



• U • C •

Universidade de
Coimbra
PORTUGAL

O IMPACTO ECONÓMICO DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR NO TEMPO DE VIDA ÚTIL DE UMA OBRA COSTEIRA

José Antunes do Carmo
Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

V CIR

Coimbra, PORTUGAL

12-16 outubro, 2020

Sumário

1. Conceitos básicos

- Distribuição de Gumbel
- Altura de onda máxima

2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

- Condições estacionárias
- Condições não-estacionárias

3. Aplicação

- Subida do nível do mar em Cascais - Costa Portuguesa
- Destaques

4 Valor Monetário Esperado

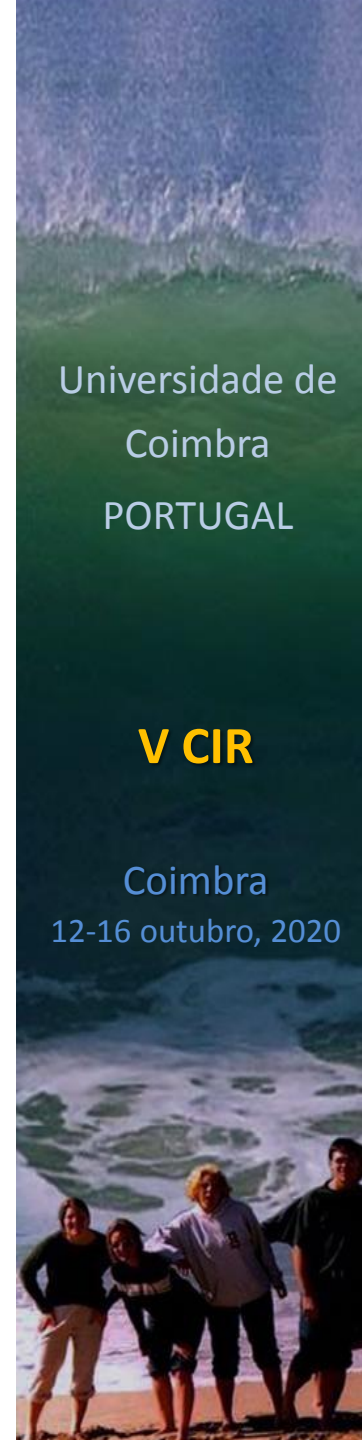
- Noção de VME Anual
- Economia estimada ao longo da vida útil de uma obra

5. Conclusões

Universidade de
Coimbra
PORTUGAL

V CIR

Coimbra
12-16 outubro, 2020



Enquadramento

- Este trabalho pretende explorar o efeito do aumento do nível do mar nos cálculos do Tempo de Retorno e, conseqüentemente, do Risco de inundações costeiras.
- É examinado o impacto da redução do Tempo de Retorno sobre o período de vida de um ativo, em face do futuro aumento do nível do mar.
- Faz-se notar que o Valor Monetário Esperado (VME) pode ser usado para avaliar o Risco e o impacto económico da redução no Tempo de Retorno devido ao aumento do nível do mar.



1. Conceitos básicos

Assumindo que a altura de onda máxima H segue a **distribuição de GUMBEL** tem-se:

$$P = \exp \left[-\exp \left(-\frac{H - \gamma}{\beta} \right) \right]$$

em que β e γ são parâmetros a serem determinados recorrendo a regressão linear.

Para o efeito, aplicando logaritmos a ambos os membros da **distribuição de GUMBEL** obtém-se:

$$\ln P = -\exp \left(-\frac{H - \gamma}{\beta} \right) \Rightarrow \ln (-\ln P) = -\frac{H - \gamma}{\beta}$$

1. Conceitos básicos

2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

3. Aplicação

4. Valor Monetário Esperado

5. Conclusões



A qual pode escrever-se na seguinte forma linear:

$$G = A * H + B$$

$$\text{com } G = -\ln\left(\ln\frac{1}{P}\right), \quad A = \frac{1}{\beta} \quad \text{e} \quad B = -\frac{\gamma}{\beta}$$

A altura de onda máxima poderá então obter-se por:

$$H_{T_R} = \gamma - \beta \times \ln\left(\ln\frac{1}{P}\right) = \gamma - \beta \times \ln\left[\ln\left(\frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1.0}\right)\right]$$

com a probabilidade de não-excedência P no período de T_R anos dada por:

$$P = 1 - \frac{1}{\lambda T_R}$$

sendo λ o número de registos anuais com alturas de onda iguais ou superiores a uma altura de referência.

