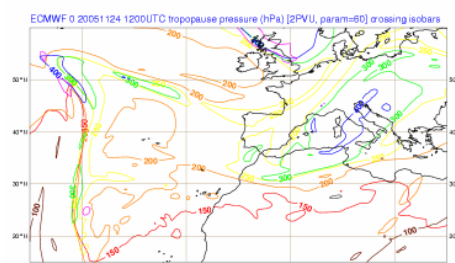


Figura 19: Mapa da tropopausa, construído de modo a encontrar o nível isobárico com características de ar estratosférico, usando o valor da referência de 2 PVU. Análise do ECMWF das 12:00 UTC de 24 de Novembro de 2005 (isóbaras espaçadas de 50 hPa).

O afundamento da tropopausa está situado no bordo oeste da TTD, coincidente com a corrente de jacto aos 300 hPa. Na análise do ECMWF das 00:00 UTC do dia 25, figura 20, a intrusão de ar estratosférico está inserido na circulação da TTD ao nível dos 300 hPa, tanto no bordo norte como no bordo oeste, inclusivé, em 25N42W, há uma pequena secção que assinala o afundamento da tropopausa até ao nível isobárico dos 400 hPa. Às 12:00 UTC, a intrusão de ar estratosférico não está totalmente caracterizado no mapa da tropopausa, que indica um pequeno afundamento aos 400 hPa em 24N40W.



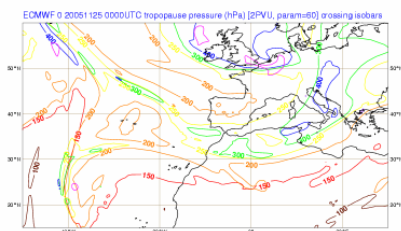


Figura 20: Mapa da tropopausa, usando o valor da referência de 2 PVU. Análise do ECMWF das 00:00 UTC de 25Nov2005 (isóbaras espaçadas de 50 hPa).

## 2.2 Os dias 26, 27 e 28 de Novembro

Andou errante pelo meio do Oceano Atlântico no seu caminhar solitário, sem encontrar o caminho ideal para se definir em concordância com os modelos numéricos. A afirmação da TTD no seu primeiro ciclo de vida, não consegue disfarçar um certo tom de enfraquecimento, vindo de quem já atingiu a maturidade e sente começar a apagar-se o esplendor da sua existência.

Neste segundo ciclo de vida da TTD, a análise da temperatura superficial das águas do oceano, SST, no período de uma semana que terminou em 26 de Novembro, mostrava uma pequena diminuição em relação ao valor definido na semana anterior. A carta de anomalia da análise da temperatura superficial, no mesmo período de tempo, não é conclusiva, pois indicava uma possível anomalia negativa.

Nas primeiras horas do dia 26 a TTD estava centrada em 21,9N 39,8W e continuava no seu movimento lento para sul, encontrando-se a 1350 milhas (2170 km) a sudoeste dos Açores. O vento máximo sustentado indicava uma intensidade de 50 kt e um mínimo de pressão de 990 hPa.

Os vários modelos dinâmicos são unânimes ao prever que a TTD irá cessar o seu movimento para sul, para iniciar o movimento à tanto esperado

para nordeste. Embora com uma probabilidade pequena, é nesta previsão para nordeste que aparece a Região Autónoma da Madeira: figura 21.

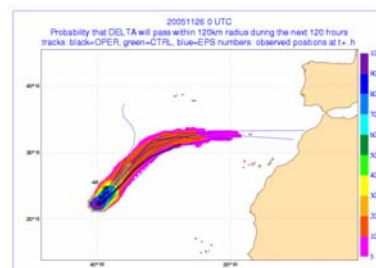


Figura 21: Previsão dos modelos em 2005Nov26, 00:00 UTC, usando as probabilidades de movimento da TTD nas próximas 120 horas. A Ilha da Madeira encontra-se na trajetória da TTD. Cortesia do ECMWF.

Os modelos descrevem uma tempestade muito debilitada que não sobrevirá para além das 72 horas, na melhor das hipóteses, com o vento sustentado a diminuir progressivamente, enquanto que a pressão no seu centro tende a encher. A Universidade de Wiscosin, USA, através do seu departamento que estuda parâmetros físico-matemáticos alusivos aos ciclones tropicais, Cooperative Institute for Meteorological Satellite (doravante, CIMSS), indicava que o WS (*wind shear*) era de 40 kt, condição necessária para o enfraquecimento da TTD. Como não fossem suficientes estas características para a vivência da TTD, há que acrescentar que ao deslocar-se para nordeste irá encontrar temperaturas da água oceânica inferiores a 26°C. A tendência para o enfraquecimento da tempestade tropical é uma realidade.

Às 15:00 UTC, a TTD estava centrada em 22,4N 38,1W, continuando o seu movimento para nordeste com uma velocidade de 15 km/h. O mínimo de pressão era de 997 hPa e o vento sustentado apresentava um valor muito próximo da desclassificação, isto é, passagem para a denominação de depressão tropical, atendendo a que a intensidade encontrada para o vento sustentado (baseada no modelo de Dvorak) ser de apenas 35 kt (ver tabela

2). Os ventos de tempestade estendiam-se até 145 milhas (230 km) do centro da TTD, que apresentava uma circulação bem definida e com a faixa de nuvens convectivas colocada a leste do centro.

De um modo inesperado, a TTD adquire velocidade e atinge o valor de 26 km/h na sua trajectória para nordeste. Mantendo a pressão mínima e a intensidade do vento sustentado e prevendo-se um aumento do WS, a TTD chega ao final do dia 26 de Novembro com um prognóstico *muito reservado*. A temperatura da água oceânica tende a ser mais baixa e cada vez mais fria. Reunidos todos os condimentos anteriores, implicam um enfraquecimento antecipado e a TTD deverá tornar-se extratropical no prazo de 36 horas. Assim falavam os modelos dinâmicos!

As imagens de satélite, peças importantes em qualquer cenário de caracterização, mostram a evolução da TTD ao longo do dia 26, figura 22.

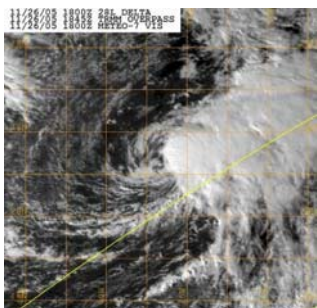


Figura 22: A TTD às 18:00 UTC de 26Nov2005; numa imagem de VIS, Meteo 7, TRMM Overpass. Cortesia de Naval Research Laboratory, Marine Meteorology División, Monterrey, Califórnia.

A TTD continuou a sua aceleração para nordeste, encontrando-se centrada em 24,2N 34,6W no início de 27 de Novembro, com uma velocidade de 35 km/h e vento máximo sustentado a continuar nos 35 kt. De acordo com os modelos dinâmicos a TTD irá mudar de rumo, rodará em direcção a leste, devido à influência da corrente de oeste associada a um campo depressionário existente na Europa Ocidental.

O acordo quanto à direcção prevista é unânime, mas, existe discordância quanto à velocidade de *cruzeiro* da TTD. A previsão do NHC/TPC indica velocidades mais elevadas para o deslocamento para leste/nordeste em relação aos outros modelos. Às 00:00 UTC, a trajectória da TTD continua a apresentar uma probabilidade de vir a alcançar e influenciar o estado do tempo na Ilha da Madeira. O mesmo acontece na trajectória definida às 12:00 UTC. Os meios de salvaguarda de vidas humanas (doravante, SVH) e materiais necessitam de estar em alerta.

A TTD continua a produzir bandas de nuvens convectivas em que os seus topos atingem temperaturas da ordem dos  $-70^{\circ}\text{C}$  ou mais frias<sup>30</sup>. A convecção está tão activa como se fosse o início da sua maturidade, o início da sua vida como tempestade tropical. Estes aspectos encontraram eco no valor da pressão mínima que diminuiu de 998 hPa para 993 hPa

Embora em águas oceânicas mais frias e com a previsão de se tornar muito em breve em extratropical, a TTD continuava a fortalecer-se e a deslocar-se com velocidade entre 39 e 43 km/h. Às 15:00 UTC, estava centrada em 27,7N 30,8W, a 795 milhas (1280 km) a oeste das Ilhas Canárias, com uma pressão de 990 hPa e um vento máximo sustentado de 45 kt. A TTD tanto se fortalece como acelera o seu movimento.

Nas últimas horas de 27 de Novembro, o previsor Franklin do NHC, apresentava as condições iniciais e as previsões de posição e ventos máximos sustentados para as próximas horas:

27Nov/21 UTC	29,0N 28,5W	60 kt
28Nov/06 UTC	29,8N 24,7W	50 kt

<sup>30</sup> Comunicado n.º 15 do NWS NHC/TPC de 27Nov2005, às 09:00 UTC, elaborado pelo previsor Pasch.

28Nov/18 UTC 30,0N 19,5W 45 kt  
Extratropical

29Nov/06 UTC 29,7N 14,0W 40 kt  
Extratropical

29Nov/18 UTC 29,3N 09,0W 30 kt  
Extratropical

A pressão mínima da TTD era de 982 hPa. Auscultando a pressão mínima e o vento máximo sustentado, a TTD esteve de novo muito próxima de atingir a classificação de furacão categoria 1. Os modelos numéricos apontavam para o enfraquecimento continuado, devido à temperatura da água oceânico e ao forte WS que se verificava. Nas últimas horas, a trajectória prevista indicava a Ilha das Canárias, principalmente a Ilha de La Palma, onde era possível a ocorrência de ventos fortes, mesmo com a debilidade assegurada pelos modelos numéricos. De assinalar que os ventos associadas à TTD se estendem a 140 milhas (220 km) do seu centro.

Em apenas 12 horas, os ventos associados à força de tempestade da TTD estendem-se para mais longe, de 115 milhas para 140 milhas, assumindo e contrariando a sua debilidade anunciada. A actividade e influência externa da TTD registam um incremento de 25 milhas (35 km).

O NHC faz o prognóstico de rota para as Ilhas Canárias e costa de Marrocos, rumando a leste, bem próxima da Ilha da Madeira. Neste final de época de ciclones tropicais no Atlântico Norte, a hipótese de *landfall* no antigo Saara Ocidental ou Marrocos é algo de novo, uma característica tropical que atingirá a costa ocidental africana em finais de Novembro de 2005. Foi um dia caracterizado por convecção, por velocidade aceleradora, por valor de pressão atmosférica baixo, por intensidade de vento sustentado alto, por efeitos externos de tempestade mais extensos, por WS elevados, por temperatura de água oceânica mais fria, de entre outros parâmetros. No entanto,

o final da sua vida como tempestade tropical estava próximo.

No dia 28, às 03:00 UTC, o previsor Knabb do NHC/TPC afirmava que a TTD se dirigia gradualmente para leste e a 475 milhas (765 km) a oeste da Ilha de La Palma, no arquipélago das Canárias. O centro da tempestade tinha as coordenadas 29,3N 26,1W, movia-se com uma velocidade de 43 km/h, os ventos de tempestade estendiam-se a 140 milhas (220 km) e apresentava um vento máximo sustentado de 55 kt. Nas suas palavras, o prognóstico para a TTD era o enfraquecimento nas próximas 24 horas, ao mesmo tempo que perdia as suas características tropicais, devido ao facto de se mover sobre águas oceânicas com temperatura superficial da ordem dos 22°C. A camada estável de estratocumulos situada na parte norte, começou a cobrir a parte oeste da circulação da TTD, enquanto que ar seco iniciou intrusão na parte sudoeste.

Ao tornar-se extratropical nas próximas 24 horas, a TTD irá manter no seu âmago as características de uma tempestade tropical, que quase atingiu a categoria 1 de furacão, razão pela qual permanecerá um sistema bastante potente, possuindo uma probabilidade de ocorrência muito elevada entre 65 e 95%, de provocar ventos fortes e com rajadas muito fortes no momento em que atravessar as Ilhas Canárias, ou mesmo a costa do antigo Saara Ocidental, e de Marrocos como apontavam todos os modelos dinâmicos. Os ventos fortes também eram possíveis na Ilha da Madeira, embora a trajectória do centro da TTD não estivesse orientada directamente para a Região Autónoma. A probabilidade de tal vir a acontecer tinha diminuído, inferior a 35%, no decorrer do dia 27. No entanto, não deverão ser esquecidos os fenómenos adversos que estarão associados à proximidade da TTD.

Muito em breve a TTD irá tornar-se extratropical, sendo previstos

ventos muito fortes na Ilha das Canárias e na Ilha da Madeira. A maior probabilidade na trajectória está na parte norte do Arquipélago dos *Guanches*,<sup>31</sup> obrigando a que fossem emitidos avisos meteorológicos por parte do Instituto de Meteorologia de Portugal e do Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha.

A meio da manhã estava centrada em 30,2N 23,3W, aproximadamente a 345 milhas (560 km) a oeste da Ilha La Palma, com vento máximo sustentado de 55 kt e deslocando-se para leste com uma velocidade de 46 km/h. A pressão mínima era de 988 hPa e os ventos de tempestade estendiam-se até 145 milhas (230 km) do centro.

