



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**SISTEMA DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES EM ZONAS COSTEIRAS E
PORTUÁRIAS**

PTDC/AAC-AMB/120702/2010

PROGRAMA CALCULA_RUNUP_NOVASEQUAÇÕES_CONDIÇÕESLARGO_1.F

Lisboa, maio de 2013

Relatório HIDRALERTA 01/2013

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONCEITOS TEÓRICOS.....	2
3. LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN	4
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Fórmulas empíricas para o cálculo do <i>runup</i>	3
--	---

AGRADECIMENTOS

Branca Branco – Assistente Técnico

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo a apresentação do programa intitulado *Calcula_Runup_NovasEquações_condiçõeslargo_1.f*, que é um programa em Fortran de cálculo do *runup* e do nível máximo de inundação em perfis de praia, utilizando várias formulações empíricas.

Este trabalho insere-se no âmbito do Projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (contrato PTDC/AAC-AMB/120702/2010), no qual aquelas ferramentas são muito utilizadas.

O projeto está a ser desenvolvido no LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil em conjunto com a Universidade Nova de Lisboa (Faculdade de Ciências e Tecnologia e Faculdade de Ciências Sociais e Humanas) e a Universidade dos Açores, e tem como principal objetivo desenvolver o Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias HIDRALERTA. Em especial, inclui as seguintes tarefas:

1. Criação de uma ferramenta, amigável com o utilizador, que permita:

- Avaliar o risco de inundação por intermédio de mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com longas séries temporais de previsões da agitação marítima ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos;
- Avaliar em tempo real situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas;

2. Desenvolvimento de um protótipo para o porto da Praia da Vitória e da zona de Lisboa-Vale do Tejo.

O programa *Calcula_Runup_NovasEquações_condiçõeslargo_1.f* é utilizado na tarefa de avaliação do risco de inundação, nomeadamente no cálculo do *runup* e do nível máximo de inundação de perfis de praia.

Nos capítulos 2 e 3, apresentam-se um resumo dos conceitos básicos teóricos do programa, bem como a listagem do mesmo, respetivamente. O capítulo 4 contém as referências bibliográficas que serviram de base ao desenvolvimento do programa.

2. CONCEITOS TEÓRICOS

Para o cálculo do *runup* e dos respetivos níveis máximos de inundação têm sido propostas na literatura várias fórmulas, todas elas de caráter empírico, que dependem, na sua maioria, das condi es de agita o marítima em águas profundas, nomeadamente da altura de onda significativa e do comprimento de onda, e do declive da face da praia. Sendo que o *runup*   uma variável estatística, para efeitos de galgamento do cordão dunar, utiliza-se comumente a estimativa do *runup* com probabilidade de não ocorrência de 2%, ou seja, correspondente ao nível que   excedido somente por 2% da série de ondas associada a determinada altura de onda significativa, H_s (Sancho *et al.*, 2011). Foram então propostas várias fórmulas empíricas, apresentadas no Quadro 1. Neste quadro, R_{max}   o *runup* máximo e $R_{1/3}=R_s$   o *runup* significativo (média do ter o mais alto dos *runup*).

  de notar que as fórmulas apresentadas no Quadro 1 têm em conta, na sua maioria, o número de Iribarren, que, por sua vez, tem em conta o declive da face da praia, β , o comprimento de onda, L_0 , e a altura de onda significativa em águas profundas, H_0 . O número de Iribarren   obtido através da equa o (1):

$$\xi = \tan \beta / (H_0 / L_0)^{0.5} \quad (1)$$

Este parâmetro tem em conta o comprimento de onda L_0 que pode ser obtido através da equa o (2):

$$L_0 = g * T^2 / (2 * \pi) \quad (2)$$

Dependendo da fórmula em questão, L_0 pode ser obtido com base no período de pico da onda, T_p , no período significativo, T_s , ou no período máximo, T_{max} .

Uma vez calculados os valores do *runup* numa dada zona costeira,   necessário calcular as cotas de inunda o, *C.I.* (referidas ao Z.H.). Assumindo que o cálculo das mesmas resulta apenas da soma da contribui o da maré astron mica, *M.A.* (referente igualmente ao Z.H.), da sobreleva o meteorológica, *S.M.*, e do *runup*, $R_{1\%}$ (adaptado de Raposeiro & Ferreira, 2011; Raposeiro *et al.*, 2010, 2013), as cotas de inunda o serão então definidas pela equa o (3):

$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%} \quad (3)$$

em $R_{1\%}$ correspondente ao nível que   excedido somente por 1% da série de ondas associada a determinada altura de onda significativa, H_s . A equa o (3) representa uma forma simplificada do cálculo do nível máximo de inunda o, dado que a inunda o de uma zona costeira   um fen meno complexo, devido não são ao número de fatores envolvidos no processo, mas também   intera o entre eles.