1. Conceitos básicos

2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

3. Aplicação

4. Valor Monetário Esperado

5. Conclusões



2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

- Considerando o nível do mar estático, a probabilidade de ser igualada ou excedida uma determinada altura de onda, num dado período T , é dada por:

$$R = 1 - (1 - P)^T \text{ (para } P \text{ constante)}$$

- Com o aumento do nível do mar aumenta a probabilidade de ser excedida a mesma altura de onda no mesmo período T , sendo dada por:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^T (1 - P_i)$$

- Por definição, o **tempo de retorno** T_r é dado por:

$$T_r = \frac{1}{\lambda(1-P)}$$

1. Conceitos básicos

2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

3. Aplicação

4. Valor Monetário Esperado

5. Conclusões



2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

- Com $T_R = \lambda T_r$, substituindo a função de probabilidade P dada por Gumbel obtém-se simplificadamente:

$$T_R = \frac{1}{1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{\gamma(t) - H}{\beta(t)}\right)\right)}$$

- Assumindo em primeira aproximação que o parâmetro de escala $\beta(t) = \beta$ é aproximadamente constante, e que o aumento do nível do mar se traduz por uma função quadrática, do tipo $\gamma(t) = at + bt^2$, obtém-se:

$$T_R = \frac{1}{1 - \exp\left(-\exp\left(\frac{at + bt^2 - H}{\beta}\right)\right)}$$

em que $at + bt^2 - H$ traduz a elevação temporal da altura da onda a partir de um altura inicial $H = H_{T_R}$ dada por Gumbel para o período de retorno T_R :

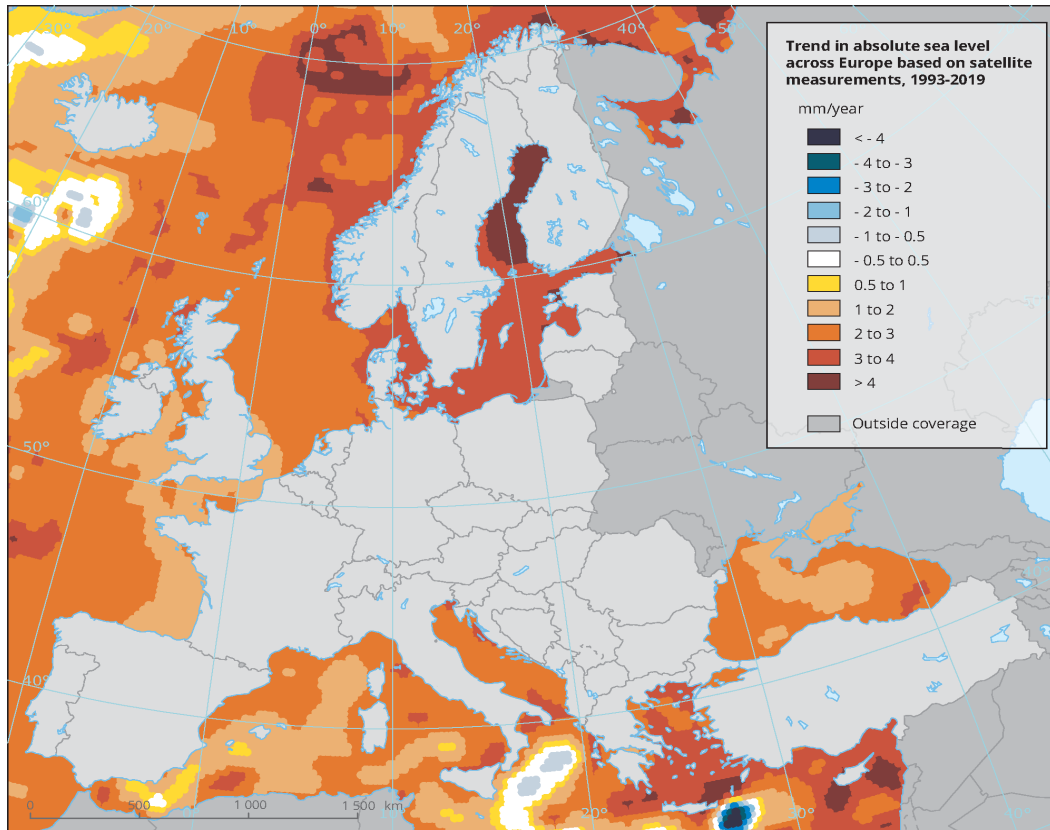
$$H_{T_R} = \gamma(t) - \beta \{\ln [-\ln (1.0 - P)]\}$$

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



3. Aplicação

- A tendência de subida do nível do mar na costa Portuguesa aponta atualmente para valores globais na ordem dos 2 a 3 mm/ano.