O epílogo aproximava-se. Após vaguear tantos dias em pleno Oceano Atlântico, quase sem rumo aparente, a TTD iniciava uma cavalgada rápida para nordeste ao encontro do Aviso n.º 20.

O NHC informou que a TTD tinha passado a extratropical às 15:00 UTC, a oeste das Ilhas Canárias, em 30,3N 20,1W, embora mantendo ainda características de tempestade sob a Madeira e Canárias. Estava centrada a 250 milhas (400 km) a sudoeste da cidade do Funchal na Ilha da Madeira e a 175 milhas (285 km) a noroeste da Ilha de Palma nas Canárias. Movia-se para leste a uma velocidade de 48 km/h, pressão mínima de 988 hPa e vento máximo sustentado de 55 kt. A génese da TTD iria passar entre os dois arquipélagos com ventos de tempestade a serem registados até às 175 milhas (280 km) do centro.

A figura 23 mostra o desenvolvimento da TTD.

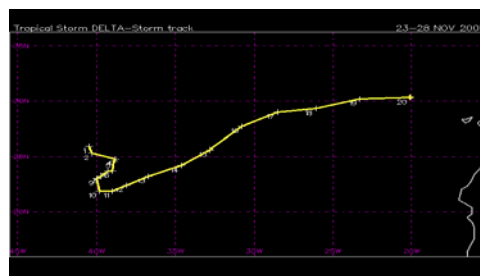


Figura 23: Percurso da TTD desde o início da sua designação como tempestade tropical, Aviso 1, até ao momento em que foi considerada extratropical, Aviso 20. A tempestade tropical Delta iniciou o seu esplendor a 23 de Novembro e após dificuldades, recuos e avanços, terminou a sua vivência como tempestade tropical em 28 do mesmo mês. Cortesia do TPC/NHC, Miami, Florida, USA.

O êxodo da TTD foi glorioso, a marcha triunfal e galopante ao encontro de África, a caminhada que foi passeio e se tornou *fiesta* quando a busca se tornou em encontro. Todos os modelos numéricos lhe traçaram um caminho, mas teimava em seguir o seu próprio roteiro, afim de celebrar *landfall* na terra árida de Marrocos. Desde o princípio é caminhada fora de época, mas com convecção profunda em águas mornas, em que o *olho* não é definido mas quase alcança o estado de furacão por duas vezes, um tempo de vida curto em que a meta estava longe.

A figura 24 ilustra o último dia da tempestade tropical a quem chamaram de Delta no ano de 2005.

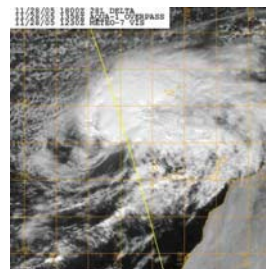


Figura 24: TTD às 18:00 UTC de 28Nov2005, em imagem VIS. Cortesia de Naval Research Laboratory, Marine Meteorology División, Monterrey, Califórnia.

<sup>31</sup> Antigos habitantes das Ilhas Canárias, com civilização neolítica à data da ocupação deste arquipélago pelos espanhóis no ano de 1479.

## IV INFLUÊNCIA NA REGIÃO AUTÓNOMA DA MADEIRA

### 1. O fluxo informativo

A suavidade do seu movimento inicial, a incerteza na procura da direcção definitiva, a sua liberdade em pleno Oceano Atlântico até encontrar o momento certo, a decisão de alcançar o desejo de ficar na história, a profundidade de *conquistar* a glória, levou a TTD a rumar para leste-nordeste com uma velocidade que não estava prevista pelos modelos numéricos e que habilmente tentavam prognosticar o seu desenvolvimento.

As decisões, as mudanças, as vontades, a aventura que inicialmente previa a passagem do centro da TTD pela Ilha da Madeira levou a que fossem emitidos avisos meteorológicos pelo Instituto de Meteorologia (doravante, IM) de Portugal, para a Região Autónoma, no momento em que a certeza da sua aproximação estava confirmada. No dia 27 de Novembro pelas 17:35 UTC o IM emitia o Comunicado n.º 75/2005 para a Madeira:

Devido à aproximação da tempestade tropical Delta ao Arquipélago das Ilhas Canárias, devendo localizar-se em 29,5N 21,5W às 12h do dia 28, mas já como tempestade extratropical emite-se:

Para o Arquipélago da Madeira

Aviso AMARELO de Precipitação.

No período de 2005-11-28T06 a 2005-11-29T00

Períodos de chuva, por vezes forte.

Aviso AMARELO de Agitação Marítima relativo a Altura Significativa das Ondas.

No período de 2005-11-28T06 a 2005-11-29T00

Ondas de norte, tornando-se leste com 3,5 a 4,5 metros.

Aviso AMARELO de Vento relativo a Velocidade Média.

No período de 2005-11-28T06 a 2005-11-29T00

Vento do quadrante leste com 50 km/h a partir da manhã, em especial nas zonas montanhosas.

Os procedimentos estabelecidos para salvaguarda de vidas humanas e bens materiais foram desencadeados. Tratou-se do primeiro, de quatro comunicados enviados pelo IM para a Região Autónoma da Madeira, tendo como cenário a TTD, mas numa situação de depressão extratropical. Às 16:11 UTC, de 28 de Novembro, o IM emitia o Comunicado n.º 77/2005 para a Madeira:

Na sequência do comunicado anterior e de acordo com o último comunicado do Centro de Miami, a depressão tropical “Delta” encontrava-se às 15 horas de hoje dia 28NOV2005, em 30,3°N, 20,1°W, ou seja a cerca de 400 km a sudoeste da Madeira. Prevê-se o seu deslocamento para leste nas próximas 24 horas, e às 00 horas de 29NOV, estará posicionada em 30,3°N, 15,6°W (altura em que estará mais próxima da Madeira), já como depressão extratropical. Assim, a partir do final do dia de hoje e até final da manhã de amanhã dia 29, prevê-se um agravamento do tempo, em termos de quantidade de precipitação, intensidade do vento e agitação marítima. Em conformidade, emite-se no período de: 2005-11-28T17 a 2005-11-29T11

Aviso AMARELO para o Arquipélago da Madeira:

Precipitação

Chuva por vezes forte e acompanhada de trovoadas a partir do final do dia.

Vento Médio e Rajada Máxima

Vento do quadrante leste com (50 a 70 km/h) e rajadas da ordem dos 80 km/h.

Altura Significativa das Ondas

Costa Norte: Ondas de nordeste com 4 a 6 metros.

Costa Sul: Ondas de sueste com 4 a 6 metros.

O que restava da TTD continuava a ser líder com humildade. Numa Região Autónoma com altas montanhas e cursos de água com trajectos sinuosos, com vivências habitacionais diversificadas e turistas de várias cidades e países, a receptividade dos avisos de fenómenos meteorológicos adversos ficou marcada pela *sabedoria* do acatamento e preparação dos meios de salvaguarda, atendendo à impossibilidade técnica, por exemplo, de quantificar, na

exactidão, dos valores da precipitação prevista.

Pelas 05:20 UTC de 29 de Novembro, era emitido o último Comunicado, o n.º 78/2005:

A passagem que ocorreu durante a noite de hoje, da tempestade tropical Delta pelas Ilhas Selvagens em deslocamento para leste está a dar origem a agitação marítima forte. Dá-se no entanto por terminado os avisos de precipitação e vento forte, continuando a manter-se:

Para o Arquipélago da Madeira.

Aviso AMARELO de agitação Marítima relativo a Altura Significativa das Ondas no período de: 2005-11-29T05 a 2005-11-29T18.

Ondas com 4 metros, diminuindo gradualmente ao longo do dia.

Acontecimentos associados a tempestades tropicais ou a depressões extratropicais, como é o caso presente, representam complicações para o quotidiano, verdadeira ameaça para as actividades comerciais e industriais, nas vias de comunicação, nas actividades piscatórias e de recreio, nos transportes aéreos, nas prováveis anomalias na distribuição de energia eléctrica, que em unísono nos tempos modernos, podem e representam uma paralisação da economia. O IM ao emitir os Avisos Meteorológicos para a Ilha da Madeira, depois de identificar a relevância do fenómeno e tendo como aliado o NHC, comunicou com várias horas de antecedência as condições favoráveis a sistemas convectivos profundos, afim de serem criadas alertas que viessem a minimizar todos os efeitos negativos que sempre estão interligados a este tipo de *vigor* meteorológico.

O relevo da Ilha da Madeira é muito acidentado, com os pontos culminantes na parte central, onde predominam o Pico Ruivo com 1862 m, o Pico do Areeiro com 1818 m e o Pico das Torres com 1851 m, descendo vertentes abruptas para a costa norte e mais suaves para a costa sul.

As ribeiras apresentam declives muito acentuados, 55 a 85% na maioria dos casos.

A Região Autónoma da Madeira é constituída pelas Ilhas da Madeira e do Porto Santo e pelos Ilhéus Desertas e Selvagens. O Ilhéu das Selvagens é composto por Selvagem Grande, Selvagem Pequena e Ilhéu de Fora. As coordenadas deste ilhéu, aproximadamente em 30N 16W, coincidem com as coordenadas de passagem do centro da ex-TTD às 00:00 UTC do dia 29 de Novembro, em 30,2N 14,6W. A pressão atmosférica era de 988 hPa e a intensidade do vento atingiu os 55 kt.

A passagem da ex-TTD ocorreu, realmente, na Região Autónoma da Madeira. Não ocorreu na sua maior ilha, mas num ilhéu situado a sueste da ilha principal. Não há qualquer informação de estragos naturais na passagem deste acontecimento. A figura 25 exemplifica a afirmação.

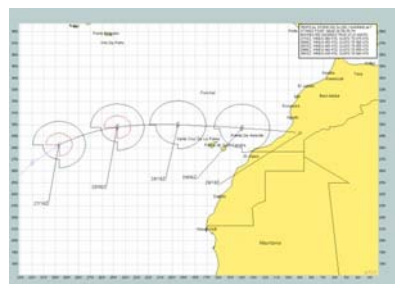


Figura 25: Trajectória e raio de influência da TTD, afectando o ilhéu das Selvagens, pertencente à Região Autónoma da Madeira. Cortesia da ATCF.

O Ilhéu das Selvagens está situado a cerca de 163 milhas da Ilha da Madeira e representam o extremo sul do território nacional. Para defender a avifauna marinha, foi criada em 1971, a Reserva Natural das Ilhas Selvagens, uma das mais antigas Reservas Naturais de Portugal e possui o Diploma Europeu do Conselho Europeu. Contribuindo para a manutenção da biodiversidade mundial, o Ilhéu das Selvagens desempenha uma gestão relevante na vida selvagem, de que se destacam por



ordem de contribuição, sabendo de antemão que existe uma interligação nas áreas abrangentes.

1. Protecção de áreas de nidificação de aves marinhas pouco comuns;
2. Protecção duma flora com algumas espécies únicas;
3. Manutenção dos stocks de pesca daquela área do Oceano Atlântico.

Tratando-se de um recanto da Natureza com elevado interesse científico na fauna e flora, e considerado por alguns como um *santuário ornitológico*, tem vigilância permanente a cargo do Corpo de Vigilantes da Natureza, fazendo parte do Serviço do Parque Natural da Madeira. Este inóspito e remoto extremo sul de Portugal, coberto por uma vegetação ímpar<sup>32</sup> e com pouca parceria no mundo actual, registou a actividade da intempérie resultante da passagem da depressão extratropical Delta no seu caminhar para Marrocos.

A figura 26 reproduz o Ilhéu das Selvagens e o seu contexto existencial no Oceano Atlântico, entre as Ilhas da Madeira e das Canárias, um minúsculo ponto oceânico onde a avifauna é soberana.

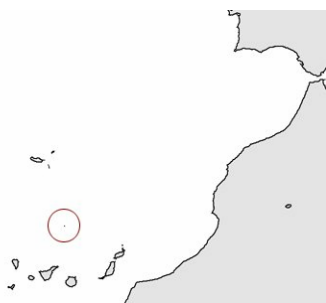


Figura 26: Ilhéu das Selvagens, santuário ornitológico situado a 163 milhas da Ilha da Madeira, parte integrante da Região Autónoma da Madeira e extremo sul do território de Portugal.

<sup>32</sup> Parque Natural da Madeira, Reserva Natural das Ilhas Selvagens, onde a vegetação, outrora usada com fins comerciais através da apanha da urzela, líquenes do género *Nemaria*, era exportada para a Flandres.

## 1.1 Os diagramas termodinâmicos

Os tefigramas têm por finalidade obter informações para a representação da atmosfera livre, sobre a distribuição vertical da pressão, sobre a temperatura, sobre a humidade e vento, quer direcção e intensidade, visando o estudo das propriedades físicas da atmosfera nos seus aspectos dinâmicos. São compostos por vários conjuntos de linhas, designadas por isóbaras, isotérmicas, adiabáticas secas,<sup>33</sup> adiabáticas saturadas e linhas de razão de mistura saturada.

