

Apresentação

O programa TWallDesign foi desenvolvido pela LGSoft para possibilitar a avaliação da segurança externa de um muro de betão tipo L relativamente ao:

- Escorregamento
- Derrube
- Rotura do solo de fundação

O programa avalia para as possíveis cunhas de solo formadas no tardo do muro qual é aquela que origina um factor de segurança global mais reduzido, exibindo na janela principal os respectivos valores, bem como a sua inclinação medida em relação à vertical.

Para além dos resultados dos valores dos factores de segurança mínimos o programa disponibiliza a visualização gráfica da variação do factor de segurança com o ângulo que delimita a cunha para as três situações em análise. Existe ainda a possibilidade de gerar relatórios de cálculo para um ficheiro de texto.

O programa tem, actualmente, implementadas duas teorias distintas para a avaliação do factor de segurança relativamente ao escorregamento e ao derrube, cuja principal diferença reside na distinção por acções/resistências ou por efeitos favoráveis/desfavoráveis.

A LGSoft prevê para futuras versões o desenvolvimento das seguintes funcionalidades:

- Implementação da teoria sísmica de Richard-Elm's.
- Possibilidade de escolher diferentes teorias de impulsos.
- Introdução de níveis de água tanto à frente como atrás do muro.
- Verificação da segurança de acordo com o Eurocódigo 7.

LGSoft

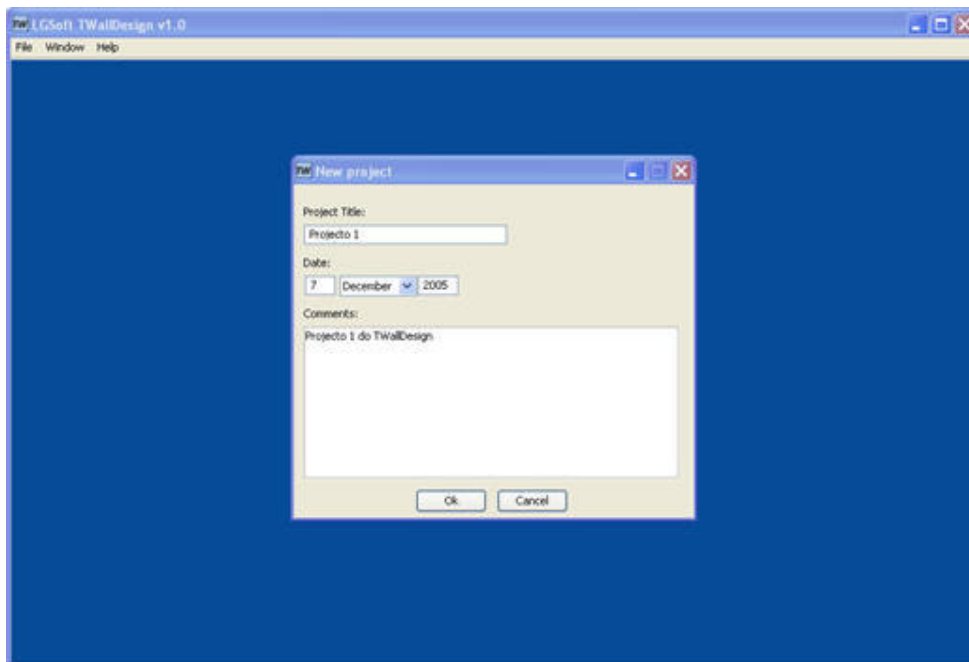
E-mail: lgsoft@dec.uc.pt

Website: www.dec.uc.pt/~lgsoft

Dados de Entrada

O programa inicializa com uma página em branco podendo-se definir através do menu "File" a possibilidade ou de criar um ficheiro novo ou de abrir um projecto existente.