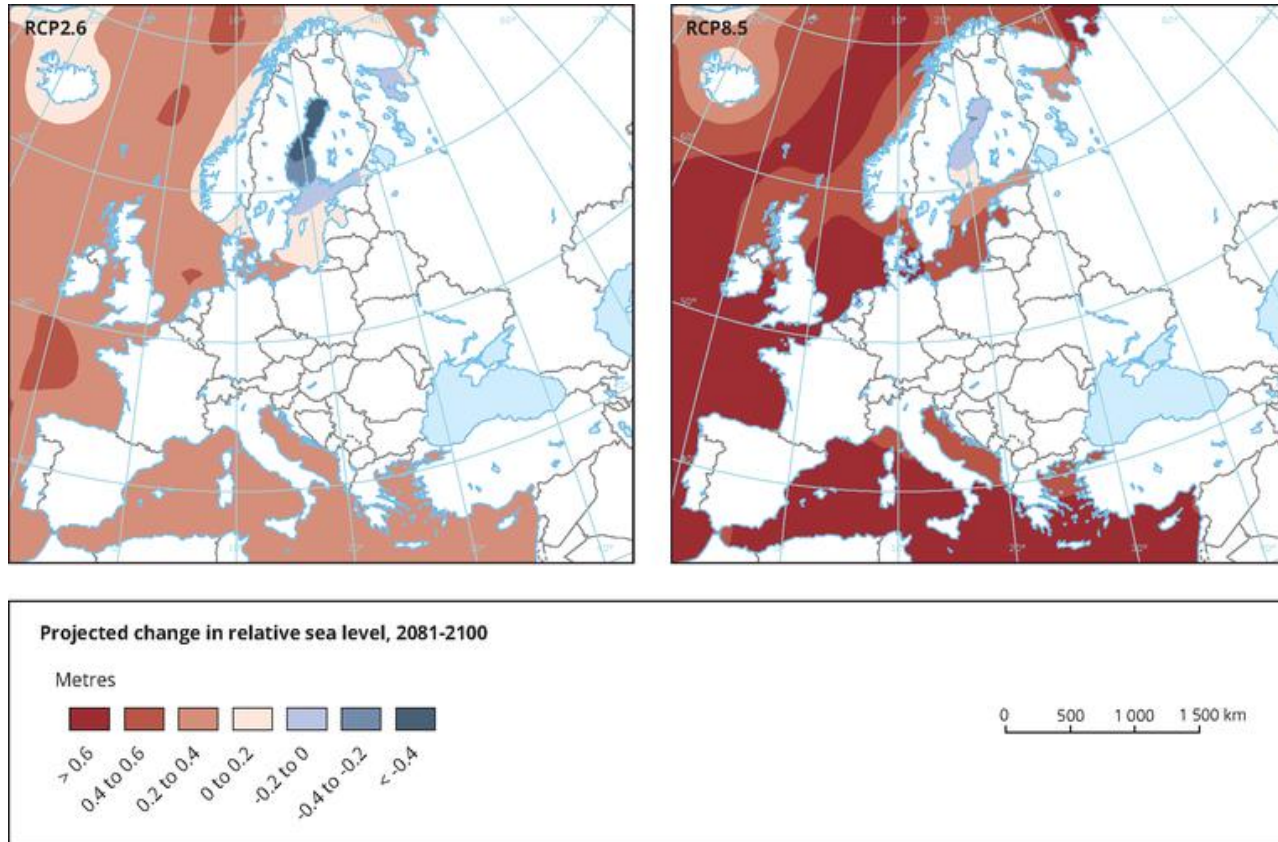
EEA, in <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-3/assessment>

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Oonclusões



3. Aplicação

- A manterem-se estas condições, o pior dos cenários aponta para valores da ordem dos 60 cm até 2080, ou pouco acima, na costa Portuguesa.