As transformações adiabáticas são um processo em que a massa de ar considerado não recebe nem cede calor ao ar circunvizinho.

Em cada ponto do tefigrama passam cinco linhas, uma isotérmica em que a  $T$  é constante, a já citada adiabática seca, em que a entropia é constante ou a temperatura potencial, uma isobárica em que a pressão é constante, uma linha de igual razão de mistura de saturação, que são designadas em  $gkg^{-1}$ , que o mesmo é dizer, uma parte de vapor de água por 1000 partes de ar seco e, finalmente, a linha que traduz o processo adiabático saturado, em que é constante a temperatura potencial do termómetro molhado, que define a temperatura atingida por uma partícula quando é levada, através de um processo adiabático saturado até ao nível de pressão dos 1000 hPa.

Quando uma parcela de ar sobe na atmosfera, a sua temperatura decresce com a taxa adiabática seca até ao Nível de Condensação por Elevação (doravante, NCE, na literatura anglo-saxónica LCL, *Lifting Condensation Level*), quando o ar se torna saturado. As adiabáticas secas são expressas em °C. Quando o processo for adiabático, a

<sup>33</sup> Adiabática seca, indica a taxa de variação de temperatura numa parcela se ar seco subindo ou descendo adiabaticamente, isto é, sem perda ou ganho de calor pela parcela.

variação de temperatura será aproximadamente de  $1^{\circ}\text{C}^{34}$  por cada 100m de mudança de altitude. Esta variação denomina-se por gradiente adiabático seco.

Repetindo o mesmo processo ascendente, quando uma parcela de ar sobe na atmosfera, a sua temperatura decresce com a taxa adiabática seca até ao NCE e o ar torna-se saturado. Se o ar continuar a subir para além do NCE, há condensação e subseqüentemente formação de nuvens, libertação de calor latente e a temperatura diminui numa proporção praticamente constante de  $0,65^{\circ}\text{C}$  por cada 100m numa variação denominada por gradiente adiabático saturado.

Esta varia com temperatura e com o conteúdo em vapor de água, logo é variável de local para local e de dia para dia. O gradiente adiabático saturado é sempre inferior ao gradiente adiabático seco, podendo-se determinar a estabilidade do ar, comparando a temperatura da parcela ascendente com a temperatura da vizinhança, vulgarmente designada por temperatura ambiente.<sup>35</sup>

O gradiente vertical da temperatura ambiente é de  $0,4^{\circ}\text{C}$  por cada 100m. Se este gradiente for menor que o gradiente adiabático saturado a camada é absolutamente estável, a parcela de ar resiste a ascender e tende a retomar a sua posição original, já que é mais fria ou quente do que o ambiente.

Não favorece os movimentos verticais. O ar da camada não se mistura e qualquer perturbação que se forme na atmosfera tende a ser imediatamente

neutralizada, por exemplo, a poluição não se pode dispersar e acumula-se junto ao solo.

Se o gradiente vertical da temperatura for maior que o gradiente adiabático seco, a camada é absolutamente instável, a parcela acelera ao ascender já que é mais quente do que o ambiente. Favorece os movimentos verticais. Qualquer pequena perturbação tende a crescer rapidamente e é suficiente para revolver o ar numa camada da atmosfera. As camadas mais altas da atmosfera só muito raramente são absolutamente instáveis. Ocorre geralmente numa fina camada junto ao solo em dias muito quentes.

No entanto, se o gradiente vertical da temperatura for maior que o gradiente adiabático saturado, mas menor que o gradiente adiabático seco, sempre que o gradiente vertical da temperatura está entre o gradiente adiabático saturado e o gradiente adiabático seco, a camada é condicionalmente instável, isto é, será instável se a camada estiver saturada (sobe pela adiabática saturada,<sup>36</sup> fica mais quente e acelera a ascensão) e será estável se a camada estiver seca (sobe pela adiabática seca, fica mais fria que o ambiente e tende a retomar a sua posição).

- a) Gradiente adiabático seco =  $1,0^{\circ}\text{C}$  por cada 100m;
- b) Gradiente adiabático saturado =  $0,65^{\circ}\text{C}$  por cada 100m;
- c) Gradiente vertical da temperatura ambiente =  $0,4^{\circ}\text{C}$  por 100m.

Há ainda a noção de gradiente superadiabático quando o gradiente

---

<sup>34</sup> Numa amostra de ar seco, em expansão adiabática, a taxa de variação da temperatura do ar com a altitude é de  $9,8^{\circ}\text{C}$  por km.

<sup>35</sup> Acima do nível de condensação, a partícula segue um processo de expansão adiabática saturada. Há diminuição da razão de mistura de vapor por acção da condensação. Ao mesmo tempo ocorre libertação de calor latente, o que produz um atraso no arrefecimento. Conhecendo o nível máximo atingido no processo de ascensão pode determinar-se no tefograma, o estado final e a concentração em água líquida da nuvem condensada. Conforme Miranda, Pedro (2001).

---

<sup>36</sup> Adiabática saturada, representa a taxa de variação de temperatura numa parcela de ar saturado subindo pseudoadiabaticamente, assumindo que todo o vapor condensado é imediatamente precipitado à medida que a parcela do ar sobe e que o correspondente calor latente de condensação fica para a parcela, diminuindo a taxa de arrefecimento quando comparada ao processo seco.

vertical da temperatura excede o gradiente adiabático seco.

A atmosfera é estável quando a diferença de temperatura entre a parcela de ar e a vizinhança é pequena. Ocorre quando o ar superior aquece.

Quando o ar superior é substituído por ar mais quente e não há trocas apreciáveis com o ar da superfície, o gradiente vertical da temperatura diminui. Ocorre quando há arrefecimento do ar superficial durante a noite e madrugada, e em noites de Inverno com céu limpo, forte arrefecimento nocturno junto ao solo, a camada de ar vizinho arrefece, temperatura muito mais baixa que a existente a umas centenas de metros de altitude.

Ocorre quando o ar se move sobre uma superfície fria, quando há um transporte de ar frio motivado pelo vento.<sup>37</sup> Condições de atmosfera estável podem causar uma camada de nevoeiro que permanece junto à superfície.

Continuando a dissertação sobre a análise do tefigrama e os mecanismos associados à estabilidade atmosférica, uma partícula estável pode tornar-se instável se for forçada a elevar-se acima do Nível de Convecção Livre (doravante, NCL, na literatura anglo-saxónica LFC, *Level of Free Convection*) obtido pela intersecção da adiabática saturada com a curva de estado da temperatura. A partícula torna-se mais quente e menos densa que o ambiente e tem toda a liberdade para subir, sem forçamento até ao nível em que a sua temperatura iguala a do meio ambiente.

Este nível recebe o nome de Nível de Equilíbrio (doravante, NE, da literatura anglo-saxónica, EL, *Equilibrium Level*). Para que haja instabilidade latente, é preciso existir

um mecanismo que force a elevação da partícula até que se atinja o NCL e que o teor de humidade nos níveis baixos da troposfera seja elevado para que a partícula atinja, inicialmente, o NCE<sup>38</sup> e finalmente o NCL. Partindo do traçado gráfico do NCE, do NCL e do NE encontram-se áreas limitadas pela curva de estado e pela curva de evolução de uma partícula elevada a partir da superfície.<sup>39</sup> Estas áreas energéticas definem a instabilidade latente real e a instabilidade pseudolatente, intimamente associadas ao desenvolvimento vertical de nuvens, que poderão originar tempo severo com aguaceiros e trovoadas.

Pela teoria, a instabilidade convectiva ou dita potencial, ocorre quando em conjunto há forte gradiente vertical de temperatura e forte diminuição de humidade à medida que a partícula sobe em altitude.

“A ausência de instabilidade potencial numa camada é condição suficiente para que essa camada não possua instabilidade latente. Contudo, a presença de instabilidade potencial não é condição suficiente para que exista instabilidade latente. A instabilidade latente requer que exista instabilidade condicional, enquanto que a instabilidade potencial é independente do gradiente vertical da temperatura da camada.”<sup>40</sup>

No mecanismo, o ar saturado segue o gradiente adiabático saturado à medida que arrefece em altitude. O ar não saturado, por seu lado, segue o gradiente adiabático seco enquanto arrefece na sua subida.

Segundo Costa *et al* (1999) os indicadores convectivos são o Índice de Ascensão Forçada (doravante LI, termo anglo-saxónico, *Lifted Index*) a Energia Potencial Disponível para a Convecção (doravante, CAPE, termo anglo-saxónico, *Convective Available*

<sup>37</sup> Gouveia, Célia, 2000; Dissertação de Mestrado, orientador Pereira, J. Carlos e co-orientador Câmara, Carlos: Metodologia para o cálculo da dispersão de efluentes nas cimenteiras de Souzelas e Maceira do Liz em função da Climatologia Local.

<sup>38</sup> Também designado por **Ponto Normand**.

<sup>39</sup> Costa, Vanda e Almeida, Mário, 1999: Convecção em Portugal Continental, I - Principais conceitos termodinâmicos.

<sup>40</sup> *Ibidem*, página 8.

Potencial Energy) e o Inibidor da Convecção (doravante, CIN, termo anglo-saxónico, *Convective Inhibition*).

No primeiro índice o LI tem como referência o nível isobárico dos 500 hPa. Quando o LI apresenta valores negativos é um modo de indicar condições de instabilidade. No oposto valores positivos, são sinónimo de situações estáveis. Exprime-se em °C.

O CAPE é a área definida pela curva de estado T da partícula a partir do nível NCL e até encontrar o nível NE, vulgarmente designada pela energia da área positiva que caracteriza um tefigrama.

O CAPE é uma medida da energia do calor latente susceptível de ser libertado e transformado em energia cinética e potencial no seio das correntes convectivas.<sup>41</sup> A sua unidade é o  $\text{Jkg}^{-1}$ .

O CIN, exprime a área entre a curva de estado T até alcançar o nível NCL, também designada por área negativa num tefigrama. É um complemento do CAPE e define-se como a energia necessária para que a partícula alcance o NCL. A partir deste nível toma lugar a convecção.

Um diagrama termodinâmico, ou um tefigrama, nada mais é do que um gráfico, em que as suas coordenadas representam algumas variáveis termodinâmicas. Por exemplo, a partir da temperatura e da pressão com facilidade se obtém o valor da razão de mistura de saturação.<sup>42</sup>

A figura 27 mostra as duas áreas em jogo. A partícula do ar sobe e arrefece até ao nível NCE, que é a base da nuvem, seguindo a linha da adiábata seca. A partir daqui, seguirá a linha da adiábata saturada para atingir o NCL. Ao alcançar este nível a partícula continuará a subir e estará mais quente do que o meio ambiente até

ao nível NE, também designado por alguns *expergitu* na matéria, como o nível de impulsão nula. Conforme afirmações anteriores, o tefigrama ao definir áreas, estabelece energias que assumem as variações da energia cinética da partícula. O CIN simboliza a perda de energia cinética da partícula do ar até alcançar o NCL. A energia que foi doada à partícula, o lucro do seu esforço afim de alcançar o NE é a simbologia que geralmente se atribui ao CAPE e condição *sine qua non* para a formação de sistemas convectivos intensos. Quando os seus valores são muito elevados, origina a ocorrência de trovoadas e aguaceiros fortes.

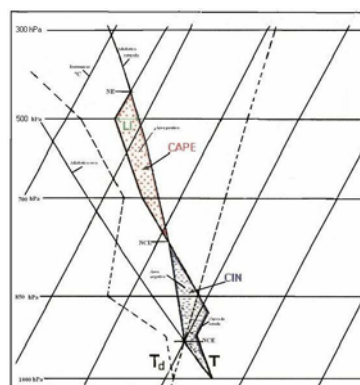


Figura 27: Áreas energéticas CIN e CAPE, definidas num diagrama termodinâmico, tefigrama, pela curva de estado e pela linha de evolução de uma partícula de ar obrigada a subir desde a superfície. Estão assinalados os níveis NCE, NCL e NE, bem como a representação existencial do LI. Cortesia de Costa e Almeida (1999). Arranjos de JDACT.

No dia 27 de Novembro, às 12:00 UTC, o perfil da atmosfera sobre a Região Autónoma da Madeira apresentava-se estável, sem convecção possível. O valor de CAPE era muito baixo,  $92 \text{ jkg}^{-1}$ , o CIN indicava ausência de inibição convectiva, pois o seu valor era de  $0 \text{ jkg}^{-1}$ . Os valores preferenciais de CIN variam entre  $0 \text{ jkg}^{-1}$  (isto é, nenhuma inibição convectiva) e os  $-500 \text{ jkg}^{-1}$ . Não havendo CIN, o início da convecção generaliza-se e a energia do CAPE é absorvida, negando todas as premissas para que os valores da instabilidade convectiva possam ser atingidos.

<sup>41</sup> Ibidem, página 10

<sup>42</sup> Miranda, Pedro, 2001: Meteorologia e Ambiente, Universidade Aberta.

