

## **CAPÍTULO 7. Relação entre as alterações climáticas e a sua incidência nos movimentos de vertente**

### **7.1. Introdução**

O Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) é o principal órgão internacional para a avaliação das alterações climáticas. Foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Nas suas conclusões afirma-se categoricamente que o aquecimento no sistema climático é inequívoco e que, desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas não têm precedentes nas últimas décadas a milénios. A atmosfera e o oceano aqueceram, os volumes de neve e gelo diminuíram, o nível do mar subiu e as concentrações de gases de efeito estufa aumentaram. Portanto, as alterações climáticas são uma evidência e devem ser consideradas nos estudos de riscos de fenómenos naturais.

A alteração climática é a variação do estado do clima, identificável nas variações do valor médio ou na variabilidade das suas propriedades, que persiste durante longos períodos de tempo, geralmente décadas ou períodos mais longos (IPCC, 2014). Pode dever-se a processos internos naturais ou externos como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas ou mudanças geradas pela atividade humana que afetam a composição da atmosfera ou do uso do solo. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) ou United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), no seu Artigo 1º., define as “alterações climáticas” como “a alteração do clima atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que se soma à variabilidade natural do clima observada durante períodos de tempo comparáveis”.

Os estudos do IPCC concluem que a emissão contínua de gases com efeito estufa causará um maior aquecimento e novas mudanças em todos os componentes do sistema climático. Acentuar-se-á o contraste nas precipitações entre as regiões húmidas e secas e entre as estações húmidas e secas, embora possa haver exceções regionais.

As alterações climáticas representam riscos para os sistemas humanos e naturais e os processos de instabilidade de encostas e taludes fazem parte deles. A evolução do clima pode acarretar mudanças nos índices de precipitação e, portanto, afetar a incidência

dos eventos de instabilidade geomorfológica, tanto desabamentos como deslizamentos, já que é evidente que existe uma relação inequívoca entre a ocorrência de ambos os fenómenos.

Por outro lado, a Agência Europeia do Ambiente, AEA (European Environment Agency, EEA) no seu Relatório Técnico número 13/2010, "Cartografia dos impactos de perigos naturais e acidentes tecnológicos na Europa" realizado durante o período 1998-2009, resume que várias bases de dados na Europa têm registos de quase 70 grandes deslizamentos que ceifaram um total de 312 vidas e danificaram ou destruíram uma grande quantidade de infraestruturas públicas e edifícios residenciais.

Para a AEA parece que não existe um padrão óbvio entre o impacto resultante dos movimentos de vertente e os efeitos das alterações climáticas, em termos da frequência dos primeiros. No entanto, é evidente que o potencial de danos causados pelos movimentos de solos e rochas se agrava com o passar do tempo.

## 7.2. Influência das alterações climáticas

Como foi já referido neste documento, a chuva é considerada um dos principais fatores desencadeantes dos movimentos de vertentes. Estudos estatísticos que relacionam a intensidade (diária) das precipitações com a ocorrência de deslizamentos e desabamentos estabelecem como limiares de precipitação diária, a partir dos quais a probabilidade de ocorrência de instabilidades ultrapassa os 50 %, 40 mm para os Açores, 45 mm para a ilha da Madeira e, para as ilhas Canárias 25 mm num terreno muito acidentado e 40 mm em terreno acidentado.

O vento, embora em menor escala, também é um fator importante no desencadeamento de processos de instabilidade. Neste caso, os valores críticos da velocidade do vento, a partir dos quais se observou a ocorrência de instabilidades geomorfológicas, são os 60 km/h em áreas costeiras e os 70 km/h em áreas no interior das ilhas.