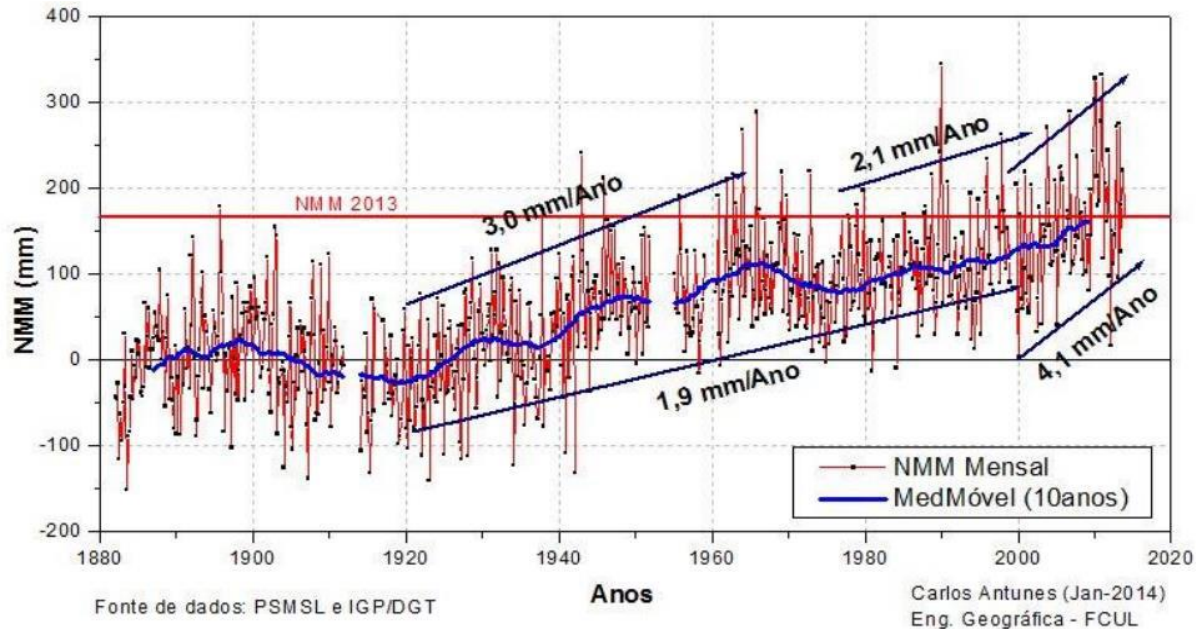
EEA, in <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-3/assessment>

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Oonclusões



3. Aplicação

- Contudo, localmente, a subida do nível médio das águas do mar registada pelo marégrafo de Cascais aponta para valores superiores.



Considerando os registos mais recentes podemos tomar:

- Velocidade ou taxa de elevação, $a \approx 4.0$ mm/ano
- Aceleração média, $b \approx 0.15$ mm/ano² (0.10~0.20)
- Parâmetro de escala, $\beta \approx 100$ mm (65~150).

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



3. Aplicação

- Com nível do mar estático em Cascais, Portugal

Ano	Subida (m)	T_R (anos)	Prob_anual	Risco
2025	0.0000	80.0000	0.0125	0.0610
2030	0.0000	80.0000	0.0125	0.1182
2035	0.0000	80.0000	0.0125	0.1720
2040	0.0000	80.0000	0.0125	0.2224
2045	0.0000	80.0000	0.0125	0.2698
2050	0.0000	80.0000	0.0125	0.3143

- Com subida do nível do mar em Cascais, Portugal

Ano	Subida (m)	T_R (anos)	Prob_anual	Risco
2025	0.0237	66.6393	0.0150	0.0666
2030	0.0550	49.6206	0.0202	0.1471
2035	0.0938	34.3459	0.0291	0.2490
2040	0.1400	22.1374	0.0452	0.3812
2045	0.1937	13.3359	0.0750	0.5497
2050	0.2550	7.5704	0.1321	0.7435