A água precipitável total, (doravante, TPW, termo anglo-saxónico, *Total Precipitation Water*) é definida como a quantidade expressa em altura ou em volume, que seria obtida se todo o vapor de água contido numa determinada coluna específica da atmosfera, de secção recta unitária, fosse condensada e precipitada, entre a superfície e o nível isobárico dos 296 hPa, à mesma hora de 27 de Novembro, era de 16 mm ( $\text{lm}^{-2}$ ). Existe algum desenvolvimento nebuloso do tipo baixo, no caso emergente de nuvens com a designação de estratocúmulo.

No dia seguinte, 28 de Novembro, a estrutura do tefigrama apresenta um traçado totalmente diferente. Embora o valor de CAPE seja inferior ao dia anterior,  $70 \text{ jkg}^{-1}$ , o CIN permaneça em  $0 \text{ jkg}^{-1}$ , o valor de TPW nesta sondagem das 12:00 UTC seja muito elevado, o total de água precipitável até ao nível dos 300 hPa é de  $29,2 \text{ mm} (\text{lm}^{-2})$ , e o valor que o LI apresenta ser muito positivo, afirmando que não há condições convectivas. A curva de estado (P,T) está alinhada com a adiabática saturada. O traçado das curvas principais é indiciador de muita humidade e condições para ocorrência de chuva persistente, quiçá moderada a forte. O vento à superfície tem uma direcção do quadrante leste de intensidade em geral fraca, rodando para sudoeste e aumentando de intensidade, associando-se à corrente longa que existia na atmosfera relativa ao nível dos 500 e 300 hPa.

A ainda TTD, encontrava-se às 15:00 UTC, a su-sudoeste da Ilha da Madeira, em 30,3N e 20,1W, com 988 hPa, conforme mostra a figura 28. O forte desenvolvimento vertical aproximava-se dos Ilhéus Selvagens (zona castanho-avermelhada) enquanto que na zona envolvente da Ilha da Madeira o predomínio era de chuva contínua. O tefigrama assinala este acontecimento, conforme a figura 29,

onde as curvas de estado (P,T) e (P,T<sub>d</sub>) seguem paralelas e praticamente unidas, desde a superfície até ao nível dos 300 hPa. A TPW confirma a elevada quantidade de água na coluna específica da atmosfera circundante da Ilha da Madeira. Como exemplo, antes de analisar as quantidades de precipitação registadas pela passagem da ex-TTD, a observação efectuada às 09 h UTC de 29 de Novembro, registava na estação meteorológica de Santo da Serra uma precipitação (período de 24 horas precedentes) de 127,3 mm.

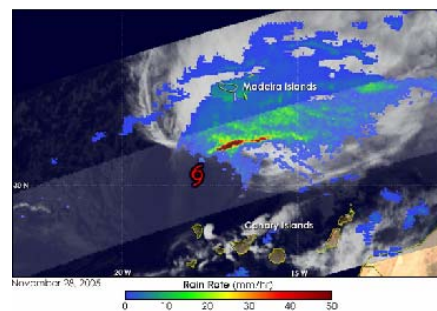


Figura 28: Posicionamento da TTD em 28 de Novembro, a su-sudoeste da Ilha da Madeira, assinalando conjuntamente o tipo de instabilidade atmosférica e a quantificação da precipitação por hora. Cortesia Earth Observatory, Nasa.

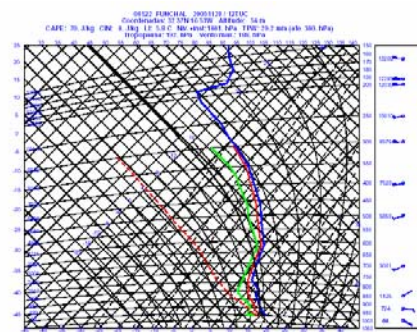


Figura 29: Tefigrama do Funchal às 12:00 UTC de 28 de Novembro de 2005, com as curvas de estado (P,T) e (P,T<sub>d</sub>) e as curvas (P,T<sub>sw</sub>) e (P,T<sub>dsw</sub>). Cortesia do IM.

A 29 de Novembro, os indicadores convectivos expressavam os seguintes valores: CAPE =  $176 \text{ jkg}^{-1}$ ; CIN =  $-4 \text{ jkg}^{-1}$ ; LI =  $-0,9 \text{ °C}$ . A água total precipitável era de  $14,8 \text{ mm} (\text{lm}^{-2})$  até aos 334 hPa.

O índice de ascensão forçada, LI, pronuncia-se na possibilidade de ocorrência de trovoadas, mas há necessidade de um mecanismo forçador.

Este nível, como depende da temperatura dos 500 hPa e esta pode não ser representativa da temperatura do ambiente, nem sempre reproduz valores de instabilidade. O inibidor convectivo, CIN, existe, mas apenas algumas células convectivas se irão formar nos locais onde o mecanismo forçador para ascensão das partículas do ar for maior. Usando a própria definição de CAPE e de CIN, a altura do NCE é um dado importante na identificação da região onde a iniciação convectiva tem maior teor de probabilidade. Para um mesmo movimento forçador, quanto mais baixo for o NCE, maior será a impulsão convectiva.

A área positiva, definida pelo CAPE, é maior em relação aos dias anteriores, dias 27 e 28, mas não é totalmente afirmativa na medida do tipo de convecção, fraca a moderada ou moderada a forte. Há uma certeza, o inibidor convectivo não é nulo mas muito perto de o ser ( $-4 \text{ jkg}^{-1}$ ). Segundo Costa *et al* (1999), para CAPE superior a 0 (zero) e nos casos com convecção, a amplitude diminui e varia entre  $-100$  e  $0 \text{ jkg}^{-1}$ , predominando os valores nulos. Ainda salientam os autores, que o valor médio pesado varia até aos  $-42,8 \text{ jkg}^{-1}$  nos casos com convecção moderada a forte. Para o caso do LI, o valor da média pesada referente aos casos de convecção moderada a forte é de  $-0,7$  °C.

Este último valor, baliza o valor de LI no diagrama termodinâmico de 29 de Novembro. Deste modo, há uma probabilidade média que assinala condições para ocorrência de convecção, dentro de um ambiente com potencial para gerar acelerações ascendentes.

O tefograma das 12:00 UTC mostra um perfil da atmosfera em que a curva de estado acompanha a atmosfera *standart* propícia a alguma instabilidade com ocorrência de aguaceiros e períodos de chuva. A componente do

vento é de noroeste a todos os níveis. Pode afirmar-se, que o diagrama termodinâmico de 29 de Novembro de 2005, às 12:00 UTC, quase nada diz respeito à ex-TTD. É uma situação típica da acção conjunta de um anticiclone localizado a norte da Ilha da Madeira e uma depressão centrada a lés-sueste do arquipélago, no caso presente, a ex-TTD centrada em território de Marrocos.

## 1.2 O estado do mar e os modelos numéricos

Os oceanos constituem, ainda hoje, uma incógnita para o ser humano, uma barreira imposta pela atmosfera e a energia própria das ondas. Os trabalhos de investigação têm vindo a contribuir para o desenvolvimento de tecnologias para explorar as fronteiras do oceano, especialmente em condições adversas. As ondas originam dificuldades nas actividades piscatórias e de recreio, nas zonas portuárias e de abrigo, mas principalmente zonas costeiras devido à sua enorme força e energia.

As ondas de águas abertas ou ondas de superfície são forças cíclicas de energia na superfície da água. No alto mar fazem com que a superfície da água se mova para cima e para baixo e para baixo no plano vertical.

A onda de energia tem dificuldade em mover-se para a frente, excepto em condições associadas a condições muito tempestuosas. É o caso presente!

Segundo a teoria das ondas,<sup>43</sup> estas são principalmente formadas pela força do vento contra a água. Com o aumento da intensidade do vento, começa a verificar-se um desalinho ou distúrbio na superfície do mar, que aumenta progressivamente e origina a formação das ondas. As que são formadas por tempestades em alto-mar

<sup>43</sup> Pires, H. Oliveira., 1994: Modelação Numérica das Ondas Geradas pelo Vento, Tese de Doutoramento, IST.



pela acção do vento, viajam dum modo geral, por muitas centenas de milhas em mar aberto, até que a energia do vento as dissipa com a quebra das mesmas nas areias da praia.

A altura e força das ondas geradas pelo vento dependem:

- a) Intensidade do vento;
- b) Distância percorrida sobre a superfície da água;
- c) Tempo em que persiste a duração do vento.

As ondas são medidas por diversos modos a saber: **1.** O tempo que demora para que uma onda seja criada, ou seja, para que duas cristas de ondas consecutivas passem num dado ponto, recebe o nome de Período de Onda; **2.** O Comprimento de uma onda, mede a distância horizontal entre duas cristas consecutivas da mesma onda, ou então, por outras palavras, a distância entre dois vales consecutivos da mesma onda. **3.** A distância vertical entre a crista e o vale de uma onda (o ponto mais alto da onda é a crista e o ponto mais baixo é o vale) chama-se Altura da Onda.

No Comunicado de Aviso Meteorológico para a Ilha da Madeira, com o n.º 75/2005 de 27 de Novembro, havia uma referência ao estado do mar nas 20 milhas adjacentes ao arquipélago. A carta de análise do MAR 3G, do dia 2005/11/27 às 12:00 UTC, mostrava para a região da Madeira ondas de norte com 3,5 a 4,0 m. A TTD encontrava-se centrada em 25,6N 32,8W às 09:00 UTC, originando ondas de SW com 5 a 6 m, aproximadamente em 25N30W, de acordo com a mesma análise.

O modelo de agitação marítima, MAR 3G, na sua descrição paramétrica do estado do mar, com base na análise de 27 de Novembro às 12:00 UTC, previa um aumento progressivo da altura das ondas para as 20 milhas da Ilha da Madeira e com maior referência para a costa sul. A tabela 4, ilustra os

prognósticos elaborados a partir da análise MAR 3G.

Previsão para 2005/11/28, 12:00 UTC

Local	Descrição			
	HS (m)	TPOT (s)	DPOT (grau)	HMX6 (m)
Madeira (Mar alto)	3,2	9,5	11	6,4
Porto Moniz	2,9	10,4	18	5,8
Santana	2,8	10,9	24	5,5
Ponta do Garajau	1,8	6,5	168	3,6
Funchal	1,6	6,5	180	3,3
Funchal (Bóia IH)	1,7	6,4	177	3,6
Cidade Vila Baleira	1,5	5,7	153	3,0

Previsão para 2005/11/29, 00:00 UTC

Local	Descrição			
	HS (m)	TPOT (s)	DPOT (grau)	HMX6 (m)
Madeira (Mar alto)	4,3	7,8	80	8,6
Porto Moniz	3,2	7,9	32	6,5
Santana	3,1	7,9	40	6,2
Ponta do Garajau	3,2	7,5	161	6,5
Funchal	2,9	7,7	176	6,0
Funchal (Bóia IH)	3,1	7,5	168	6,3
Cidade Vila Baleira	2,9	7,3	150	5,8

Previsão para 2005/11/29, 12:00 UTC

Local	Descrição			
	HS (m)	TPOT (s)	DPOT (grau)	HMX6 (m)
Madeira (Mar alto)	3,9	7,7	5	8,0
Porto Moniz	3,6	7,5	8	7,3
Santana	3,3	7,5	19	6,6
Ponta do Garajau	2,1	7,9	164	4,2
Funchal	1,8	8,5	189	3,6
Funchal (Bóia IH)	2,1	7,8	192	4,2
Cidade Vila Baleira	1,7	8,2	157	3,4

Tabela 4: Descrição paramétrica do estado do mar, modelo MAR 3G, com base na análise de 2005/11/27 às 12:00 UTC. Símbolos utilizados: **HS**, altura significativa; **TPOT**, período equivalente de potência; **DPOT**, direcção média de potência; **HMX6**, altura máxima mais provável em 6 horas. Cortesia do IM.

No Comunicado de Alerta (Aviso Meteorológico) para a Ilha da Madeira n.º 77/2005 de 28 de Novembro, o IM alerta para ondas de 4 a 6 m de altura, junto à costa Norte de NE e na costa Sul de SE.

A carta de análise do MAR 3G de 2005/11/28 às 12:00 UTC, indicava em 30N 18W, ondas de SW com 5 a 6 m.

Similarmente, a descrição paramétrica do estado do mar, modelo de agitação marítima MAR 3G, com base na análise de 28 de Novembro às 12:00 UTC, continuava a prever ondas com altura que estavam dentro do intervalo de alerta para a região, quer nas 20 milhas como junto à costa. Ondas com esta amplitude originam prejuízos na zona costeira, em especial numa zona protegida como a costa sul.

Aparentemente, olhando para os prognósticos previstos para o dia 29 às 12 UTC e para o dia 30 às 00 UTC, há uma diminuição na altura das ondas. É uma afirmação positiva! A ex-TTD esteve mais próxima da Ilha da Madeira entre as 18 UTC de 28 e as primeiras horas do dia 29, fazendo a sua passagem pelo Ilhéu das Selvagens nas primeiras horas do dia 29. Os registos do IH, referentes às bóias ondógrafos do Funchal e Caniçal, complementam os considerandos sobre o estado do mar e os modelos numéricos na Ilha da Madeira, conforme se apresenta na figura 30.