Assim, para uma dada condi o de agita o marítima e um dado perfil de praia,   determinado o correspondente valor de *runup*, segundo as fórmulas apresentadas no Quadro 1, e o correspondente nível máximo de inunda o recorrendo   equa o (3).

A aplica o das fórmulas empíricas apresentadas no Quadro 1 tem em considera o as características da agita o marítima (altura e período) em águas profundas, com exce o da equa o (7) que tem em considera o as condi es incidentes junto   costa.

Quadro 1 - Fórmulas empíricas para o cálculo do *runup*.

Autores	<i>Runup</i>	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan \beta * (H_0 * L_{0s})^{0.5} \quad \beta < 45^\circ \text{ e } \tan \beta < \sqrt{\frac{H_0}{T_s^2}}$	(4)
	$R_{2\%} = 3 * H_0 \quad \beta \geq 45^\circ \text{ e } \tan \beta \geq \sqrt{\frac{H_0}{T_s^2}}$	(5)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0.83 * \xi_{0p} + 0.20)$	(6)
	$R_{2\%} = H_i * (0.78 * \xi_s + 0.20)$	(7)
Nielsen & Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU} * (-\ln(0.02))^{0.5}$	(8)
	$L_{RU} = 0.6 * \tan \beta * (H_{oms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan \beta \geq 0.1$	(9)
	$L_{RU} = 0.05 * (H_{oms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan \beta < 0.1$	(10)
Stockdon <i>et al.</i> (2006)	$R_{2\%} = 0.043 * (H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} < 0.3$	(11)
	$R_{2\%} = 1.1 * (0.35 * \tan \beta * (H_0 L_{0p})^{0.5} + [(H_0 L_{0p} (0.563 * (\tan \beta)^{0.5} + 0.004))^{0.5}] / 2) \quad \xi_{0p} \geq 0.3$	(12)
Teixeira (2009)	$R_{max} = 0.80 * H_0 + 0.62 \quad (\text{mais antiga})$	(13)
	$R_{max} = 1.08 * H_0 * \xi_{0max} \quad (\text{mais recente})$	(14)
Ruggiero <i>et al.</i> (2001)	$R_{2\%} = 0.27 * (\tan \beta * H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} \geq 0.5$	(15)
	$R_{2\%} = 0.5 * H_0 - 0.22 \quad \xi_{0p} < 0.5$	(16)
Guza & Thornton (1982)	$R_{1/3} = 0.71 * H_0 + 0.035$	(17)

3. LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN

```

program Calcula_Runup_NovasEquações_condiçõeslargo_1.f
c   Juana Fortes, Teresa Reis, Patrícia Neves 31/05/2013
c   Calculo dos valores runup para o largo

integer ii

real HM0(365000),HRMS(365000), TP(365000), Dir(365000),TS(365000)
real smax(365000)

real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,profundidade,
*pi,Rmedio,Rrms,R50,R1,R2, Nmax_inundacao_hunt,L0p,L0s,hs,
*Nmax_inundacao_holman1,Nmax_inundacao_teixeira1,
*Nmax_inundacao_teixeira2,Nmax_inundacao_Stock,
*Nmax_inundacao_nielsen, Nmax_inundacao_Rugg,
*Nmax_inundacao_guza, LZWM

open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")
open(7,file="dados_condicoeslargo.dad")
open(33,file="galgamento_R_totais.dat")
open(34,file="todos_os_resultados_totais.dat")
open(35,file="r2_total.dat")
open(36,file="r1_total.dat")
open(37,file="rs_total.dat")
open(38,file="rmax_total.dat")
open(39,file="rmedio_total.dat")
open(40,file="Nmax_inundacao_total.dat")

write(33,888)

do i=35,40
write(i,888)
888 format ("      HM0(i)      L0      TP(i)  smax(i)
*Hunt   Holman1
*Stock   Nielsen  Rugg   Guza  rmax_Teixeira1
* rmax_Teixeira2  ")
enddo

pi= 4*atan(1.)
g= 9.81

c   Leitura de dados
c   betaf= angulo do perfil de praia (em graus)
c   profundidade - ao largo ou antes da rebentação.
c   read(4,*)betaf
c   read(7,*)betaf
c   read(7,*)profundidade
c   write(34,*)'betaf=',betaf, 'profundidade=',profundidade

c   write(*,*)betaf, profundidade
c   npontos=0

c   Leitura do ficheiro Alturas.dat
c   write(34,*)'HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii), TS(ii)'
c   do ii=1,1000000
c   read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii)
c   TS(ii)=TP(ii)/1.05

```

```

write(34,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii),Ts(ii)
npontos=npontos+1
enddo
    
```