Quando ocorrem fenómenos meteorológicos adversos os valores críticos delineados para a chuva e para o vento podem ser ultrapassados, casos em que a população é informada através de avisos de nível amarelo, laranja ou vermelho (Figura 7.1) que, no caso das ilhas Canárias, são emitidos pela *Agencia Estatal de Meteorología* (AEMET)

CODIGO	NOMBRE DE LA ZONA	PROVINCIA	temp. máximas			temp. mínimas			racha máxima			precipitación 12 h			precipitación 1 h			nieve 24 h		
			amlo	nanja	rojo	amlo	nanja	rojo	amlo	nanja	rojo	amlo	nanja	rojo	amlo	nanja	rojo	amlo	nanja	rojo
659001	Norte de Gran Canaria	Las Palmas	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	40	80	120	15	30	60	2	5	20
659003	Cumbres de Gran Canaria	Las Palmas	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	40	80	120	15	30	60	2	5	20
659004	Este, sur y oeste de Gran Canaria	Las Palmas	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	40	80	120	15	30	60	2	5	20
659101	Lanzarote	Las Palmas	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	40	80	120	15	30	60	2	5	20
659201	Fuerteventura	Las Palmas	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	40	80	120	15	30	60	2	5	20
659302	Cumbres de la Palma	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659303	Este de la Palma	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659304	Oeste de la Palma	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659401	La Gomera	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659501	El Hierro	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659601	Norte de Tenerife	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659602	Área Metropolitana de Tenerife	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20
659603	Este, sur y oeste de Tenerife	Sta Cruz de Tenerife	34	37	40	-1	-4	-8	70	90	130	60	100	180	15	30	60	2	5	20

Figura 7.1. Limiares e níveis de alerta para a Comunidade Autónoma das Canárias das variáveis: temperatura, vento, precipitação e neve (Fonte AEMET, 2018).

Para o caso dos arquipélagos portugueses, os avisos à população são emitidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Na Figura 7.2 e na Figura 7.3 apresentam-se os critérios atualmente em vigor para os arquipélagos da Madeira e dos Açores, respetivamente.

De acordo com os modelos climáticos elaborados pela AEMET, a tendência é para que as precipitações vão diminuindo nas Ilhas Canárias nas próximas décadas (Figura 7.4) e o prognóstico é que continuem a diminuir no próximo século.

Para o Arquipélago da Madeira						
Aviso	Parâmetro	Amarelo	Laranja	Vermelho	Unidade	Notas
Vento	Rajada Máxima do Vento	70 a 90	91 a 130	> 130	km/h	
		90 a 110	111 a 130	> 130	km/h	Nas terras altas
Precipitação	Chuva/Aguaceiros	10 a 20	21 a 40	> 40	mm/1h	Milímetros numa hora
		30 a 40	41 a 60	> 60	mm/6h	Milímetros em 6 horas
Neve	Queda de Neve	5 a 10	11 a 100	> 100	cm	Cota (altitude >1000 m)
		1 a 5	6 a 30	> 30	cm	Cota (altitude <1000 m)
Trovoada	Descargas Eléctricas	a)	b)	c)		a) Frequentes e Dispersas. b) Frequentes e Concentradas. c) Muito Frequentes e excessivamente concentradas.
Nevoeiro	Visibilidade	*≥ 48h	*≥ 72h	*≥ 96h		* - duração
Tempo Quente	Temperatura Máxima	# a # *	# a # *	> # *	°C	* - duração ≥ 48 horas
Tempo Frio	Temperatura Mínima	# a # *	# a # *	< # *	°C	* - duração ≥ 48 horas
Agitação Marítima	Altura Significativa das Ondas	4 a 5	5 a 7	> 7	m	

# - Valores para cada região apresentados na tabela seguinte.

Região	Temperatura Mínima			Temperatura Máxima		
	Amarelo	Laranja	Vermelho	Amarelo	Laranja	Vermelho
Costa Norte	7 a 8	5 a 6	< 5	24 a 26	27 a 30	> 30
Regiões Montanhosas	-2 a -1	-4 a -2	< -4	25 a 27	28 a 29	> 29
Costa Sul	10 a 11	8 a 9	< 8	27 a 29	30 a 35	> 35
Porto Santo	10 a 11	8 a 9	< 8	26 a 27	28 a 31	> 31

Figura 7.2. Limiares e níveis de alerta para a Região Autónoma da Madeira das variáveis: vento, precipitação, neve, trovoada, nevoeiro, temperatura e agitação marítima (Fonte IPMA, 2020).