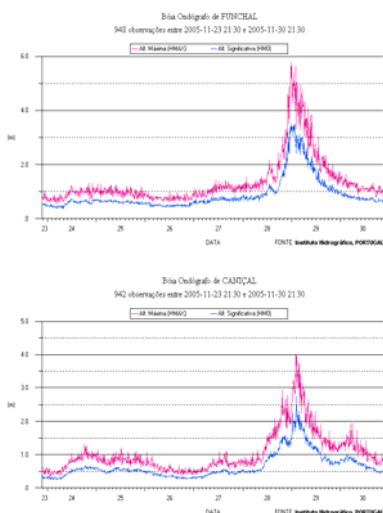


Figura 30: Registo da bóia ondógrafo de Funchal e de Caniçal, de mar e direcção no período de 23 a 30 de Novembro de 2005. Cortesia do IH.

### 1.3 A quantidade de precipitação e o vento

Qualquer acontecimento meteorológico que origine a ocorrência de precipitação sob a forma de chuva contínua ou de aguaceiros, gera da parte do cidadão comum um certo desconforto. É o Sol que não surge por entre as nuvens, é o elevado teor de humidade do ar, é a roupa molhada e sem possibilidade de a substituir por outra seca, é o resmungar porque nunca mais chega o Verão, é um infindável rol de desculpas e inconvenientes.

No entanto, se as quantidades de precipitação previstas atingem valores muito elevados, a preocupação alia-se ao raciocínio do cidadão comum, nunca perspectiva de assegurar a tranquilidade e salvaguarda dos seus bens e da comunidade onde está inserido. Com o aproximar de uma depressão extratropical, mas que mantém na sua génese uma depressão tropical, ou quiçá por breves horas um furacão de categoria 1, os avisos meteorológicos têm sempre o condão de prevenir para salvaguardar.

Uma ferramenta de previsão para o curto prazo e muito curto prazo está inserida nos prognósticos do modelo do ECMWF, nomeadamente na precipitação acumulada de 6 horas. Este parâmetro dá uma visão na globalidade, atendendo a que é constituído por linhas quantificadas. Quanto maior for essa quantificação, maior será a *mancha* expressiva da precipitação. No prognóstico do ECMWF para o dia 28 de Novembro às 12 UTC, torna-se quase impossível decifrar qual o valor total da precipitação acumulada em 6 horas. A previsão do modelo fisico-matemático afirma, dum modo explícito, que a precipitação associada à

TTD é muito elevada (é ex-TTD às 15 UTC).

No prognóstico seguinte, para H+30 (2005/11/28, às 18 UTC) a concentração da precipitação acumulada mantém-se a su-sudoeste da Ilha da Madeira. A *mancha* quantificada da precipitação em 6 h permanecia bastante perto, mas suficientemente longe para provocar uma catástrofe natural

A tabela 5 apresenta as observações às 09 UTC de 29 de Novembro na Madeira e Porto Santo. Tratando-se duma observação horária, não faz referência os valores registados em horas anteriores, principalmente no parâmetro vento. O valor mais elevado de precipitação em 24 horas, foi registado em Santo da Serra (660 m de altitude) com 127,3  $\text{lm}^{-2}$ . As estações meteorológicas de Areiro, Porto Santo e Ponta do Pargo apresentaram falhas na quantificação da precipitação ocorrida. Outro aspecto relevante, verifica-se com as horas de Sol descoberto, quer no Funchal e Porto Santo, apresentando um valor único, zero horas.

Estação	Alti (m)	Observações efectuadas às 09 h U.T.C.									
		Temperaturas do ar (°C)				Humid. do ar (%)	Vento		Estado do Tempo	Precip. (mm)	Estado do Mar
		Ts	Tw	T.Max. L.Min		dir	ff				
Areiro	160	3,0	3,0	6,6	1,3	100	N	27	ARUAGE ROS	84	-
Funchal/Obsevat	58	16,1	12,3	16,4	14,0	84	C	0	POUCO NUBADO	31,4	SE 1,5 M
Lugar de Baixo	15	16,4	12,4	17,3	14,4	83	C	0	POUCO NUBADO	38,2	-
Porto Santo	78	15,0	12,3	16,2	12,6	73	N	20	MUITO NUBADO	28	-
Szta Catarina/Aerop	49	14,4	11,8	16,0	13,2	72	VAR	7	MUITO NUBADO	58,4	-
Santana	380	12,0	11,4	13,6	10,1	93	-	-	ENCOBERTO	78,0	-
Santo da Serra	660	9,2	9,0	12,0	7,5	97	-	-	MUITO NUBADO	127,3	-
Ona Magnólia	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pta do Pargo	298	14,3	11,7	14,3	11,3	74	S	9	MUITO NUBADO	39	NW 2,5 M
Pta de S. Jorge	251	13,9	12,0	14,6	11,5	80	W	6	CHUVOSO	8,8	NBE 2,5 M

\* T Max, T Min : Precipitação referem-se a um período de 24 horas precedentes (09-09 UTC) \* ff 4 coposto em km/h

Temperatura da água do mar (°C) Funchal: 20 / S. Bento: 20 Horas de sol descoberto (das anteriores) Funchal: 0,0 / S. Bento: 0,0

Tabela 5: Boletim Meteorológico do dia 2005/11/29, às 09 UTC, da Delegação Regional da Madeira. A precipitação de 127,3  $\text{lm}^{-2}$  registada em 24 horas, em Santo da Serra, mostra a gravidade do acontecimento meteorológico. Cortesia do IM.

A direcção e intensidade do vento, assim como o valor da rajada máxima do vento nas estações meteorológicas, apresentaram algumas falhas de informação, nomeadamente o aeroporto de Santa Catarina, cidade do Funchal, a 49 m de altitude e Santo da Serra a 660 m de altitude.

A tabela 6, mostra a direcção, velocidade média e a rajada máxima do vento entre as 22 UTC de 28 e as 06 UTC de 29 de Novembro de 2005 na estação meteorológica do Areiro.

#### Estação Meteorológica do Areiro (1610 m)

VENTO			
Hora UTC	Direcção (graus)	Intensidade (km/h)	Rajada Máx. (km/h)
22	50	50	75
23	50	57	93
00	40	61	104
01	50	54	100
02	50	57	86
03	50	54	86
04	50	50	93
05	40	46	90
06	40	50	97

Tabela 6: Vento a 1610 m de altitude, na estação meteorológica do Areiro, com destaque para a rajada máxima de 104 km/h às 00 UTC de 29 de Novembro. Pesquisa de JDACT.

A tabela 7 mostra o vento entre as 23 UTC de 28 e as 06 UTC de 29 de Novembro de 2005 na estação de Calheta/Ponta do Pargo a 298 m de altitude.

#### Estação Meteorológica da Calheta/Ponta do Pargo (298 m)

VENTO			
Hora UTC	Direcção (graus)	Intensidade (km/h)	Rajada Máx. (km/h)
23	230	18	61
00	210	25	68
01	220	21	64
02	360	28	79
03	210	14	97
04	260	21	68
05	210	18	54
06	230	14	50

Tabela 7: Vento a 312 m de altitude, na estação meteorológica da Calheta/Ponta do Pargo, na parte sul da ilha, com destaque para a rajada máxima de 97 km/h às 03 UTC de 29 de Novembro. Pesquisa de JDACT.

Na estação meteorológica de altitude do Areiro, a predominância do

vento foi de nordeste, temporariamente de leste no final da tarde de 28. A velocidade média foi moderada no início do período mencionado, tornando-se forte a muito forte até às 06 UTC de 29 de Novembro.

A ocorrência de ventos máximos ocorreu entre as 23 UTC de 28 e as 01 UTC de 29 e com rajada máxima a ser registada às 00 UTC de 29 de Novembro.

Na estação meteorológica da Calheta/Ponta do Pargo, a 298 m de altitude, colocada na parte su-sudoeste da Ilha da Madeira, a direcção predominante do vento foi de sudoeste, inicialmente de norte, com intensidade essencialmente moderada e rajadas máximas a serem registadas entre as 00 e as 04 UTC de 29 de Novembro. O valor máximo de rajada ocorreu às 03 UTC com 97 km/h.

Estação Meteorológica de Porto Santo  
(78 m)

VENTO			
Hora UTC	Direcção (graus)	Intensidade (km/h)	Rajada Máx. (km/h)
23	20	25	54
00	360	39	61
01	360	39	64
02	360	39	<b>68</b>
03	360	36	61
04	360	32	50
05	350	28	50
06	330	25	46

A tabela 8, ilustra o vento na outra ilha da Região Autónoma, a ilha do Porto Santo. Mantendo o mesmo período de referência (entre as 23 UTC de 28 e as 06 UTC de 29) a direcção do vento rodou de sueste para norte, por vezes de noroeste e com intensidade essencialmente moderada a forte, embora espaçadamente fraca, entre as 19 e as 22 UTC de 28 de Novembro

## V

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Fim de Época? Presumo que a pergunta que me é feita ... tem a ver com o conhecimento e com o estatuto do conhecimento, designadamente do

conhecimento científico e técnico nas sociedades modernas neste fim de século”<sup>44</sup>

A Depressão Tropical Delta iniciou, talvez, com melhor ênfase, nasceu para a *vida* em final de época! A época da actividade do ciclo de furacões e de tempestades tropicais no Oceano Atlântico Central, no Mar das Caraíbas e no Golfo do México, que decorre de 1 de Junho a 30 de Novembro. A TTD começou o seu movimento pelo Oceano Atlântico às 21:00 UTC de 23 de Novembro de 2005, após a emissão do Aviso n.º 1 por parte do NHC, National Hurricane Center, em Miami, USA.

A vida da TTD e as suas manifestações, porque não será possível separá-la nem de uma coisa nem de outra: um caminho apressado em previsão para nordeste, dá lugar à certeza de um lento caminhar para sul, um enfraquecimento na sua força como depressão tropical, implica um estacionário movimento em pleno oceano. Mais, com ventos sustentados muito próximos de atingir a categoria de furacão classe 1 e ventos de tempestade a serem registados a cerca de 185 milhas do seu centro, dá lugar a um continuado movimento para su-sudoeste. A sua vida *independente* esteve sempre interligada à sua excepcional energia.

Como o itinerário de uma vida, que no caso presente não foi muito longa, mas que terá sempre uma significação de pública, porque mesmo em situação extratropical, ocasionou mortalidade e estragos materiais nas Ilhas das Canárias. Tratando-se de uma palavra grega, a quarta do seu alfabeto, utilizada somente quando se ultrapassa a letra W do nosso alfabeto, não está clarificado o método na sequência anual. Se, nas posteriores épocas de ciclones tropicais no Oceano Atlântico Central não for excedido o alfabeto, a

<sup>44</sup> Gago, José Mariano, 1997: A “Civilização Europeia” no Mundo do Século XXI: Fim de Época? Edição Fim de Século, Margens.

palavra Delta voltará a estar pré-inscrita na lista de 2011, referente à actividade dos ciclones tropicais no Mar das Caraíbas, no Golfo do México e Atlântico Central, pelo facto de não ter alcançado o *grau 1*, da escala de Saffir-Simpson na época de 2005. A WMO concebe anualmente 6 listas de nomes que são usadas em rotação, sendo retirados os furacões que originaram inundações e perdas humanas. Esta orientação tem sido revestida de sucesso, um critério que estabelece um calendário para anos futuros, por exemplo, os furacões Katrina, Rita e Stan não farão parte da lista para o ano de 2011. Novamente, como exemplo, Arlene (2005→2011), Cindy (2005→2011), Dennis em 2005, dará lugar a Don em 2011, José (2005→2011), Wilma em 2005, foi substituída por Whitney em 2011.

A TTD nasceu de uma vontade e por um impulso inicial de uma depressão extratropical no Oceano Atlântico que, no dia 19 de Novembro de 2005, estava centrada a lés-sueste das Ilhas das Bermudas, a cerca de 1050 milhas. Como apresentava propriedades e determinação sub-tropical, o NHC afirmou que estavam criadas as condições e os fundamentos para que em breve fosse classificada como tropical.

Em que medida a existência de um anticiclone, ao fazer bloqueio ao seu movimento para latitudes mais orientais, não originou uma nova lógica que reflectisse as características tropicais existentes e acelerasse a aquisição de propriedades cada vez mais definidas nos modelos fisico-matemáticos? Não deixa de ter significado esta ocorrência. A intensificação das trocas infra e extra desenvolvimento, o novo centro em 30N 40W, as perspectivas do seu movimento, levaram naturalmente o NHC a avaliar a intensidade do vento sustentado e a classificar o sistema

atmosférico. Tendo passado a ser um **facto**, com o n.º 95L para uns ou 28L para outros, iniciou o seu movimento para sul e para águas mais quentes, sendo classificada como a vigésima quinta tempestade da época e recebendo o nome de tempestade tropical Delta.