1. Conceitos básicos

2. Noções de Risco e Tempo de Retorno

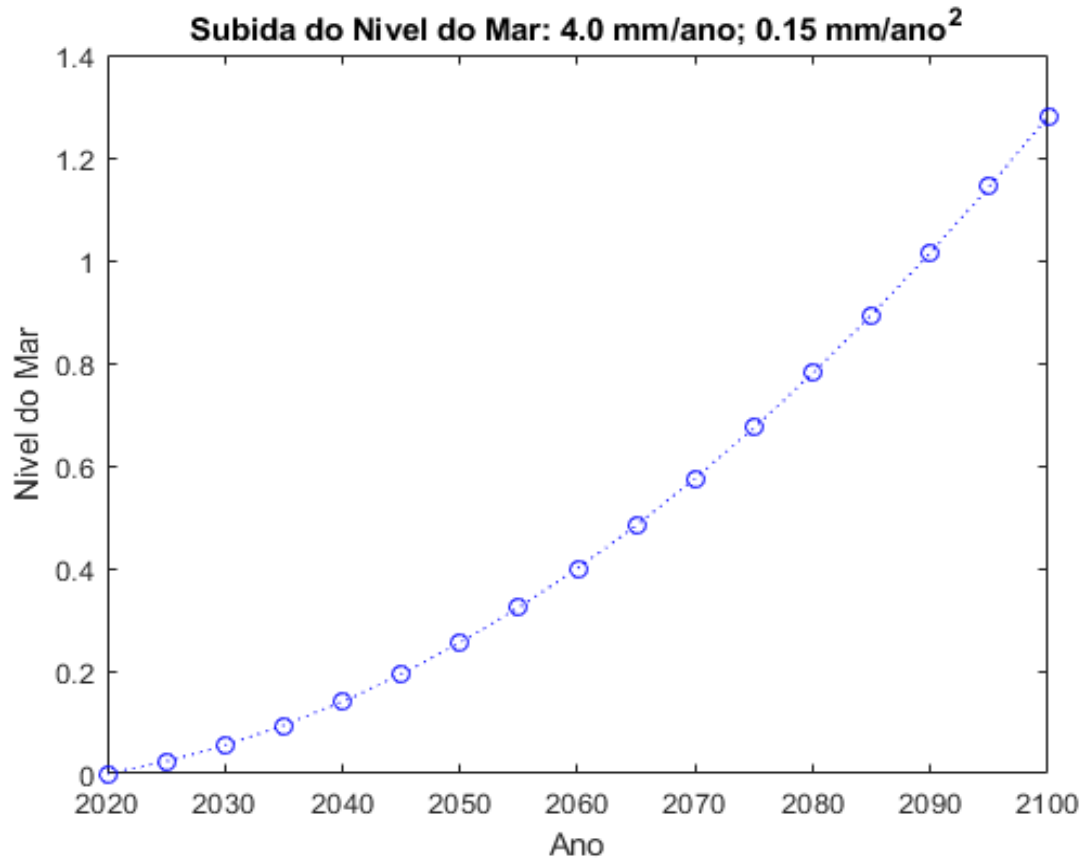
3. Aplicação

4. Valor Monetário Esperado

5. Conclusões



3. Aplicação

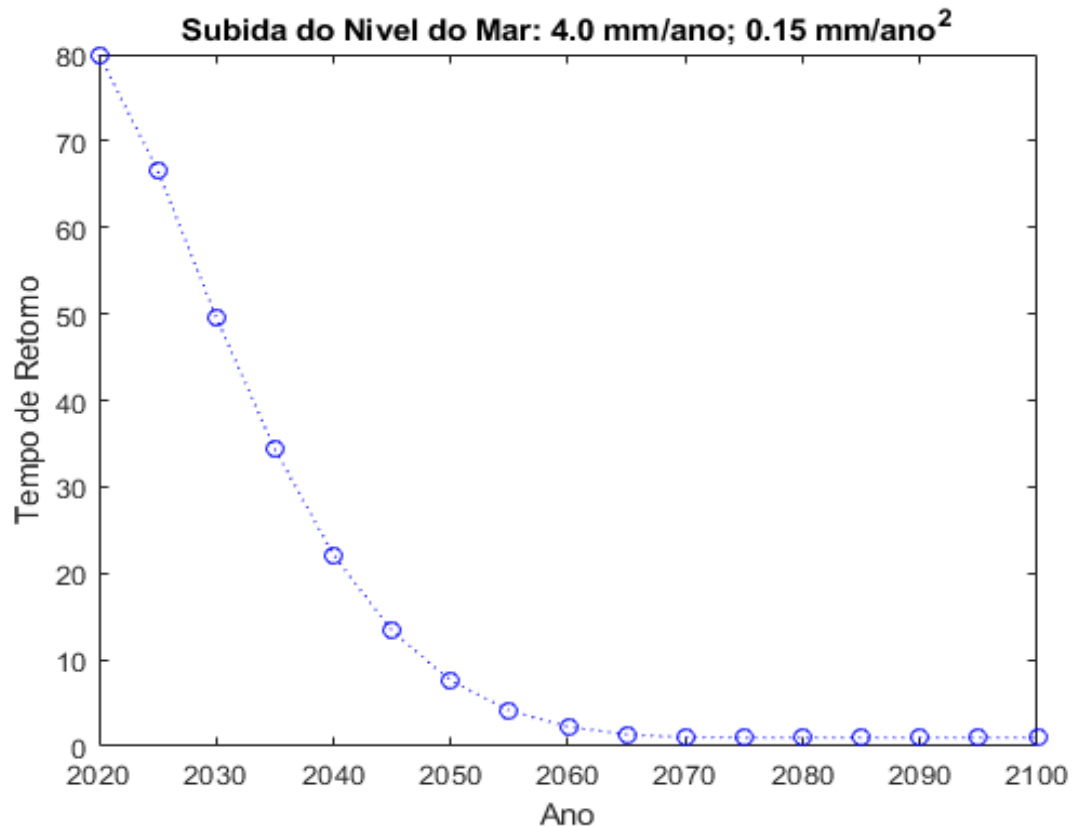


- De acordo com as hipóteses assumidas:
 - O nível do mar subirá **1.28 m até ao Ano 2100**.