Caso se opte por criar um novo projecto, o programa abre uma janela onde o utilizador deverá inserir os dados gerais: nome, data e eventuais comentários do trabalho. Confirmando as escolhas, o programa abre a janela principal de cálculo. Note-se que em qualquer altura do processamento o utilizador pode alterar os dados introduzidos bastando para tal ir ao menu "File", opção "Project Settings".



No menu "File", após a abertura de um projecto as opções guardar ("Save") e fechar ("Close") ficam disponíveis.

A janela principal de cálculo encontra-se dividida em três sectores. Na zona central encontra-se o esquema do muro bem como os dados necessários à correcta definição do problema a resolver. Assim, o utilizador deverá preencher os campos referentes a:

1. Geometria do muro:

- Largura à frente do muro (m);
- Largura atrás do muro (m);
- Espessura máxima do muro (m);
- Espessura mínima do muro (m);
- Altura do muro (m);

- Altura da sapata do muro (m);
- Inclinação do terrapleno ($^{\circ}$);

2. Sobrecargas:

- Sobrecarga (kPa);

3. Solo suportado:

- Peso volúmico (kN/m³);
- Ângulo de resistência ao corte ($^{\circ}$);
- Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$);

4. Solo de fundação:

- Peso volúmico (kN/m³);
- Ângulo de resistência ao corte ($^{\circ}$);
- Coesão (kPa);
- Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$);

Nos dados referentes ao solo de fundação existe a opção, através do botão "Advanced", de considerar a adesão existente entre o solo de fundação e a base do muro relativamente à coesão do solo. Este parâmetro define-se através de

$$\text{Coeficiente de Adesão} = \frac{\text{Adesão}}{\text{Coesão}}$$

O programa disponibiliza igualmente outras opções de cálculo que ficam situadas no sector esquerdo da janela de cálculo.

No painel superior encontra-se situada a caixa que permite definir os dados referentes a uma eventual acção sísmica. Nesta caixa o utilizador, case active a caixa de selecção da acção sísmica, tem a opção de introduzir os valores dos coeficientes de aceleração vertical e horizontal, com os sentidos positivos de acordo com a figura (note-se que o coeficiente de aceleração horizontal só pode ser positivo). O utilizador dispõe ainda de uma opção avançada que permite modificar a posição relativa do impulso sísmico (valores normais entre 0,5 e 0,7 sendo por defeito 0,6). Note-se que no caso da caixa sísmica estar activa, na geometria do muro a indicação "q" referente à sobrecarga passa a "qs" de forma a alertar o utilizador que deve introduzir o valor reduzido da sobrecarga sísmica já que o programa não reduz o valor da sobrecarga introduzido manualmente.

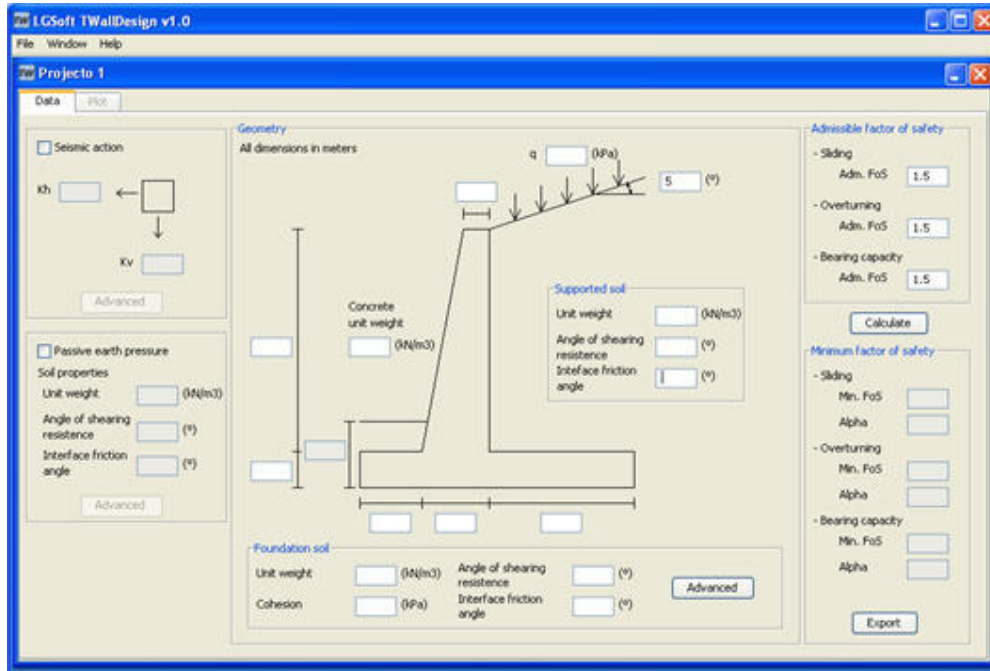
No painel inferior o utilizador tem a opção de incorporar no modelo o efeito passivo do solo colocado à frente do muro. Para tal, após seleccionar a respectiva caixa de activação, o utilizador deve preencher os dados referentes a:

- Peso volúmico (kN/m³);
- Ângulo de resistência ao corte ($^{\circ}$);
- Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$);

bem como a altura de solo à frente do muro. Note-se que esta poderá ser inferior à altura da sapata do muro.

Neste painel existe ainda a opção de atribuir um factor de segurança ao impulso passivo, podendo este ser definido através da opção avançada (botão "Advanced"). O valor por defeito deste parâmetro é 3.

No sector direito da janela principal estão situadas as opções gráficas e de saída do programa. O painel superior permite estabelecer os factores de segurança admissíveis para o projecto que servirão se comparação com os resultados provenientes dos cálculos. Por defeito o valor destes factores de segurança é de 1,5.



Cálculos

O programa determina para todas as cunhas passíveis de se formarem no tardo do muro os factores de segurança através de comparações entre forças. O cálculo dos impulsos actuantes do tardo do muro é efectuado segundo a teoria de Coulomb com a respectiva extensão para o caso de situações dinâmicas (cálculo pseudo-estático segundo a teoria de Mononobe-Okabe).

Tanto no caso do escorregamento como no caso do derrube, o programa avalia o factor de segurança segundo duas metodologias distintas. A primeira relaciona os efeitos estabilizadores e os efeitos destabilizadores da seguinte forma:

$$FS = \frac{\text{Efeito Estabilizador}}{\text{Efeito Destabilizador}}$$

A segunda metodologia relaciona as forças resistentes e as forças actuantes sobre o muro:

$$FS = \frac{\text{Forças Resistentes}}{\text{Forças Actuantes}}$$

Relativamente ao factor de segurança à rotura do solo de fundação o programa efectua um cálculo baseado na teoria da capacidade de carga de uma fundação contínua, comparando o valor da capacidade de carga com o valor da força axial actuante.

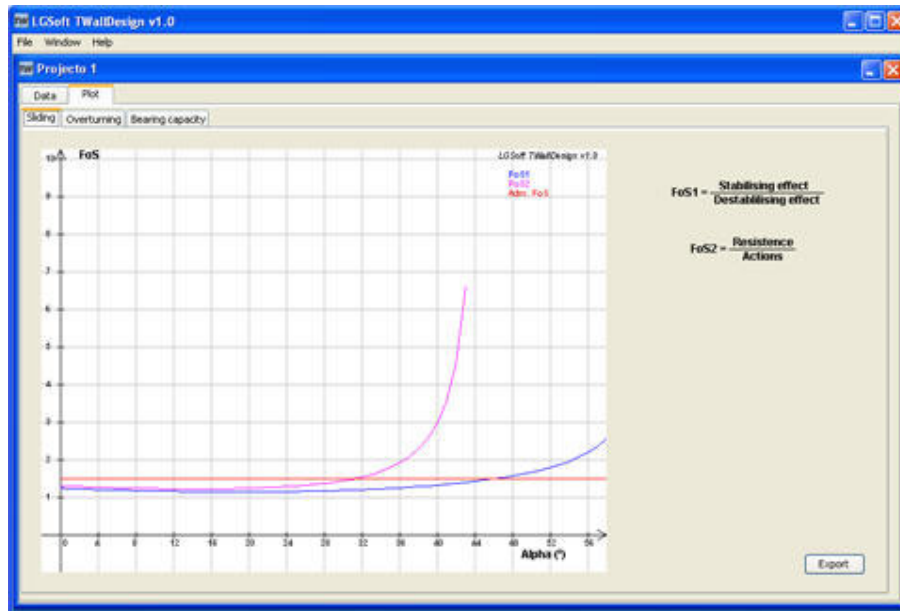
Deve referir-se que na presente versão do programa, caso o utilizador tenha definido uma sobrecarga actuante, esta só contribui para o aumento dos impulsos actuantes no tardo do muro, não contribuindo portanto para o aumento da carga axial sobre este.