A dinâmica, determinante para o futuro da TTD ficou marcada em 25,9N 40,5W com uma pressão atmosférica de 982 hPa e possuindo um vento sustentado de 50 kt. Segundo o NHC, a euforia do seu *nascimento* vinha já com o anúncio da sua passagem a extratropical a 26 de Novembro às 18:00 UTC, contrariando inclusivé, a própria média dos casos estudados que é de cinco a dez dias. A inquietação perante um *futuro* incerto e a dúvida quanto ao seu movimento, já que o NHC previa que o movimento estabelecido pela TTD fosse o rumo norte, para que muito em breve se tornasse numa depressão extratropical, fez com que fizesse figura de permanecer afastada das realidades quotidianas e de se mostrar excessivamente intervencionista, manifestando-se num final de época de 2005 com sucessivos reajustamentos. O seu lento caminhar para o rumo sul ocorreu até às 09:00 UTC do dia 26 de Novembro.

Nestas 60 horas de existência, a TTD movia-se *preguiçosamente* para sul, temporariamente sudoeste, pondo em evidência o efeito e as interdependências com a temperatura da água oceânica, igual ou superior a 26,5°C numa camada com profundidade não inferior a 50 metros. Este impulso no seu desenvolvimento, permitiu que no dia 24, aproximadamente a 1215 milhas a sudoeste das Ilhas dos Açores e pelas 22:00 UTC, a TTD estivesse muito perto de atingir, se não atingiu momentaneamente por alguns minutos, a categoria 1 de furacão. Os requisitos mínimos são expressos na velocidade do vento, superior a 64 kt, e na pressão



atmosférica, igual ou superior a 980 hPa: a TTD apresentava vento máximo sustentado de 61 kt e pressão atmosférica de 980 hPa. O movimento para sul permanecia nos 5 kt e os ventos de tempestade estendiam-se até 185 milhas do seu centro.

Os modelos físico-matemáticos continuam a indicar o rumo nordeste, mas o rumo de assinatura é sul e inferior a 3 kt.

O elemento de equilíbrio no desenvolvimento verificado na TTD é obtido pela análise das imagens de satélite, ao reconhecer o tipo de nuvens que apresenta e o modo como variam no tempo, a intensidade e o aprofundamento do seu estágio. Mostra a melhoria conjuntural do painel associado ao movimento de relançamento verificado nos dias 24 e 25 de Novembro.

A análise em tempo real da temperatura superficial das águas do oceano e a anomalia em relação à média mensal de Novembro, segundo Reynolds, beneficiou favoravelmente a TTD e fez alternar a fase de movimento, ora sul, ora sudoeste, ou mesmo oeste.

A história da TTD até ao início da *cavalgada* rumo ao nordeste e posterior leste, apresenta-se, assim, como uma sucessão de ciclos fazendo alternar as fases de progresso rumo ao sul, a subida gradual do valor da pressão mínima, enquanto os períodos de vento sustentado registam uma diminuição muito lenta no tempo. O que se passa é que a TTD vai buscar a sua riqueza à diversidade das suas componentes estruturais, os diversos acontecimentos atmosféricos que coexistiam nas suas redondezas e nos diversos níveis de geopotencial, as correntes de jacto que a alimentam. A temperatura superficial das águas oceânicas estava ligeiramente acima dos 25,5°C e a corrente anticiclónica registava um pequeno fortalecimento. É a tentativa de uma

homogeneização obstinada contra o fracasso anunciado nos modelos.

Os parâmetros numéricos, obtidos através das análises do modelo global do ECMWF, confirmam a extraordinária autonomia da TTD. A desafiante complexidade da TTD, que andou errante pelo meio do Oceano Atlântico no seu caminhar solitário, sem encontrar o caminho ideal para se definir em concordância com os modelos numéricos. Fica evidente, que a afirmação da tempestade tropical no seu primeiro ciclo de vida, não consegue disfarçar um certo tom de enfraquecimento, vindo de quem já atingiu a maturidade e sente começar a apagar-se o esplendor da sua existência. A intensidade do vento sustentado atinge o mínimo de 35 kt e a pressão atmosférica ronda os 997 hPa.

Ao que creio, a perspectiva de ruptura sairá totalmente frustrada no segundo ciclo da vida da TTD, quando inicia o movimento para nordeste e aumenta a sua velocidade de deslocamento.

No segundo ciclo de vida da TTD, a análise da temperatura superficial das águas oceânicas mostrava uma pequena diminuição em relação ao valor definido na semana anterior e a carta de anomalia, embora não conclusiva, indiciava uma possível anomalia negativa.

Curiosamente, os vários modelos que abordavam a problemática da tempestade, tendem a seguir o mesmo padrão, que nas suas linhas gerais, correspondem a uma unanimidade em prever a cessação do movimento para sul, afim de iniciar o movimento, já tão desejado e esperado, para nordeste e posteriormente para leste. É, assim, um cenário com três movimentos ao qual o fecho corresponde a trajetória da TTD pela Região Autónoma da Madeira. Como qualquer outro conjunto de combinações, a probabilidade de ocorrência é muito pequena, não

deixando de contribuir para a problemática dos fenómenos adversos, que originam a intervenção dos Institutos de Meteorologia e elaboração de avisos de salvaguarda humana e bens materiais.

Os modelos descrevem uma tempestade muito debilitada, com vento sustentado a diminuir progressivamente e a pressão no seu centro a encher. A tempestade tropical não ganhava influência e as suas condições de crescimento era diminuto, facilitando a observância de que estava muito próximo de alcançar a *despromoção*, isto é, passagem para a denominação de depressão tropical, segundo o modelo de Dvorak. A indicação do *wind shear* era de 40 kt, condição necessária para o enfraquecimento da TTD, ao qual se associava a temperatura mais baixa da água oceânica.

O objecto de consenso por parte dos principais modelos numéricos, levantou todavia oposição e, quiçá, um pouco de paixão, por parte da TTD.

De um modo inesperado adquire velocidade e atinge o valor de 26 km/h na sua trajectória para nordeste, mantendo as mesmas características de intensidade de vento sustentado e pressão mínima. Condições que marcavam, no final do dia 26 de Novembro, as principais referências das suas reservas explícitas quanto ao prognóstico muito reservado que a ligava a um futuro muito próximo.

No entanto, novo cenário se desenvolve, desmentindo mais uma vez as teses programadas. A irreverência da TTD vai passar da dita relativa insignificância, dando progressivamente lugar ao reequacionamento da sua estratégia no campo convectivo.

O acordo quanto à direcção prevista continuava a ser unânime, mas existia antagonismo quanto ao valor da velocidade, dita de *cruzeiro* da TTD, permanecendo a probabilidade de ocorrência da trajectória vir a alcançar e

influenciar o estado do tempo na Ilha da Madeira. Os meios de salvaguarda começavam a estar num grau de alerta mais activo.

O efeito de produção de bandas de nuvens convectivas com topos extremamente frios, que tinham deixado de existir, fazem-se sentir no momento actual, dia 27, apontando no sentido de conter elementos favoráveis ao renovar do desenvolvimento convectivo. De facto, não surpreenderá a fundamentação de que a TTD se encontrava tão activa como se fosse o início da sua maturidade como tempestade tropical. Continuava a fortalecer-se e a deslocar-se para lés-nordeste com velocidade entre 39 e 43 km/h, sobre águas oceânicas mais frias e quase em vésperas de se tornar, segundo o NHC, em depressão extratropical. Olhando para este conjunto de acontecimentos, ficava-se com a ideia de que a realidade era bem diferente.

De facto, a realidade é um pouco diferente e é essa diferença, que aliada à flexibilidade e à eficácia demonstrada, torna a vivência da TTD como algo de novidade, de desafio, de energia, de vontade e de reflexão.

Nas últimas horas de 27 de Novembro, a TTD centrada em 29,0N 28,5W apresentava um vento máximo sustentado de 60 kt e uma pressão mínima de 982 hPa. Auscultando estes valores, a TTD esteve de novo, muito próxima de atingir a classificação de furacão categoria 1.

Os modelos numéricos continuavam na senda do enfraquecimento continuado, essencialmente devido à temperatura da água oceânica e ao forte WS que se verificava. A trajectória prevista indicava, dum modo mais claro, as Ilhas Canárias e em particular a Ilha de La Palma, onde era possível a ocorrência de ventos fortes, mesmo com a debilidade assegurada pelos modelos

numéricos. Em apenas 12 horas, os ventos associados à força de tempestade estendem-se para mais longe, até 140 milhas, assumindo e contrariando a sua debilidade tantas vezes anunciada.

O NHC faz o prognóstico de rota para as Ilhas Canárias e costa de Marrocos. Em final de época de ciclones tropicais no Oceano Atlântico Norte, a hipótese de *landfall* no antigo Saara Ocidental ou Marrocos era algo de novo, uma alteração quase radical das características tropicais. No essencial, mesmo tratando-se uma depressão extratropical, não deixa de ser um fenómeno fora da generalidade que às 06:00 UTC de 29 de Novembro, em 30,7N 10,9W, na faixa costeira ocidental de Marrocos, a pressão mínima seja de 992 hPa e a velocidade do vento da ordem dos 50 kt. Às 12:00 UTC, em 32,6N 6,6W, no interior de Marrocos, a pressão era de 1000 hPa e a velocidade do vento cifrava-se em 35 kt.

Foi algo de novo, algo de anormal em finais de Novembro de 2005, acontecer que uma característica tropical venha atingir a costa ocidental africana em latitude superior a 30°N. Poder-se-á pensar, como alguns já o afirmaram, «que é a resposta do planeta às variações climáticas, porque a mão do homem está na proliferação dos desastres naturais». Outros concluem que, «o aumento de fenómenos meteorológicos adversos se deve ao excesso de combustão em forma de muitas toneladas diárias de gases, que foram lançados para a atmosfera nos últimos 100 anos».

O que estava inicialmente previsto de que não ocorreria *landfall* veio a verificar-se, não numa situação de tempestade tropical, mas como uma depressão extratropical com características de furacão. É líquido, que a TTD cuidou bem da sua imagem, *elegantemente*, esforçou-se para atingir a categoria seguinte na

hierarquia dos ciclones tropicais no Oceano Atlântico Central, Mar das Caraíbas e Golfo do México: a de furacão categoria 1.

Globalmente não a conseguiu no contexto oficial, mas numa análise meramente protocolar e sobre certas disposições relativas ao tempo decorrido, (24/12→25/00), (27/12→28/00), talvez o mérito para o escalão seguinte tivesse ocorrido, nem que tal passagem fosse transitória, quiçá, momentânea. As observações e as imagens de satélite assim não a consideraram, na medida em que exerceram a tradição da neutralidade. Ligados ao mesmo modo de conhecimento científico, alguns modelos numéricos, desde cedo, previram a sua cessação definitiva de vida, rumando para norte segundo uns, ou permanecendo quasi-estacionária e dissipando-se, segundo o ponto de vista matemático de outros.

As decisões, as mudanças, as vontades, a aventura que inicialmente previa a passagem do centro da TTD pela Ilha da Madeira levou a que fossem emitidos avisos meteorológicos pelo Instituto de Meteorologia de Portugal, para a Madeira, no momento em que a certeza da sua aproximação estava confirmada.

Os procedimentos estabelecidos para salvaguarda de vidas humanas e bens materiais foram desencadeados. Foram emitidos quatro Avisos Meteorológicos de mau tempo, comunicados enviados pelo IM para a Ilha da Madeira, tendo como cenário a TTD, mas numa situação de depressão extratropical.

O que restava da TTD continuava a ser líder com humildade.

Numa ilha com altas montanhas o relevo é muito acidentado, com os pontos culminantes na parte central, onde predomina o Pico Ruivo com 1862 m, descendo vertentes abruptas para a costa norte e mais suaves para a costa

sul e cursos de água com trajectos sinuosos que apresentam declives acentuados, 55 a 85% na maioria dos casos. As vivências habitacionais são muito diversificadas, também por se tratar de uma Região turística, a receptividade dos avisos de fenómenos meteorológicos adversos é opção de valorização. As elevadas quantidades de precipitação registadas bem como a intensidade do vento, de entre outras caracterizações, fizeram com que os factos viessem a comprová-los.

A passagem do centro da ex-TTD ocorreu, realmente, na Região Autónoma da Madeira. O facto não foi registado na sua maior ilha, mas no Ilhéu das Selvagens, representante do extremo sul do território nacional, situado a sueste da ilha principal e a cerca de 163 milhas.

As coordenadas deste ilhéu são 30N 16W, dum modo aproximado, coincidindo com as coordenadas da passagem do centro da ex-TTD às 00 UTC do dia 29 de Novembro.

Não há qualquer informação de estragos naturais provocados na passagem deste acontecimento naquele recanto da Natureza, que é considerado por alguns como um *santuário ornitológico*. Após nove telefonemas para o Parque Natural da Madeira,<sup>45</sup> que superintende a Reserva Natural das Ilhas Selvagens, a resposta foi sempre inconclusiva.