533 write(34,*)'numero de pontos lidos=',npontos

c Cálculo do HRMS e $L_0 = gT_s^2/2\pi$. note-se que o $t_s = t_p/1.05$

```

do I = 1,npontos
if (HM0(i).eq.0)then
Lzwm=0
R2_hunt=0
R2_holman1=0
R2_Stock=0
R2_nielsen=0
R2_Rugg=0
R2_guza=0
    
```

```

R1_hunt=0
R1_holman1=0
R1_Stock=0
R1_nielsen=0
R1_Rugg=0
R1_guza=0
    
```

```

Rs_hunt=0
Rs_holman1=0
Rs_Stock=0
Rs_nielsen=0
Rs_Rugg=0
Rs_guza=0
    
```

```

Rmax_hunt=0
Rmax_holman1=0
Rmax_Stock=0
Rmax_nielsen=0
Rmax_Rugg=0
Rmax_guza=0
Rmax_Teixeira1=0
Rmax_Teixeira2=0
    
```

```

Rmed_hunt=0
Rmed_holman1=0
Rmed_Stock=0
Rmed_nielsen=0
Rmed_Rugg=0
Rmed_guza=0
    
```

```

Nmax_inundacao_hunt=Smax(i)
Nmax_inundacao_holman1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Stock=Smax(i)
Nmax_inundacao_nielsen=Smax(i)
Nmax_inundacao_Rugg=Smax(i)
Nmax_inundacao_guza=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira2=Smax(i)
    
```

```

go to 666
endif
    
```

c Cálculo do $L_0 = gT_p^2/2\pi$

- ```

L0p=9.81*TP(i)**2/2/pi
L0s=9.81*TS(i)**2/2/pi

c calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
 HS=HM0(i)
c write(*,*)'Calculo com os valores do largo'

c Cálculo do HRMS
 HRMS(i)=HS/1.416

c Cálculo do Lzwm
 declive_rad=tan(Betaf*pi/180)
 qsip=(declive_rad/(HM0(i)/L0p)**0.5)
 qsis=(declive_rad/(HM0(i)/L0s)**0.5)

c calculo da formula de hunt
 ajuda1=sqrt(HM0(i)/Ts(i)**2)
 write(34,*)i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1'
 write(34,778)i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1

c calculo com o hunt
 if (declive_rad.lt.ajuda1)then
 R2_hunt=declive_rad*(HM0(i)*L0s)**0.5
 else
 R2_hunt=3*HM0(i)
 endif
 Rs_hunt=R2_hunt/1.4
 Rmedio_hunt=0.63*Rs_hunt
 R1_hunt=1.52*Rs_hunt
 Rmax_hunt=R1_hunt
 Nmax_inundacao_hunt=Rmax_hunt+Smax (i)

c calculo com o holman1
 R2_holman1=HM0(i)*(0.83*qsip+0.2)
 Rs_holman1=R2_holman1/1.4
 Rmedio_holman1=0.63*Rs_holman1
 R1_holman1=1.52*Rs_holman1
 Rmax_holman1=R1_holman1
 Nmax_inundacao_holman1=Rmax_holman1+Smax(i)

c calculo com Teixeira1
 Rmax_Teixeira1=0.8*HM0(i)+0.62
 R1_Teixeira1=Rmax_Teixeira1
 Rs_Teixeira1=R1_Teixeira1/1.52
 Rmedio_Teixeira1=0.63*Rs_Teixeira1
 R2_Teixeira1=Rs_Teixeira1*1.4
 Nmax_inundacao_teixeira1=Rmax_teixeira1+Smax(i)

c calculo com Teixeira2
 Rmax_Teixeira2=1.08*HM0(i)*qsip
 R1_Teixeira2=Rmax_Teixeira2
 Rs_Teixeira2=R1_Teixeira2/1.52
 Rmedio_Teixeira2=0.63*Rs_Teixeira2
 R2_Teixeira2=Rs_Teixeira2*1.4
 Nmax_inundacao_teixeira2=Rmax_teixeira2+Smax(i)

c calculo da formula de stockon
 if (qsip.gt.0.3)then

```

```

 R2_Stock= 1.1*(0.35*declive_rad*(HM0(i)*L0p)**0.5)+ 1.1*
0.5((HM0(i)*L0p*(0.563*declive_rad**0.5+0.004))**0.5)
 else
 R2_Stock= 0.043*(HM0(i)*L0p)**0.5
 endif
 Rs_stock=R2_Stock/1.4
 Rmedio_stock=0.63*Rs_stock
 R1_stock=1.52*Rs_stock
 Rmax_stock=R1_stock
 Nmax_inundacao_stock=Rmax_stock+Smax(i)

c calculo de Nielsen
 if (declive_rad.ge.0.1)then
 Lzwm= 0.6*(HRMS(i)*L0s)**0.5*declive_rad
 else
 Lzwm=0.05*(HRMS(i)*L0s)**0.5
 endif

 write(*,*)'LZWM=',Lzwm
 ajuda=sqrt(-alog(0.02))
 write(77,*)ajuda
 R2_Nielsen=Lzwm*1.98
 Rs_Nielsen=1.42*Lzwm
 Rmedio_Nielsen=0.89*Lzwm
 R1_Nielsen=2.15*Lzwm
 Rmax_Nielsen=R1_Nielsen
 Nmax_inundacao_nielsen=Rmax_nielsen+Smax(i)

c calculo da formula de Ruggiero
 if (qsip.lt.0.5)then
 R2_Rugg=0.5*HM0(i)-0.22
 if (R2_Rugg.lt.0)then
 R2_Rugg=0
 endif
 else
 R2_Rugg= 0.27*(declive_rad*HM0(i)*L0p)**0.5
 endif
 Rs_Rugg=R2_Rugg/1.4
 Rmedio_Rugg=0.63*Rs_rugg
 R1_Rugg=1.52*Rs_Rugg
 Rmax_Rugg=R1_Rugg
 Nmax_inundacao_rugg=Rmax_rugg+Smax(i)

c calculo da formula de Guza
 Rs_Guza=0.71*HM0(i)+0.035
 Rmedio_Guza=0.63*Rs_Guza
 R2_Guza=1.4*Rs_Guza
 R1_Guza=1.52*Rs_Guza
 Rmax_Guza=R1_Guza
 Nmax_inundacao_guza=Rmax_guza+Smax(i)

C Escrita dos valores
666 write(35,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_hunt,R2_holman1,
 *R2_Stock, R2_nielsen, R2_rugg, R2_guza,r2_Teixeira1
 *,r2_Teixeira2
 write(36,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),R1_hunt,R1_holman1,
 *R1_Stock, R1_nielsen, R1_rugg, R1_guza,r1_Teixeira1
 *,r1_Teixeira2
 write(37,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rs_hunt,Rs_holman1,
 *Rs_Stock, Rs_nielsen, Rs_rugg, Rs_guza,rs_Teixeira1

```

```
*rs_Teixeira2
 write(38,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmax_hunt,Rmax_holman1,
*Rmax_Stock, Rmax_nielsen, Rmax_rugg, Rmax_guza,rmax_Teixeira1
*,rmax_Teixeira2
 write(39,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmedio_hunt,Rmedio_holman1,
*Rmedio_Stock, Rmedio_nielsen, Rmedio_rugg, Rmedio_guza,
*rmedio_Teixeira1,rmedio_Teixeira2
 write(40,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Nmax_inundacao_hunt,
*Nmax_inundacao_holman1,
*Nmax_inundacao_Stock, Nmax_inundacao_nielsen,Nmax_inundacao_rugg,
*Nmax_inundacao_guza,Nmax_inundacao_Teixeira1,
*Nmax_inundacao_Teixeira2
*Rmedio_hunt, r1_hunt, rmax_hunt, Nmax_inundacao_hunt
 write(34,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_holman1,Rs_holman1,
*Rmedio_holman1, r1_holman1, rmax_holman1, Nmax_inundacao_holman1
777 format(16(f12.3,4x))
778 format(i5,18(f12.5,4x))

 enddo
 end
```

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guza, R. T. & Thornton, E. B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 87 (C1), 483-491.
- Holman, R. A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Engineering*, 9, 527-544.
- Hunt, I. A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 85 (WW3), 123-152.
- Nielsen, P. & Hanslow, D. J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, 7 (4), 1139-1152.
- Raposeiro, P. D. & Ferreira, J. C. (2011). Evaluation of coastal flood risk areas and adaption strategies for a sustainable planning. *Journal of Coastal Research*, 64, 1896-1900.
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Capitão, R., Reis, M. T., Ferreira, J. C. & Pereira, M. T. (2013). Preliminary phases of the Hidralerta System: Assessment of the flood levels at S. João da Caparica beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 65, 808-813.
- Raposeiro, P. D., Reis, M. T., Fortes, C. J. & Ferreira, J. C. (2010). Análise de cotas de inundação na Praia de Vale do Lobo. 10<sup>o</sup> Congresso da Água, APRH.
- Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J. & Beach, R. A. (2001). Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17, 407-419.
- Sancho, F., Oliveira, F. S. & Freire, P. (2011). Níveis máximos do espraiamento no litoral da Ria Formosa. 7<sup>o</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, PIANC.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A. & Sallenger Jr., A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53, 573-588.
- Teixeira, S. B. (2009). Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Departamento de Recursos Hídricos do Litoral, Faro, 207 pp.

## Autores:



Conceição Juana Fortes

Investigadora Principal



Maria Teresa Reis

Investigadora Auxiliar



Patrícia Neves

Aluna de Mestrado