Definidos todos os dados de entrada o utilizador pode efectuar o cálculo bastando para isso pressionar o botão "Calculate". Os factores de segurança mínimos obtidos bem como os respectivos ângulos definidores das cunhas críticas para cada situação podem ser visualizados no canto inferior direito da janela de cálculo. Deve notar-se que os valores apresentados para o escorregamento e para o derrube são determinados segundo a primeira metodologia apresentada.

Após a conclusão do cálculo, o programa indica se existem ou não zonas de tracção na base da fundação. Assim, se tal acontecer surge a vermelho "Tension Zone". Caso contrário, o programa exhibe a informação "No Tension Zone" a cor azul.

Dados de Saída

Os resultados do cálculo podem ser visualizados sob a forma de gráficos que apresentam o factor de segurança em função do ângulo da cunha. Estes gráficos podem ser observados na janela "Plot" onde também é possível exportá-los para um ficheiro JPEG. Note-se que estes gráficos não representam os valores do factor de segurança superiores a 10 nem os negativos.



Para além da hipótese de visualizar sob a forma de gráficos, é possível exportar os resultados sob a forma de relatórios (botão "Export"). Estes podem ser em inglês ou em português e também completos ou concisos. Há ainda a possibilidade de serem feitos baseados em formatos definidos pelo utilizador.

Minimum factor of safety

- Sliding
 - Min. FoS
 - Alpha
- Overturning
 - Min. FoS
 - Alpha
- Bearing capacity
 - Min. FoS
 - Alpha

No tension zone

Geração de Ficheiros de Saída

O programa permite criar um ficheiro de saída de resultados através da opção "Custom" no quadro de opções do "Export". Para aceder aos dados intermédios e finais guardados na memória durante o processo de cálculo implementado no programa, o utilizador pode criar um ficheiro de extensão ".txt" em que o nome da variável pretendida surge entre cardinais (ex: #b#). As variáveis disponíveis são:

Dados de projecto

Nome do Projecto	#name#
Data do projecto	#date#
Comentários	#comments#

Geometria do projecto

Dimensões da fundação (m)	
Largura total	#b#
Largura à frente do muro	#b1#
Largura atrás do muro	#b3#
Altura da sapata	#h2#
Paramento (m)	
Espessura máxima	#b4#
Espessura mínima	#b2#
Altura	#h3#
Altura de terras na frente do muro (m)	#hp#
Inclinação do terrapleno ($^{\circ}$)	#beta#

Características dos materiais do projecto

Muro	
Peso volúmico (kN/m ³)	#gm#
Solo suportado	
Peso volúmico (kN/m ³)	#g#
Ângulo resistência ao corte ($^{\circ}$)	#fi#
Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$)	#delta#
Solo fundação	