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



3. Aplicação

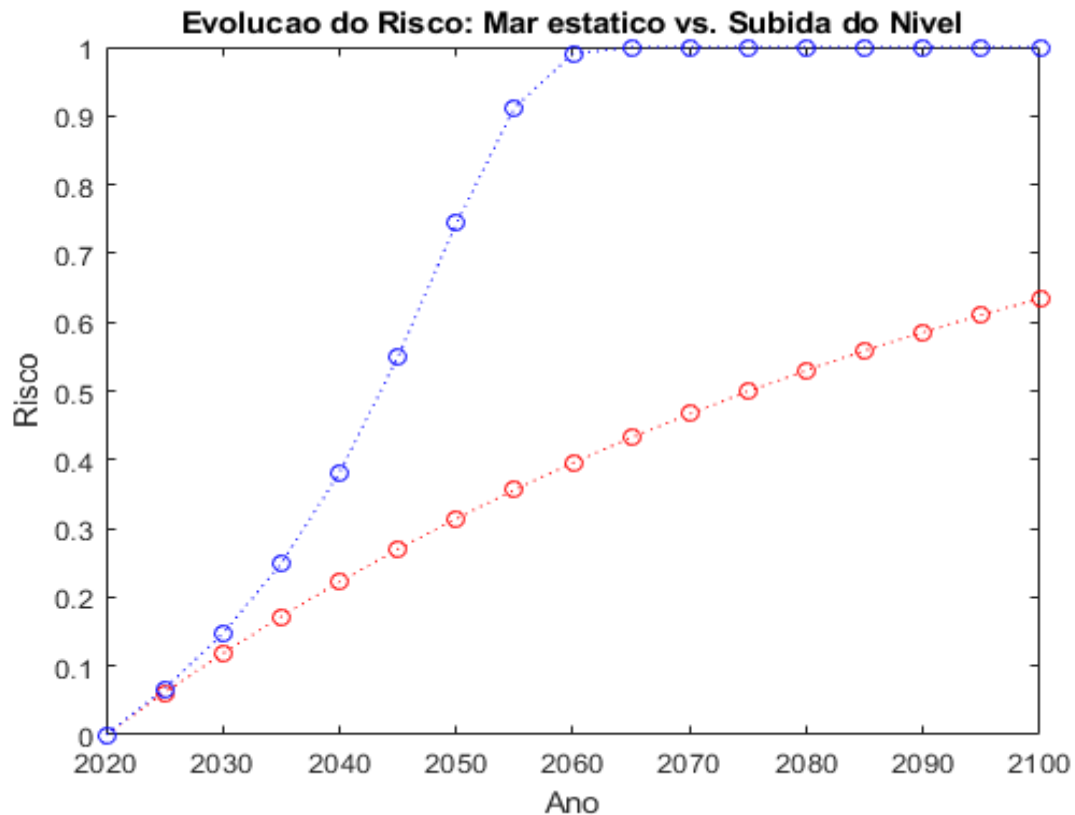


- De acordo com as hipóteses assumidas:
 - O Tempo de Retorno reduzir-se-á para 1 ano em 2075, ou seja o **Risco é de 100% a partir de 2075**.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