Para o Arquipélago dos Açores						
Aviso	Parâmetro	Amarelo	Laranja	Vermelho	Unidade	Notas
Vento	Velocidade Média do Vento	65 - 74	75 - 87	> 87	km/h	
	Rajada Máxima do Vento	85 a 100	101 a 130	> 130	km/h	
Precipitação	Chuva/Aguaceiros	10 a 20	21 a 40	> 40	mm/1h	Milímetros numa hora
		25 a 40	41 a 60	> 60	mm/6h	Milímetros em 6 horas
Neve	Queda de Neve	0 a 1	2 a 5	> 5	cm	Duração ≥ 48 horas e Cota (altitude >900 m)
Trovoada	Descargas Eléctricas	a)	b)	c)		a) Frequentes e Dispersas. b) Frequentes e Concentradas. c) Muito Frequentes e excessivamente concentradas.
Nevoeiro	Visibilidade	* ≥ 48h	* ≥ 72h	* ≥ 96h		* - duração
Tempo Quente	Temperatura Máxima	# a # *	# a # *	> # *	°C	* - duração ≥ 48 horas
Tempo Frio	Temperatura Mínima	# a # *	# a # *	< # *	°C	* - duração ≥ 48 horas
Agitação Marítima	Altura Significativa das Ondas	6 a 7	7 a 9	> 9	m	

# - Valores para cada Grupo apresentados na tabela seguinte.

Grupo	Temperatura Mínima			Temperatura Máxima		
	Amarelo	Laranja	Vermelho	Amarelo	Laranja	Vermelho
Oriental	8 a 5	4 a 0	< 0	28 a 29	30 a 31	> 31
Central	8 a 5	4 a 0	< 0	28 a 29	30 a 31	> 31
Ocidental	8 a 5	4 a 0	< 0	28 a 29	30 a 31	> 31

Figura 7.3. Limiares e níveis de alerta para a Região Autónoma dos Açores das variáveis: vento, precipitação, neve, trovoada, nevoeiro, temperatura e agitação marítima (Fonte IPMA, 2020).

No âmbito do Plano Regional para as Alterações Climáticas no contexto Açores, as projeções das precipitações não indicam uma tendência clara geral. No entanto poderá ocorrer uma ligeira aumento no inverno, que poderá alcançar os 10%, e uma diminuição no verão. Este fator poderá, de futuro, causar mais episódios de inundações e cheias, e menor retenção de água superficial e subterrânea. É também expectável que se assista a um aumento do número de dias com precipitação acima dos 20 mm (Costa et al., 2017).

O efeito no terreno desta diminuição das precipitações anuais é que os materiais estarão mais secos e, portanto, serão mais sensíveis à ocorrência de precipitações intensas.

De acordo com Margottini et al. (2007), com os efeitos das alterações climáticas podem assumir-se as seguintes tendências relativamente aos movimentos de vertente:

- aumento do número de fluxos de detritos provenientes de chuvas de elevada intensidade, juntamente com os fenómenos de erosão e degradação do solo, como consequência do aumento das temperaturas e aridez;
- diminuição da atividade de fenómenos lentos de deslizamentos de terra devido à diminuição da média anual total de precipitação e a consequente diminuição na capacidade de recarga dos níveis freáticos;
- incremento nas deformações dos taludes e encostas (quedas de rochas devido ao

congelamento e descongelamento, escoadas de detritos, escoadas de terra), em áreas que atualmente se encontram cobertas por solos congelados (permafrost) e, por isso, substancialmente estáveis, após um aumento progressivo da temperatura e o conseqüente descongelamento dos solos e redução de áreas glaciais.