Peso volúmico (kN/m3)	#gf#
Ângulo resistência ao corte (°)	#fif#
Coesão (kPa)	#cc#
Ângulo de atrito da interface (°)	#deltaf#
Solo à frente do muro	
Peso volúmico (kN/m3)	#gp#
Ângulo resistência ao corte (°)	#fip#
Ângulo de atrito da interface (°)	#deltap#
Factor de segurança	#fsp#

Acções actuantes

Sobrecarga	
Sobrecarga actuante (kPa)	#q#
Sismo	
Coefficiente aceleração horizontal	#kh#
Coefficiente aceleração vertical	#kv#
Distância à base do impulso sísmico (m)	#hss#

Factores de segurança admissíveis

Escorregamento	#fseadm#
Derrube	#fsdadm#
Rotura solo fundação	#fsradm#

Factor de segurança mínimo calculado

Escorregamento – situação 1	
Factor de segurança mínimo	#fse1m#
Ângulo alpha (factor de segurança mínimo)	#ase1m#
Escorregamento – situação 2	
Factor de segurança mínimo	#fse2m#
Ângulo alpha (factor de segurança mínimo)	#ase2m#
Derrube – situação 1	
Factor de segurança mínimo	#fsd1m#
Ângulo alpha (factor de segurança mínimo)	#asd1m#
Derrube – situação 2	
Factor de segurança mínimo	#fsd2m#
Ângulo alpha (factor de segurança mínimo)	#asd2m#
Rotura do solo fundação	
Factor de segurança mínimo	#fsrm#
Ângulo alpha (factor de segurança mínimo)	#asrm#

Constantes de cálculo

Factores de capacidade de carga	
Nq	#nq#
Nc	#nc#
Ng	#ng#
Ângulos notáveis	
Ângulo alpha topo (°)	#alphad#
Ângulo alpha máximo (°)	#alphalim#
Características da acção sísmica	
Ângulo definidor da acção sísmica (°)	#theta#

Pesos do muro e respectivos pontos de aplicação

Situação estática	
Peso 1 (kN)	#wm1#
Peso 2 (kN)	#wm2#
Peso 3 (kN)	#wm3#
Peso total (kN)	#wt#
Situação sísmica - vertical	
Pesos (kN)	
Peso 1	#wm1sv#
Peso 2	#wm2sv#
Peso 3	#wm3sv#
Peso total	#wtsv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso 1	#xwm1sv#
Ponto aplicação - Peso 2	#xwm2sv#
Ponto aplicação - Peso 3	#xwm3sv#
Situação sísmica - horizontal	
Pesos (kN)	
Peso 1	#wm1sh#
Peso 2	#wm2sh#
Peso 3	#wm3sh#
Peso total	#wtsh#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso 1	#zwm1sh#
Ponto aplicação - Peso 2	#zwm2sh#
Ponto aplicação - Peso 3	#zwm3sh#

Peso das terras à frente do muro e respectivos pontos de aplicação

Verticais	
Pesos (kN)	
Peso 1	#pp1v#
Peso 2	#pp2v#
Peso total	#pptv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso 1	#xpp1v#
Ponto aplicação - Peso 2	#xpp2v#
Horizontais	
Pesos (kN)	
Peso 1	#pp1h#
Peso 2	#pp2h#
Peso total	#ppth#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso 1	#zpp1h#
Ponto aplicação - Peso 2	#zpp2h#

Peso do solo no tardo e respectivos pontos de aplicação - Factor de segurança mínimo

Nota: para utilização das variáveis correspondentes a estes resultados, o utilizador deverá indicar, através de um prefixo, a qual análise se quer referir antes de digitar o nome da variável.

Escorregamento	
Situação 1	#s1...
Situação 2	#s2...
Derrube	
Situação 1	#o1...
Situação 2	#o2...
Rotura solo fundação	#bc...