3. Aplicação



- De acordo com as hipóteses assumidas:
 - > Mantendo-se o nível estático, o Risco seria da ordem de 50.5% no Ano 2075, e pouco superior a 63% no Ano 2100.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Oonclusões



4. Valor Monetário Esperado

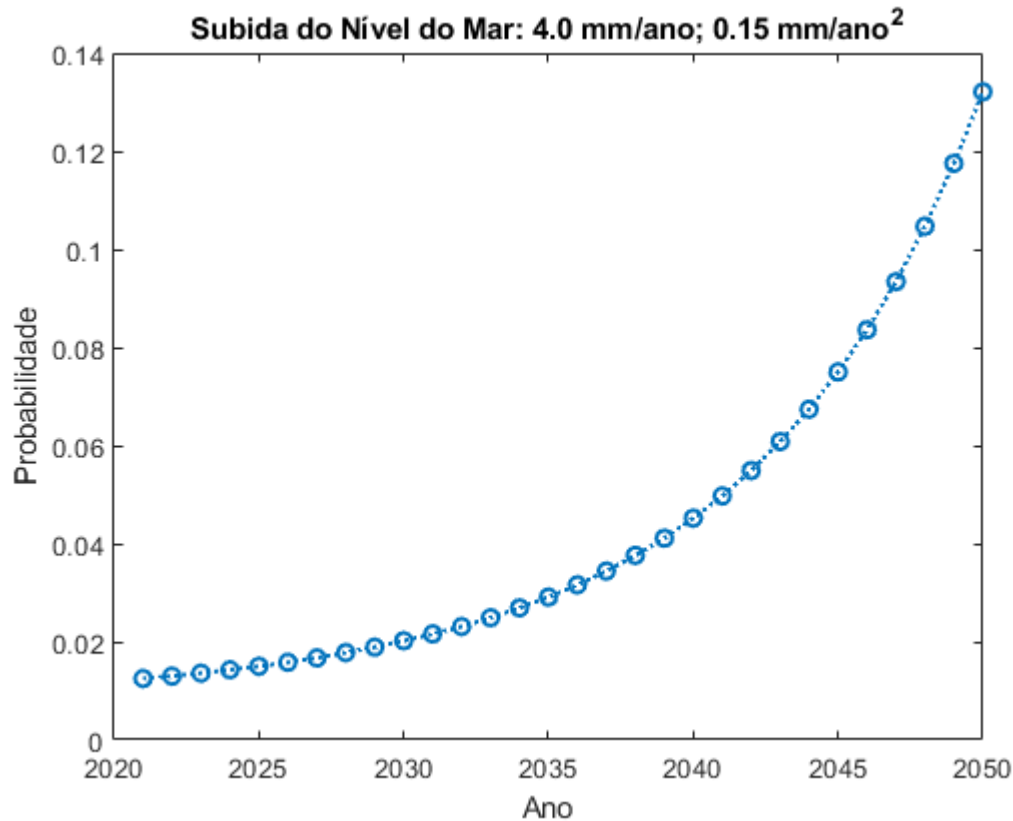
- O Valor Monetário Esperado (VME) é uma ferramenta poderosa para avaliar o impacto económico no período de retorno devido ao aumento do nível do mar.
- Para o cálculo do VME é estimado o custo de dano associado a cada potencial nível de inundação ou galgamento de uma estrutura, seja C_i .
- Num determinado ano, para cada nível de inundação o custo de dano C_i é multiplicado pela probabilidade P_i de esse nível ser alcançado.
- Somando os valores da probabilidade de custo de dano para todos os potenciais níveis de inundação no ano obtém-se o VME anual, dado por:

$$\text{VME} = \sum_i P_i C_i$$

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



4. Valor Monetário Esperado



- De acordo com as hipóteses assumidas:
 - > A Probabilidade de serem alcançados determinados níveis é ainda mais acentuada a partir de 2050.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