No tocante ao estado do mar, principalmente na costa Sul, por se tratar de uma zona menos protegida, quanto mais intenso for o vento, maior é o atrito com a superfície da água do mar e a onda aumenta. Quando há sobreposição de ondas, a energia total é dada pelo somatório dessas energias com que vêm animadas. Na área dos acontecimentos, havia ondas vindas de N ou de NE, que se sobrepunham com

as ondas vindas de W ou de SW, geradas pelo vento que *brotava* da TTD.

O modelo de agitação marítima MAR 3G, na sua descrição paramétrica previu para as 00:00 UTC de 29, ondas com altura significativa de 4,3 m de leste nas 20 milhas e de 3,2 m de nordeste junto à costa Norte em Porto Moniz; para a costa Sul a parametrização era de 3,2 m de sueste para a Ponta do Garajau, de 2,9 m de sul para o Funchal, de 3,1 m de sueste para a bóia do Funchal pertencente ao Instituto Hidrográfico e de 2,9 m de sueste na Cidade Vila Baleira, na costa Sul da Ilha de Porto Santo. A mesma descrição paramétrica apontava para uma altura máxima em seis horas que era essencialmente o dobro dos valores indicados.

A análise do MAR 3G das 18 UTC de 28, indicava ondas com 4,3 m de leste nas 20 milhas (máximo de 8,7 m em 6 h), ondas com 3,0 m de sul no Funchal (máximo de 6,1 m em 6 h) e ondas com 3,0 m de sueste na Cidade Vila Baleira (máximo de 6,0 m em 6 h). Na análise das 00 UTC de 29, apresentava ondas com 5,2 m de nordeste nas 20 milhas (máximo de 10,3 m em 6 h), ondas com 3,1 de sul no Funchal (máximo de 6,2 m em 6 h) e ondas com 3,1 m de sueste na Cidade Vila Baleira (máximo de 6,3 m em 6 h). Na análise das 06 UTC de 29, os valores de ondas apresentavam uma ligeira diminuição, passando a ser ondas de norte com 4,7 m nas 20 milhas.

Estes valores de altura de ondas confirmaram os valores de mar previstos pelo IM nos Avisos Meteorológicos para a Madeira.

Os registos das bóias ondógrafos do Funchal e do Caniçal do Instituto Hidrográfico na costa Sul da Ilha da Madeira no período de maior actividade, indicaram altura máxima de ondas com 5,5 m e altura significativa de ondas com 3,2 m com a direcção de su-sueste junto à cidade do Funchal.

<sup>45</sup> Devido a férias, visitas exteriores, reuniões diversas, impossibilidades, talvez... amanhã, não foi possível o contacto com os Drs. Dília Menezes, Susana Fontinha e Paulo Oliveira.

Para o Caniçal, o registo foi de ondas com 4,0 m de altura máxima e ondas com 2,5 m de altura significativa com a direcção de su-sudoeste.

O conhecimento científico traduzido na elaboração dos modelos de mar, quer utilizando a teoria das ondas e tendo por base os ventos previstos no modelo global do ECMWF, quer utilizando os trabalhos de investigação que exploram as fronteiras dos oceanos em condições adversas, ficou no caso emergente, complementado com o registo das bóias do Instituto Hidrográfico.

Os considerandos sobre o estado do mar e os modelos numéricos para as costas Norte e Sul nas 20 milhas das Ilhas da Madeira e do Porto Santo foram partilhados, no essencial, pelos técnicos responsáveis da Meteorologia Marítima e pelos meteorologistas do CAPT no IM e pela população madeirense em particular. As reflexões conduzidas nas páginas anteriores tendem a definir os objectivos relacionados com os prazos de previsão e a tarefa de informar, sabendo todos os condicionalismos e interesses que giram em redor de um acontecimento que tem uma duração de vida muito curta, como o ocorrido na costa Sul. O pico da altura máxima de ondas ocorreu muito perto das 00 UTC de 29 de Novembro, enquanto que às 18 UTC a altura significativa das ondas era inferior a 1m. Passadas 26 horas, às 20 UTC de 29, a altura significativa das ondas estabilizou para 1 m com tendência para diminuir. Na costa Norte, os contornos do estado do mar tem características bem distintas e a aceitação no prever não assume o protagonismo principal. Há maior persistência na direcção e dum modo geral são representativos das 20 milhas.

Qualquer acontecimento meteorológico que origine a ocorrência de precipitação sob a forma de chuva ou de aguaceiros, gera da parte do cidadão

comum um certo desconforto. É o Sol que não surge por entre as nuvens, é o elevado teor de humidade do ar, é a roupa molhada e sem possibilidade de a substituir. É um infundável rol de desculpas e inconvenientes. No entanto, se as quantidades de precipitação previstas atingem valores muito elevados, a preocupação alia-se ao raciocínio do cidadão comum, nunca perspectiva de assegurar a tranquilidade e salvaguardar os seus bens e da comunidade onde está inserido.

Com o aproximar de uma depressão extratropical que mantém na sua génese uma depressão tropical, ou quiçá por breves horas um furacão de categoria 1, os avisos meteorológicos têm sempre o condão de prevenir para salvaguardar.

Os argumentos da previsão, os dados dos prognósticos de superfície e de altitude do modelo do ECMWF, o conhecimento da realidade obtido pela prática, conjuntamente com os dados do NHC, formaram efeitos de abundante interactividade informativa para o IM. De imediato foram iniciados os processos recomendatórios para as autoridades de protecção civil. A realidade meteorológica foi obtida com êxito. Pena não haver dados do Ilhéu das Selvagens, ponto de passagem do centro da ex-TTD.

As quantidades de precipitação registadas entre as 09 UTC de 27 e as 09 UTC de 28 de Novembro, boletim do dia 28 de Novembro da Direcção Regional, não apresentaram valores significativos: 12,4  $\text{lm}^{-2}$  no Santo da Serra, a 660 m de altitude, 7,0  $\text{lm}^{-2}$  no Areeiro, a 1610 m de altitude e 3,8  $\text{lm}^{-2}$  no Funchal/Observatório, situado a 58 m do nível médio do mar.

Nas restantes observações, os valores apresentados eram ligeiramente inferiores.

Nas observações efectuadas às 09 UTC de 29 de Novembro, as quantidades de precipitação registadas



nas 24 horas precedentes (09-09 UTC) já eram mais significativas; 127,3  $\text{lm}^{-2}$  no Santo da Serra (660 m), 84,0  $\text{lm}^{-2}$  no Areeiro (1610 m), 78,0  $\text{lm}^{-2}$  em Santana (380 m), 58,4  $\text{lm}^{-2}$  em Santa Catarina/Aeroporto Internacional (49 m), 39,0  $\text{lm}^{-2}$  na Ponta do Pargo/Calheta (298 m), 38,2  $\text{lm}^{-2}$  em Lugar de Baixo/Ponta do Sol (15 m), 31,4  $\text{lm}^{-2}$  no Funchal/Observatório e 28,0  $\text{lm}^{-2}$  em Porto Santo (78 m).

Outro aspecto relevante verifica-se com as horas de Sol descoberto no dia anterior, quer no Funchal e no Porto Santo, apresentando uma unificação plena, zero horas de Sol. No dia 29 já houve períodos de tempo em que o brilho do astro-rei foi predominante com 4,8 horas no Funchal e 6,9 horas no Porto Santo.

No tocante à direcção e intensidade do vento, assim como o valor da rajada máxima do vento nas estações meteorológicas, apresentaram algumas falhas de informação, nomeadamente o aeroporto internacional de Santa Catarina, cidade do Funchal, a 49 m de altitude e Santo da Serra a 660 m de altitude.

Na estação meteorológica do Areeiro, à intensidade máxima de 61 km/h teve uma correspondente rajada máxima de vento com 104 km/h, o valor mais elevado em toda a Ilha da Madeira e ocorreu as 00 UTC de 29 de Novembro. Numa pequena amostragem, 57 km/h→93 km/h às 23 UTC de 28; 61 km/h→104 km/h às 00 UTC de 29; 54 km/h→100 km/h às 01 UTC de 29; 54 km/h→93 km/h às 04 UTC de 29; 50 km/h→97 km/h às 06 UTC do dia 29. A direcção predominante do vento foi o nordeste.

Na estação meteorológica da Calheta/Ponta do Pargo a 298 m de altitude, predominou o vento de sudoeste e as rajadas máximas ficaram definidas entre as 00 e as 04 UTC, 68 km/h, 64 km/h, 79 km/h, 97 km/h, 68 km/h, respectivamente. A intensidade

não ultrapassou a classe de moderada e com valor mais expressivo de 28 km/h.

No Porto Santo com 78 m de altitude, o vento variou de sueste para leste, posteriormente para norte e às 06 UTC de 29 fixou-se em noroeste. A intensidade foi moderada a forte, sendo expressivos os 39 km/h.

As rajadas máximas de vento ocorreram às 01 e 02 UTC de 29 com 64 e 68 km/h, respectivamente.

Os valores dos ventos máximos instantâneos não foram muito elevados, melhor, extremamente significativos para um fenómeno atmosférico com as características de uma depressão extratropical. No entanto, nos pontos mais elevados da Ilha da Madeira, nomeadamente no Pico do Ruivo, certamente que a rajada máxima de vento foi muito superior ao valor encontrado na estação meteorológica do Areeiro.

Os aspectos mais relevantes foram alcançados quase em simultâneo pela agitação marítima na costa Sul e nas 20 milhas, com 4 a 6 m de altura de ondas, a rajada máxima de 104 km/h, atingida a 1610 m de altitude e a precipitação em 24 horas, registada no Santo da Serra, a 660 m de altitude com 127,3  $\text{lm}^{-2}$ .

Finalmente, algumas citações dos acontecimentos ocorridos nas Ilhas das Canárias, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha.<sup>46</sup>

“La irrupción de la tormenta tropical Delta en la zona de Canárias há sido um acontecimiento mui especial, tanto desde el punto de vista meteorológico como fenomenológico. La perturbación tropical produjo gran cantidad de danos em las islas a causa del fortíssimo vento generalizado. La trayectoria del centro de la baja se localizó al norte del archipiélago canário, de forma que a zona más activa de precipitaciones se situo lejos de las islas. Por el contrario, el viento fue el grande protagonista, afectando com virulência a todas as zonas de Canárias, tanto terrestres como marítimas. Los vientos

<sup>46</sup> La Tormenta Tropical “DELTA” en Canárias.

llegaram a ser muy intensos y en ocasiones superaron velocidades que pueden caracterizarse como de huracanadas (más de 118 km/h) em casi todas las islas. En este sentido, las predicciones generales fueron muy aceptables aunque la intensidad de los vientos previstos quedo algo por debajo respecto a las observadas.”

«Quantas incógnitas por resolver e desvendar nesta situação adversa. Uma concentração de acontecimentos, alguns deles de difícil avaliação no momento actual, fez com que a “DELTA” evoluísse para latitudes mais elevadas».

O êxodo da TTD foi glorioso, a marcha triunfal e galopante ao encontro de África, a caminhada que foi passeio e se tornou *feira* quando a busca se tornou em encontro. Todos os modelos numéricos lhe traçaram um caminho, mas teimava em seguir o seu próprio roteiro, afim de celebrar *landfall* na terra árida de Marrocos. Desde o princípio é caminhada fora de época, mas com convecção profunda em águas mornas, em que o *olho* não é definido mas quase alcança o estado de furacão por duas vezes.

Um tempo de vida curto em que a meta estava longe. Como será difícil buscar o último lugar após ter mantido a categoria de tempestade tropical desde o primeiro dia, não houve vida sem convecção e houve morte com águas mais frias. Tudo se tornou cinzento que o vento levou para águas oceânicas, entre a Madeira e Canárias, teimando em prosseguir pelo noroeste africano como uma depressão extratropical e mantendo o *orgulho* de possuir ventos fortes.

## LEITURAS RECOMENDADAS

Atkinson, B., 1981: Mesoscale Atmospheric Circulations. *Academic Press*.

Ahrens, D., 1994: Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate and the Environment, *West Publishing Company*.

Abrantes, T., Ferreira, I., B., Coelho, L., P., 2003: Manual SAM, Sistema de Avisos Meteorológicos do Instituto de Meteorologia, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Alves, M., F., 2003: ABC da Metrologia Industrial, Departamento de Engenharia Electrotécnica, *Instituto Superior de Engenharia do Porto*.

Bader, M., Forbes, G., Grant, J., Lilley, R., Waters, A., 1995: Images in Weather Forecasting, A Practical Guide for Interpreting Satellite and Radar Imagery, *Cambridge University Press*.

Beven, J., 2005: Tropical Cyclone Report, Tropical Storm Delta, 22-28 November 2005, *National Hurricane Center, Miami, USA*.

Bluestein, H. B., 1993: Synoptic Dynamic Meteorology in Midlatitudes, Volume II, Observations and Theory of Weather Systems, *Oxford University Press, Inc., New York*.

Bosart, L. F., Bartlo, J. A., 1990: Tropical Storm Formation in a Baroclinic Environment, 1991, *American Meteorological Society, Volume 119, Monthly Weather Review*.

Carvalho, F., Berto, A., 1996: Manual de Meteorologia, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Carvalho, Renato A., 1976: Elementos de Meteorologia Dinâmica, *Instituto de Meteorologia, Ex-Serviço Meteorológico Nacional, Portugal*.

Conway, E. D., 1997: An Introduction to Satellite Image Interpretation, *Jonhs Hopkins University Press, Baltimore, USA*.

Costa, V. S., Almeida, M., 1999: Convecção em Portugal Continental, I- Principais conceitos termodinâmicos, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Costa, V. S., Almeida, M., 1999: Convecção em Portugal Continental, II- Contribuição para o seu estudo na região de Lisboa (1984-1998), *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Costa, Vanda S., 1997: Distribuição da água precipitável nas estações aerológicas portuguesas, Nota Técnica n.º 4/97, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

- Da Costa Têso, J., 1982: Estudo da Quantidade de Precipitação relativa à Barragem do Alqueva, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Da Costa Têso, J., 1994: Considerandos sobre a Situação Sinóptica do dia 16 de Dezembro de 1991, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Da Costa Têso, J., 1995: Considerações sobre o Conforto Térmico, Durante o Verão, no Ribatejo e Alto Alentejo, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Da Costa Têso, J., 1996: Considerações sobre Alguns Elementos Meteorológicos na Região das Antigas Terras de Odiana (Castelo de Vide e Marvão), *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Da Costa Têso, J., 1997: Considerandos sobre as Condições Meteorológicas nos dias 4 e 5 de Outubro de 1997 na Região Autónoma da Madeira, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Doswell, C., Ramis, C., Romero, R., Alonso, S., 1997: A Diagnostic Study of Three Heavy Precipitation Episodes in the Western Mediterranean Region. *American Meteorological Society, Volume 13, Weather and Forecasting*
- Doswell, C., 2003: Societal Impacts of Severe Thunderstorms and tornadoes, lessons learned and implications for Europe. *Atmosphere Research Review*.
- Elizaga, F., Martín, F., Riosalido, R., Carretero, O., Elvira, B., Garcia, A., 1996: Imágenes de Vapor de Agua; Uso en el Diagnostico de Niveles Altos, IV Simpósio Nacional de Predicción, *Memorial "Alfonso Ascaso", Madrid 15-19 Abril 1996, Instituto Nacional de Meteorologia, Espanha*.
- Holton, J. R., 1992: Na Introduction to Dynamic Meteorology, Third edition, *Academic Press Inc. USA*.
- Lopes, M. J., 2005: Episódios de Precipitação Intensa em Portugal Continental, Diagnóstico de Modelos Conceptuais e Avaliação do Modelo ALADIN/Portugal, Tese de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal*.
- Medina, Mariano, 1984: Teoría de la Predicción meteorológica, Publicación Série B, textos número 20, *Instituto Nacional de Meteorologia, Espanha*.
- Miranda, P., 2001: Meteorologia e Ambiente, Fundamentos de Meteorologia, Clima e Ambiente Atmosférico, *Universidade Aberta, Portugal*.
- Moreira, N., 1999: Utilização de Imagens de Vapor de Água na Avaliação de Campos Previstos por Modelos Numéricos, Relatório do 2º Módulo do Estágio Probatório para Meteorologista de 2ª Classe, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Moreira, N., 2002: High Troposphere Analysis with Potential Vorticity and Water Vapor Imagery, Tools for Nowcasting and Short-Range Forecasting, *Proceedings of Second Technical Conference on Meteorology China-Macao-Portugal Scientific and Cultural Centre of Macao, 8-10 May, Lisbon, Portugal*.
- NWS Louisville's Science Page: Convective Season Parameters and Indices
- Oliveira Pires, H., 1993: Modelação Numérica das Ondas Geradas pelo Vento. Tese de Doutouramento. *Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal*.
- Oliveira Pires, H., 1998: Meteorologia. Biblioteca da Educação. *Programa Ciência da Câmara Municipal de Lisboa, Organização dos Trabalhadores Científicos, Lisboa, Portugal*.
- Peixoto, J., P., 1973: Meteorologia Dinâmica, *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal*.
- Peixoto, J., P., Malheiro, A., Carvalho, Renato, 1967: Aplicações da Meteorologia Física e Dinâmica à Meteorologia Sinóptica, *Instituto de Meteorologia, Ex-Serviço Meteorológico Nacional, Portugal*
- Pereira, M. Belo., 2003: Ferramentas de Diagnóstico, Aplicação aos modelos ALADIN e ECMWF, Parte 1, Nota Técnica 1/2003, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Pereira, M. Belo., 2004: Ferramentas de Diagnóstico, Manual de Utilização, Parte 2, Nota Técnica 1/2004, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.
- Petterssen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting, Second Edition, Volume II, Weather and Weather Systems, *McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, USA*.
- Prates, F., Barradas, J., 1996: Análise de Vorticidade Potencial Isentrópica, Centro de

Análise e Previsão do Tempo, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Rasquinho, O., (?): Ciclones Tropicais, Aspectos Gerais, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Reale, O., Atlas, R., 1999: Tropical Cyclone-Like Vortices in the Extratropics: Observational Evidence and Synoptic Analysis, 2001, *American Meteorological Society, Volume 16, Weather and Forecasting*.

Secretaria General para la Prevención de la Contaminación e del Cambio Climático, 2006: La Tormenta tropical “DELTA” en Canárias, *Instituto Nacional de Meteorologia, Espanha*.

Soares, I. C., Da Costa Têso, J., 2001: Caso de Estudo, 7 de Dezembro de 2000, *Instituto de Meteorologia, Portugal*.

Wallace, J., Hobbs, P., 1977: Atmospheric Science. An Introductory Survey. *Academic Press Inc.*

ZAMG, FMI, KNMI, 2000: Manual of Synoptic Meteorology, Conceptual Models and Cases Studies, *Versão 3*.

[www.aoml.nasa.gov](http://www.aoml.nasa.gov), Página do AOML, *Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory*.

[www.igidl.ul.pt](http://www.igidl.ul.pt), Página do Instituto Geofísico do Infante D. Luís, Universidade de Lisboa, Portugal.

[www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int), Página do Centro Europeu, *European Centre for Medium Range Weather Forecasts*.

[www.epa.gov](http://www.epa.gov), Página da Agência Americana para o Ambiente, *Environmental Protection Agency*.

[www.eumetsat.de](http://www.eumetsat.de), Página da *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites*.

[www.fc.ul.pt](http://www.fc.ul.pt), Página da Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.

[www.inm.es](http://www.inm.es), Página do Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha.

[www.meteo.fr](http://www.meteo.fr), Página da *Meteo France*.

[www.meteo.pt](http://www.meteo.pt), Página do Instituto de Meteorologia de Portugal

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov), Página da NASA, *National Aeronautics and Space Administration, USA*.

[www.nhc.noaa.gov](http://www.nhc.noaa.gov), Página do NHC, *National Hurricane Center*.

[www.noaa.gov](http://www.noaa.gov), Página da Agência Americana de Meteorologia e Oceanografia, *National Oceanographic and Atmospheric Administration, USA*.

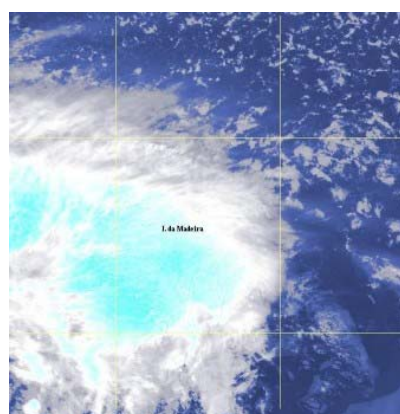
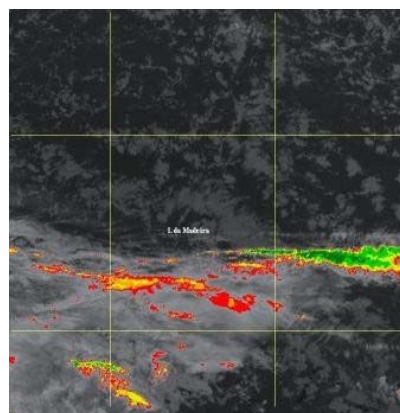
[www.osei.noaa.gov](http://www.osei.noaa.gov), Página do OSEI, *Operational Significant Event Imagery*.

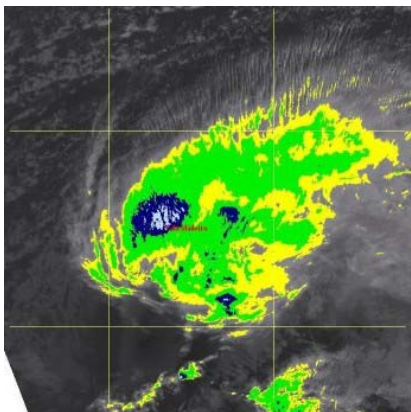
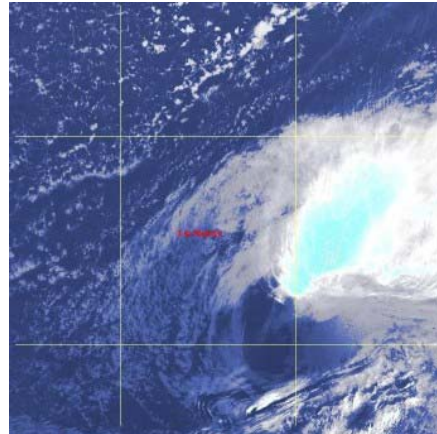
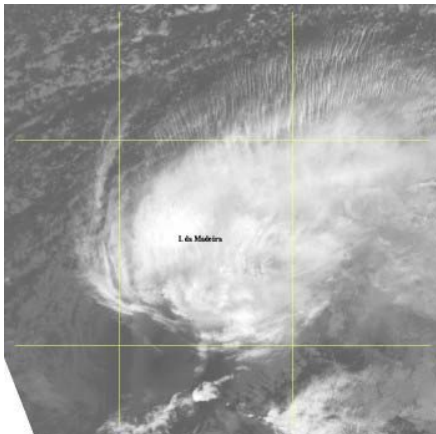
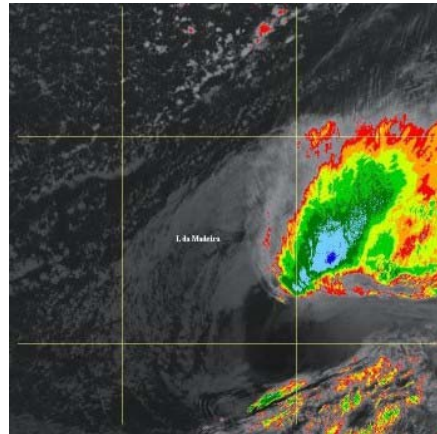
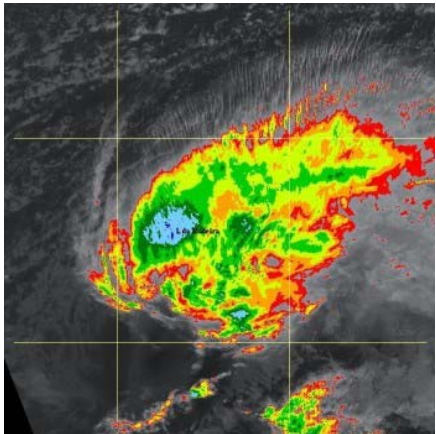
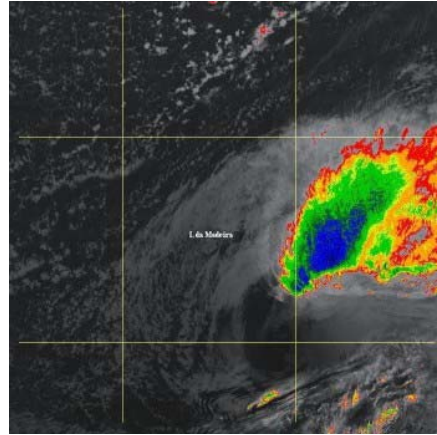
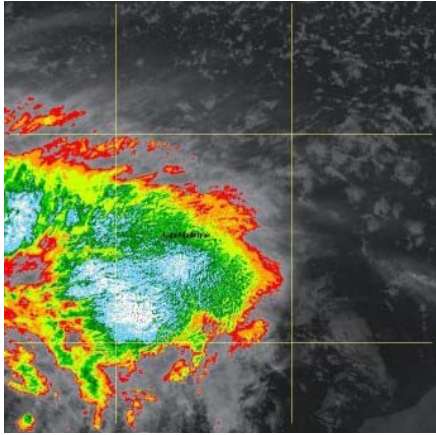
[www.wmo.ch](http://www.wmo.ch), Página da Organização Meteorológica Mundial, Genebra, Suíça.

<http://pt.allmetsat.com/satelite-quikscat.php>

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Internacional\\_de\\_Unidades](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Internacional_de_Unidades)

## ANEXO: IMAGENS DE SATÉLITE NOAA





*Amicitia cum sanctum et venerabile nomen.*

Em Salvaterra de Magos, Ribatejo.  
2006, Maio 31

*Vitae brevis est cursus, gloriae sempiternus*

JOSÉ M. DA COSTA TÊSO  
Instituto de Meteorologia, Portugal