Após o prefixo, as seguintes variáveis estão disponíveis:

Verticais	
Pesos (kN)	
Peso solo 1	...wt1v#
Peso solo 2	...wt2v#
Peso total	...wttv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso solo 1	...xwt1v#

Ponto aplicação - Peso solo 2	...xwt1v#
Horizontais	
Pesos (kN)	
Peso solo 1	...wt1h#
Peso solo 2	...wt2h#
Peso total	...wtth#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Peso solo 1	...zwt1h#
Ponto aplicação - Peso solo 2	...zwt2h#

Coeficientes de impulso - factor de segurança mínimo

Nota: estas variáveis necessitam também dos prefixos definidos anteriormente.

Coeficientes de impulsos	
Estático	
Activo (terras/muro)	...kae13#
Activo (terras/terras)	...kae2#
Passivo (terras/muro)	...kpi#
Sísmico	
Activo (terras/muro)	...kas13#
Activo (terras/terras)	...kas2#
Passivo (terras/muro)	...kpsi#

Impulsos activos estáticos e respectivos pontos de aplicação - factor de segurança mínimo

Nota: estas variáveis necessitam também dos prefixos definidos anteriormente.

Verticais	
Impulsos (kN)	
Impulso 1	...ia1v#
Impulso 2	...ia2v#
Impulso 3	...ia3v#
Impulso 2 – sobrecarga	...ia2sbv#
Impulso 3 – sobrecarga	...ia3sbv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Impulso 1	...xia1v#
Ponto aplicação - Impulso 2	...xia2v#
Ponto aplicação - Impulso 3	...xia3v#
Ponto aplicação - Impulso 2 – sb	...xia2sbv#
Ponto aplicação - Impulso 3 – sb	...xia3sbv#
Horizontais	

Impulsos (kN)	
Impulso 1	...ia1h#
Impulso 2	...ia2h#
Impulso 3	...ia3h#
Impulso 2 – sobrecarga	...ia2sbh#
Impulso 3 – sobrecarga	...ia3sbh#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Impulso 1	...zia1h#
Ponto aplicação - Impulso 2	...zia2h#
Ponto aplicação - Impulso 3	...zia3h#
Ponto aplicação - Impulso 2 – sb	...zia2sbh#
Ponto aplicação - Impulso 3 – sb	...zia3sbh#

Impulsos activos sísmicos e respectivos pontos de aplicação - factor de segurança mínimo

Nota: estas variáveis necessitam também dos prefixos definidos anteriormente.

Verticais	
Impulsos (kN)	
Impulso 1	...aia1v#
Impulso 2	...aia2v#
Impulso 3	...aia3v#
Impulso 2 – sobrecarga	...aia2sbv#
Impulso 3 – sobrecarga	...aia3sbv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Impulso 1	...xaia1v#
Ponto aplicação - Impulso 2	...xaia2v#
Ponto aplicação - Impulso 3	...xaia3v#
Ponto aplicação - Impulso 2 – sb	...xaia2sbv#
Ponto aplicação - Impulso 3 – sb	...xaia3sbv#
Horizontais	
Impulsos (kN)	
Impulso 1	...aia1h#
Impulso 2	...aia2h#
Impulso 3	...aia3h#
Impulso 2 – sobrecarga	...aia2sbh#
Impulso 3 – sobrecarga	...aia3sbh#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - Impulso 1	...zaia1h#
Ponto aplicação - Impulso 2	...zaia2h#
Ponto aplicação - Impulso 3	...zaia3h#
Ponto aplicação - Impulso 2 – sb	...zaia2sbh#
Ponto aplicação - Impulso 3 – sb	...zaia3sbh#

Impulsos passivos e respectivos pontos de aplicação

Verticais	
Impulsos (kN)	
Passivo - estático	#ipv#
Passivo - sísmico	#aipv#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - passivo - estático	#xipv#
Ponto aplicação - passivo - sísmico	#xaipv#
Horizontais	
Impulsos (kN)	
Passivo - estático	#iph#
Passivo - sísmico	#aiph#
Pontos de aplicação (m)	
Ponto aplicação - passivo - estático	#ziph#
Ponto aplicação - passivo - sísmico	#zaiph#