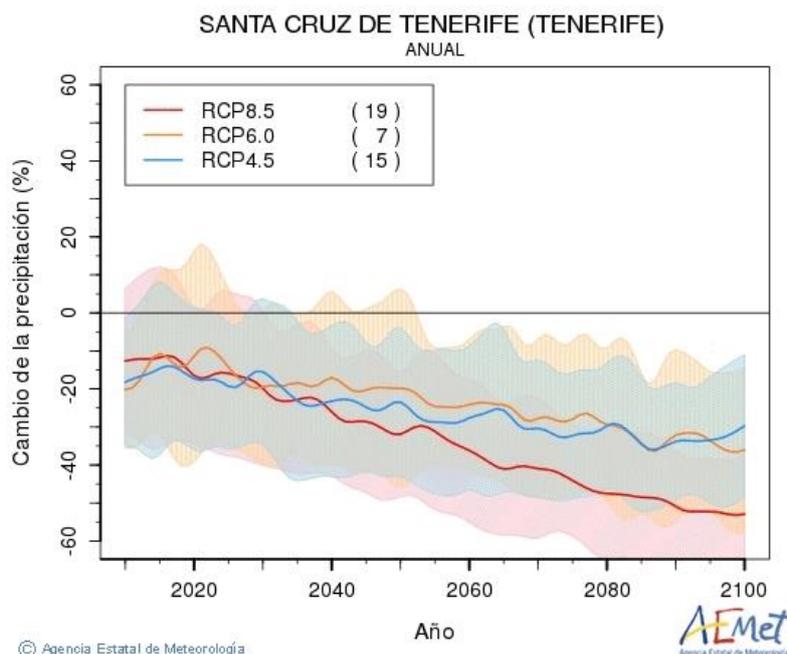


Figura 7.4. Exemplo de um modelo climático de precipitações para Santa Cruz de Tenerife elaborado pela AEMET.

As alterações climáticas provocarão menos chuvas no total anual de precipitações, mas um maior número de fenómenos meteorológicos adversos nos quais serão superados os limiares de precipitação que desencadeiam os movimentos de vertente, pelo que haverá um aumento dos mesmos. Apesar de ambos os fatores influenciarem o desencadeamento dos mecanismos de rotura de solos e rochas, que mobilizam, de forma repentina, o material numa encosta ou talude, é mais crítico exceder dos limiares de precipitação (precipitação intensa pontual) do que o número de dias que chove no ano (precipitação anual acumulada).

Por outro lado, o IPCC também prevê uma subida do nível do mar ao longo do século XXI e seguintes, pelo que os sistemas costeiros e as zonas baixas sofrerão cada vez mais impactos adversos, como imersão, inundaçã o e erosão costeira (Figura 7.5), o que provocará um aumento de desabamentos nestas zonas.

Ilhas pequenas																							
Risco principal	Problemas e perspetivas de adaptação	Impulsionadores climáticos	Período de tempo	Risco e potencial de adaptação																			
Perda dos meios de subsistência, comunidades costeiras, infraestruturas, serviços de ecossistemas e estabilidade económica (confiança alta)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe potencial significativo para a adaptação nas ilhas mas novos recursos e tecnologias externas adicionais irão melhorar a resposta</li> <li>- Manutenção e melhoria das funções e serviços dos ecossistemas e da segurança da água e dos alimentos</li> <li>- Espera-se que a eficácia das estratégias de adaptação tradicional da comunidade seja substancialmente reduzida no futuro.</li> </ul>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Muito baixo</th> <th>Médio</th> <th>Muito alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presente</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Curto prazo (2030-2040)</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Longo prazo (2080-2100)</td> <td>2°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>		Muito baixo	Médio	Muito alto	Presente				Curto prazo (2030-2040)				Longo prazo (2080-2100)	2°C			4°C			
	Muito baixo	Médio	Muito alto																				
Presente																							
Curto prazo (2030-2040)																							
Longo prazo (2080-2100)	2°C																						
	4°C																						
A interação da subida do nível médio global do mar no século XXI com eventos de nível de água elevado irá ameaçar as áreas costeiras de baixa altitude (confiança alta)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A proporção elevada entre a área costeira e a massa terrestre fará da adaptação um significativo desafio financeiro e de recursos.</li> <li>- As opções de adaptação incluem a manutenção e recuperação da configuração costeira e ecossistemas, gestão melhorada de solos e de recursos de água potável e códigos apropriados de construção e padrões de aglomerados habitacionais.</li> </ul>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Muito baixo</th> <th>Médio</th> <th>Muito alto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Presente</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Curto prazo (2030-2040)</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Longo prazo (2080-2100)</td> <td>2°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>		Muito baixo	Médio	Muito alto	Presente				Curto prazo (2030-2040)				Longo prazo (2080-2100)	2°C			4°C			
	Muito baixo	Médio	Muito alto																				
Presente																							
Curto prazo (2030-2040)																							
Longo prazo (2080-2100)	2°C																						
	4°C																						

Figura 7.5. Principais riscos em ilhas de pequena dimensão devidos às alterações climáticas e potencial de redução dos riscos por meio da adaptação e mitigação (Adaptado de IPCC, 2014).

Portanto, pode concluir-se que:

- as alterações climáticas são uma evidência indiscutível e que existe uma relação de causa-efeito entre o nível de precipitações e o desencadeamento de movimentos de vertente;
- existem limiares de precipitação a partir dos quais se ativam os mecanismos dos movimentos de massa de solos e rochas, que provocam desabamentos e deslizamentos, e que esses limiares são geralmente ultrapassados quando ocorrem fenómenos meteorológicos adversos;
- atualmente, as alterações climáticas provocam, e continuarão a provocar nas

próximas décadas, um maior número de fenómenos atmosféricos associados a precipitações intensas que superarão os limiares que desencadeiam os movimentos de vertente, pelo que se prevê um crescimento deste tipo de fenómenos, ainda que, atualmente, não seja possível estabelecer nem a frequência nem a intensidade dos mesmos.

### 7.3. Mitigação dos efeitos das alterações climáticas

Os riscos são acrescidos para os utilizadores de infraestruturas deficientes ou para as pessoas que vivem em zonas expostas, em edifícios de má qualidade e sem proteção face a movimentos de vertente. Através da redução das deficiências dos serviços básicos, da melhoria das habitações e da construção de sistemas de infraestruturas resilientes, poderiam conseguir-se reduções significativas da vulnerabilidade e da exposição em zonas urbanas e em redes de comunicação e transporte.

Disponer de guias metodológicos para a gestão e tratamento dos processos de instabilidade de encostas e taludes poderia ajudar a melhorar ainda mais, ao nível europeu, as normas de segurança face a movimentos de vertente, ao proporcionar informação básica essencial para a gestão integrada de riscos.

Para a AEA houve, nas últimas décadas, uma mudança na abordagem à gestão integrada de riscos - a mitigação defensiva - o que reduziu o impacto dos movimentos de vertente com êxito.

Como os movimentos de vertente são fenómenos locais, é particularmente importante a participação e envolvimento de todas as partes interessadas (técnicos, responsáveis públicos e população) da região em questão, de modo a obter o melhor e maior conhecimento do fenómeno e dos seus riscos e abordar a gestão do problema com maior garantia e eficácia.

Uma vez que se tenha o melhor conhecimento do fenómeno e que se disponha das ferramentas metodológicas apropriadas para o seu estudo, o foco deve ser direcionado para as medidas preventivas, considerando-as como os pilares principais para a mitigação dos efeitos das alterações climáticas.

A futura implementação e posterior aplicação de guias resultantes do projeto MACASTAB, na gestão dos processos de instabilidade de encostas e taludes nas



MACASTAB



respetivas regiões vulcânicas insulares da Macaronésia, visa uma melhor adaptação ao aumento dos fenómenos meteorológicos adversos e à variação do nível do mar. Aplicar as medidas indicadas na metodologia desenvolvida no MACASTAB, quer ao nível de projeto de obras, quer ao nível do planeamento do território, contribui para o aumento da resiliência e permitirá o desenvolvimento sustentável, favorecendo a adaptação dos arquipélagos vulcânicos da Macaronésia às alterações climáticas.