4. Valor Monetário Esperado

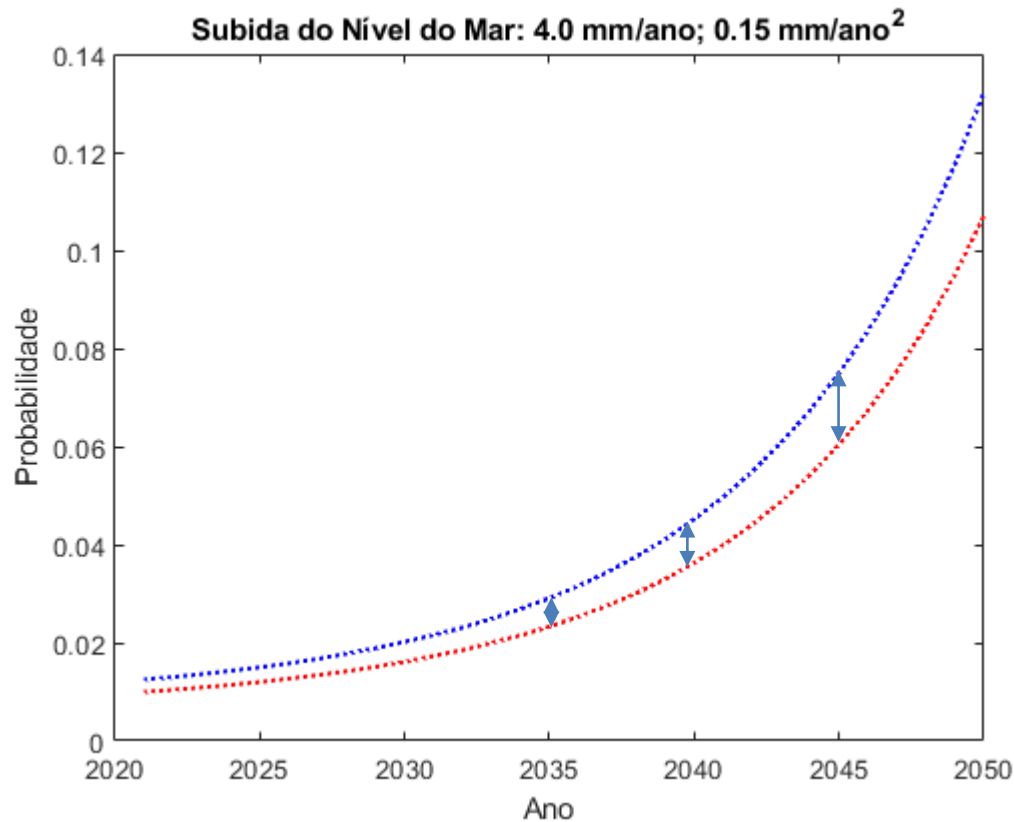
- O Valor Monetário Anual prevê assim o custo médio de danos esperado para um determinado ano, o qual é calculado para cada ano de expectativa de vida da estrutura.
- À medida que o nível do mar aumenta, a probabilidade de serem atingidos níveis mais elevados de inundação também aumenta pelo que o VME Anual também aumenta.
- Aumentando o nível de base de uma estrutura reduz o VME Anual, pois as probabilidades de serem atingidos níveis de inundação/galgamento da estrutura são menores.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



4. Valor Monetário Esperado

- A economia total ao longo da vida útil da estrutura pode ser calculada pela soma das diferenças nos VME Anuais.



1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. Conclusões



5. Conclusões

- Para se alcançar um nível aceitável de risco de inundação ao longo da vida útil de um edifício, ele deve ser construído a um nível significativamente superior ao que resulta da não consideração do aumento do nível do mar.
- O impacto económico da elevação de um edifício ou estrutura de proteção costeira deve ser avaliado ao longo de toda a sua vida útil.
- Recorrendo ao Valor Monetário Esperado com diferentes opções de elevação da estrutura e diferentes cenários de elevação do nível do mar, podem ser tomadas decisões mais informadas sobre o resultado financeiro vitalício de um empreendimento.

1. Conceitos básicos
2. Noções de Risco e Tempo de Retorno
3. Aplicação
4. Valor Monetário Esperado
5. **Conclusões**