Avaliação do factor de segurança - factor de segurança mínimo

Escorregamento	
Situação 1	
Somatório pesos verticais muro (kN)	#s1eswv#
Somatório pesos horizontais muro (kN)	#s1eswh#
Somatório impulsos activos verticais (kN)	#s1esiav#
Somatório impulsos activos horizontais (kN)	#s1esiah#
Somatório impulsos passivos verticais (kN)	#s1esipv#
Somatório impulsos passivos horizontais (kN)	#s1esiph#
Parcela adesiva (kN)	#s1cab#
Força estabilizadora total (kN)	#festab#
Força destabilizadora total (kN)	#fdestab#
Situação 2	
Somatório pesos verticais muro (kN)	#s2eswv#
Somatório pesos horizontais muro (kN)	#s2eswh#
Somatório impulsos activos verticais (kN)	#s2esiav#
Somatório impulsos activos horizontais (kN)	#s2esiah#
Somatório impulsos passivos verticais (kN)	#s2esipv#
Somatório impulsos passivos horizontais (kN)	#s2esiph#
Parcela adesiva (kN)	#s2cab#
Força resistente total (kN)	#fresist#
Força actuante total (kN)	#factua#

Derrube	
Situação 1	
Momento – peso muro (kN.m)	#o1dsmw#
Momento – impulsos activos verticais (kN.m)	#o1dsmiav#
Momento – impulsos activos horizontais (kN.m)	#o1dsmiah#
Momento – impulsos passivos verticais (kN.m)	#o1dsmipv#
Momento – impulsos passivos horizontais (kN.m)	#o1dsmiph#
Momento estabilizador total (kN.m)	#mestab#
Momento destabilizador total (kN.m)	#mdestab#
Situação 2	
Momento – peso muro (kN.m)	#o2dsmw#
Momento – impulsos activos verticais (kN.m)	#o2dsmiav#
Momento – impulsos activos horizontais (kN.m)	#o2dsmiah#
Momento – impulsos passivos verticais (kN.m)	#o2dsmipv#
Momento – impulsos passivos horizontais (kN.m)	#o2dsmiph#
Momento resistente total (kN.m)	#mresist#
Momento actuante total (kN.m)	#mactua#

Rotura solo fundação	
Somatório forças verticais (kN)	#sn#
Somatório forças horizontais (kN)	#sh#
Momento na base da fundação (kN.m)	#sm#
Excentricidade (m)	#exc#
Largura útil (m)	#bl#
Factores de inclinação	
iq	#iq#
lc	#ic#
lg	#ig#
Capacidade de carga unitária (kPa)	#qult#
Capacidade de carga (kN)	#qu#
Tensão máxima (kPa)	#qmax#
Tensão mínima (kPa)	#qmin#
Largura de compressão (m)	#lmin#

Está ainda disponível a visualização de uma tabela que relaciona os factores de segurança obtidos para as diversas situações em função do ângulo alpha.

Tabela	#table#
--------	---------

Exemplo

Considere-se um muro em T com a seguinte geometria:

- Largura à frente do muro (m): 1;
- Largura atrás do muro (m): 6;
- Espessura máxima do muro (m): 0,6;
- Espessura mínima do muro (m): 0,3;
- Altura do muro (m): 9;
- Altura da sapata do muro (m): 1;
- Inclinação do terraplano ($^{\circ}$): 5;

O valor da sobrecarga actuante em condições estáticas é igual a 10kPa.

O solo suportado tem as seguintes características:

- Peso volúmico (kN/m³): 20;
- Ângulo de resistência ao corte ($^{\circ}$): 25;
- Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$): 20;

O solo de fundação apresenta as seguintes características:

- Peso volúmico (kN/m³): 20;
- Ângulo de resistência ao corte ($^{\circ}$): 30;
- Coesão (kPa): 0;
- Ângulo de atrito da interface ($^{\circ}$): 25;

Como este solo não apresenta coesão, o valor do coeficiente de adesão é nulo.

Este muro está sujeito a uma acção sísmica definida pelas seguintes características:

- Coeficiente de aceleração horizontal: 0,1;
- Coeficiente de aceleração vertical: -0,05;

A posição relativa do ponto de aplicação do impulso activo foi considerada neste caso como sendo igual a 0,6 (valor assumido por defeito).

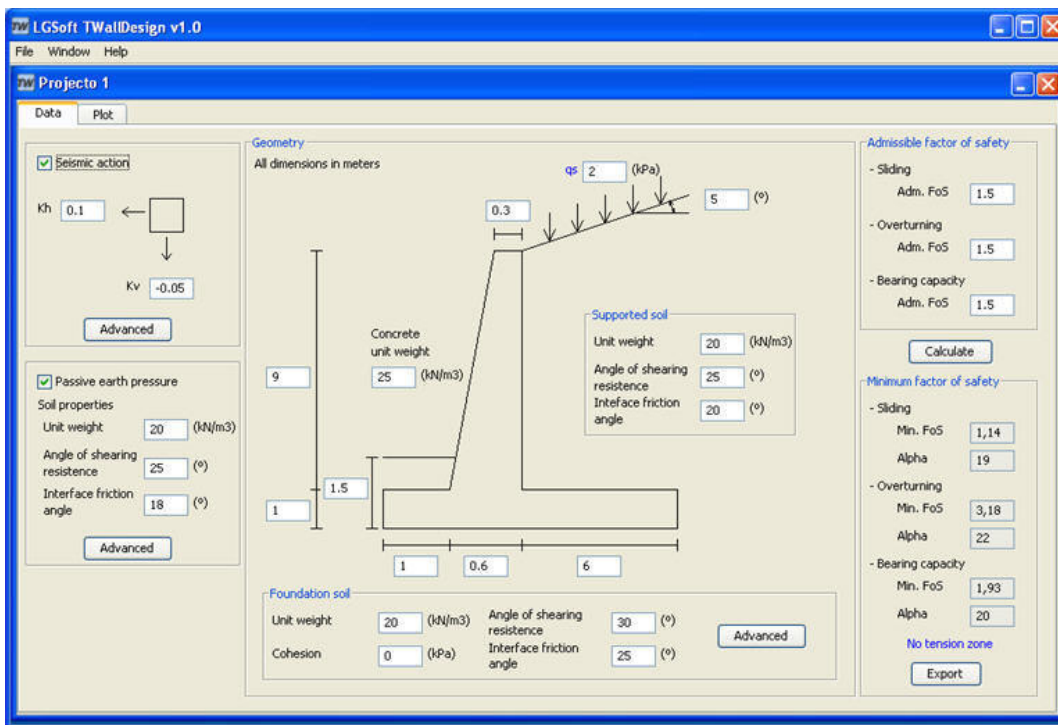
Note-se que sob ação sísmica, o valor da sobrecarga deve ser reduzido para 2kPa, segundo as indicações do Eurocódigo.

O efeito passivo das terras situadas à frente do muro também foi contabilizado, tendo-se atribuído uma altura de 1,5m com as seguintes características:

- Peso volúmico (kN/m³): 20;
- Ângulo de resistência ao corte (°): 25;
- Ângulo de atrito da interface (°): 18;

O valor do factor de segurança a atribuir ao impulso passivo é igual a 2.

Como resultado do cálculo tem-se que o factor de segurança mínimo para esta geometria ocorre para a situação de escorregamento pela base com o valor de 1,14 e para um ângulo da cunha de 19° com a vertical. Observa-se que com estas dimensões, não surgem tracções sob a base da fundação, pelo que a resultante se encontra dentro do núcleo central.



Os resultados gráficos apresentam-se nas figuras seguintes:

