

# Aterro – Assentamentos ao longo do tempo (consolidação)

Programa: MEF – Consolidação

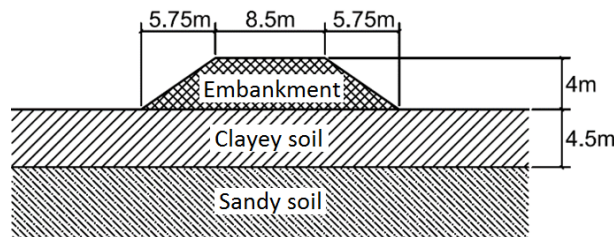
Arquivo: Demo\_manual\_37.gmk

## Introdução

Este exemplo mostra a aplicação do módulo GEO5 MEF – Consolidação na análise de assentamentos ao longo do tempo, devido à execução de um aterro. O objetivo é conhecer a evolução de deformações no aterro e no subsolo causadas pela redistribuição gradual da pressão nos poros. Os resultados desta análise são o campo de deslocamentos e o campo de pressão nos poros, para diferentes instantes após a execução do aterro.

## Definição do problema

O subsolo é constituído por uma camada de solo arenoso sobreposta por uma camada de 4.5 m de solo argiloso. O perfil do aterro tem uma forma trapezoidal, com 20 m de comprimento na base, 8.5 m no topo e 4 m de altura.



Será utilizado o modelo material de Mohr-Coulomb para representar o comportamento do subsolo e do aterro. A tabela seguinte apresenta os parâmetros do modelo: peso volúmico  $\gamma$ , Módulo de Young  $E$ , Coeficiente de Poisson  $\nu$ , ângulo de atrito interno  $\varphi$  e coesão  $c$ . Os parâmetros  $k_{x,sat}$  e  $k_{y,sat}$  representam os coeficientes de permeabilidade horizontal e vertical para solos totalmente saturados. Na Ajuda do programa GEO5 MEF estão disponíveis valores de referência para os coeficientes de permeabilidade de diferentes tipos de solo: <http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/coefficient-of-permeability-01/>.

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E$ [MPa]	$\nu$ [-]	$\varphi$ [°]	$c$ [kPa]	$k_{x,sat}$ [m/day]	$k_{y,sat}$ [m/day]
Solo argiloso	18.5	10	0.4	28	15	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>
Solo arenoso	19.5	30	0.3	33	2	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Aterro	20	30	0.3	30	10	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>

No seu estado inicial constante, o nível freático encontra-se a 1 m abaixo da superfície do terreno. O objetivo é conhecer o campo de deslocamentos e de pressões nos poros para 7 dias, 30 dias, 1 ano e 10 anos, após a execução do aterro.

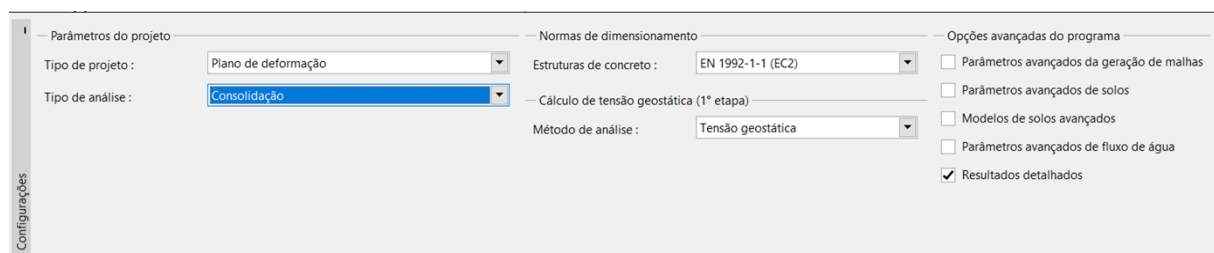
## Resolução – introdução de dados

As configurações, geometria e parâmetros materiais são introduzidos no regime topologia [Topo]. A malha de elementos finitos também é gerada neste regime. As condições de fronteira e a execução do aterro são introduzidas nas etapas seguintes [1] – [5].

### Configurações

No regime [Topo]->Configurações, vamos definir o tipo de projeto *Plano de deformação* e o tipo de análise *Consolidação*.

*Nota: Para permitir a visualização de todas as variáveis calculadas, é necessário selecionar a opção Resultados detalhados. Assim, o programa exibe, para além dos deslocamentos, pressões nos poros e velocidades de fluxo, também os valores das componentes de tensão e de deformação, e as suas variações.*



*Janela “Configurações”*

### Geometria do modelo

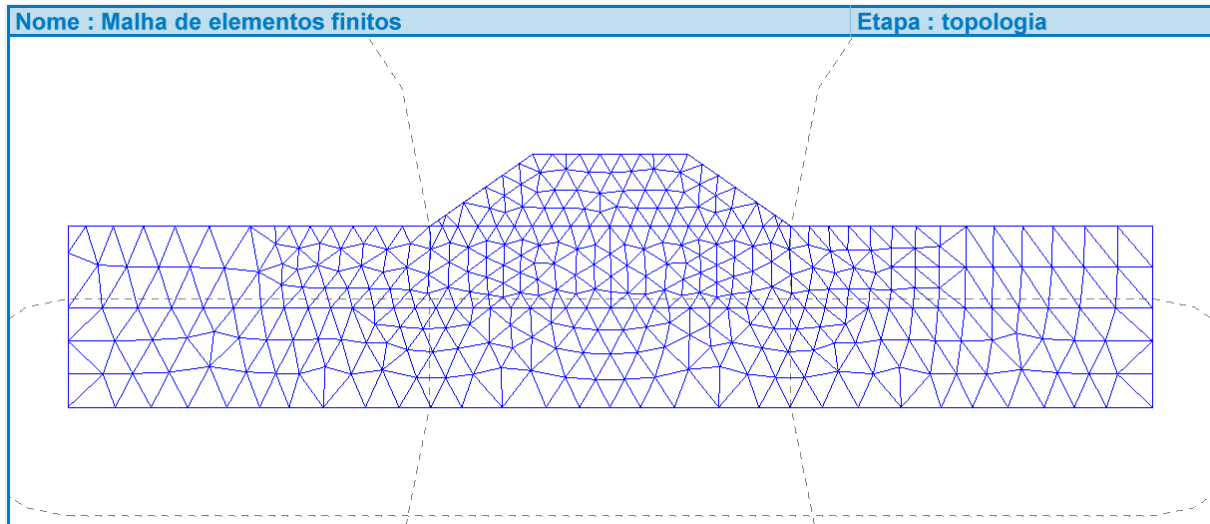
As dimensões do modelo e as interfaces entre solos são introduzidas na janela [Topo]->Interface. Horizontalmente, o modelo está compreendido dentro do intervalo -30 a 30 m e possui três interfaces. A primeira interface representa a superfície do terreno. Neste exemplo, esta interface está definida pelos pontos de coordenadas [-30, 0], [-10, 0], [10, 0] e [30, 0]. A segunda interface separa as duas camadas do subsolo e está definida pelos pontos de coordenadas [-30, -4.5] e [30, -4.5]. A terceira interface define a forma do aterro, através dos pontos de coordenadas [-10, 0], [-4.25, 4], [4.25, 4] e [10, 0]. Finalmente, é necessário definir, na caixa de diálogo *Coordenadas globais*, a profundidade do modelo como 4.5 m.

### Material

A análise de consolidação é um problema conduzido pelas leis mecânicas e hidráulicas. Assim, é necessário introduzir os parâmetros materiais utilizados na análise de tensão normal e os parâmetros utilizados na análise de fluxo. Os parâmetros materiais são introduzidos na janela [Topo]->Solos. Aqui, é possível criar três materiais, adotando o modelo de Mohr-Coulomb, e atribuir os valores da tabela da secção “Definição do problema”. Vamos considerar o ângulo de dilatação como zero para todos os materiais,  $\psi = 0^\circ$ . Após criados, os materiais são atribuídos às regiões respetivas na janela [Topo]->Atribuir.

## Malha de elementos finitos

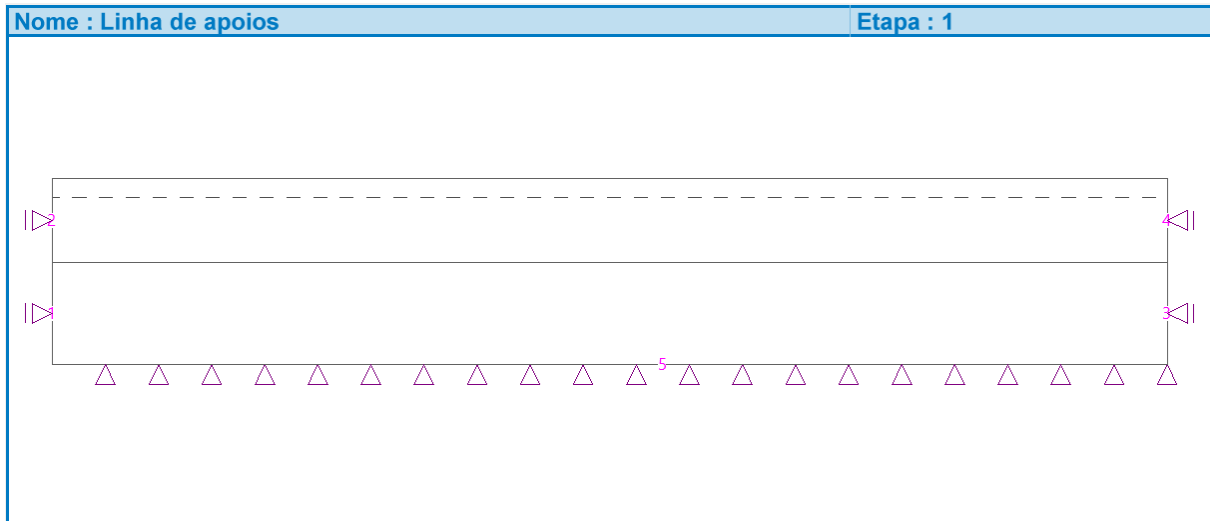
Uma vez que a extensão horizontal do modelo é bastante alargada, é razoável criar uma malha com elementos de maiores dimensões nas proximidades das fronteiras do modelo, onde não são expectáveis deformações significantes. Na janela [Topo]->Refinamento de linhas, vamos seleccionar as fronteiras verticais e definir o tamanho dos elementos como 2 m, com um raio de 20 m. De forma semelhante, vamos definir o comprimento dos elementos como 2 m, com um raio de 6 m, para a fronteira inferior. Finalmente, na janela [Topo]->Geração da malha, vamos definir o comprimento das extremidades dos elementos como 1 m e gerar a malha. A imagem seguinte mostra a malha de elementos finitos resultante.



*Malha de elementos finitos "diluída" ao longo das fronteiras laterais e inferior*

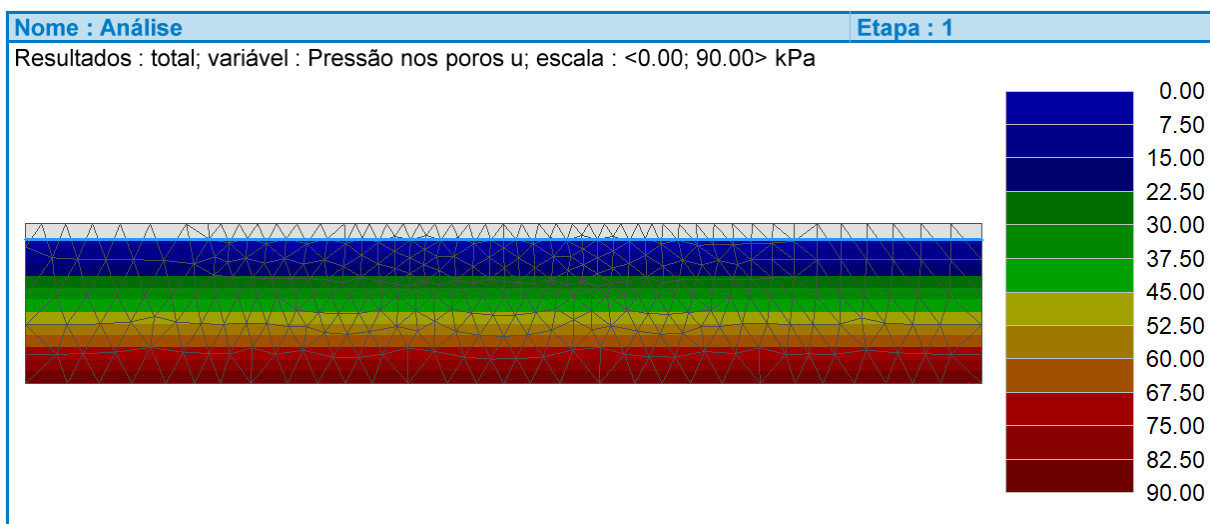
## Etapa de construção No. 1 – tensão geostática inicial

A primeira etapa define a tensão geostática inicial e a distribuição inicial da pressão nos poros. Apenas o subsolo está ativo nesta etapa, sendo que o aterro está inativo nesta etapa. Isto é definido na janela Atividade. De seguida, na janela Atribuir, vamos verificar se os domínios estão atribuídos de forma correta. A posição inicial do nível freático é definida na janela Nível freático. Aqui, o nível freático é introduzido através de dois pontos de coordenadas [-30, -1] e [30, -1]. As condições de fronteira são definidas na janela Linha de apoios. Nesta janela, é necessário seleccionar a opção “Gerar linha de apoios nas fronteiras de dimensionamento automaticamente”.



*Linha de apoios gerada automaticamente ao longo das fronteiras do modelo*

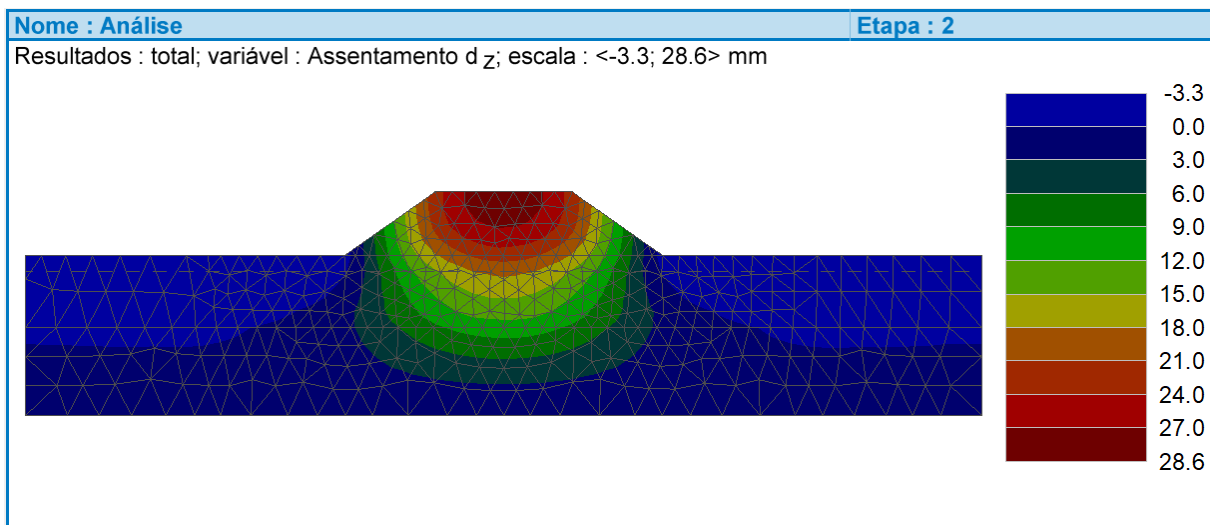
Finalmente, executamos a análise na janela Análise. Como resultado, obtemos a distribuição da pressão nos poros conforme mostra a imagem seguinte. Tal como é expectável, os deslocamentos para o instante inicial são nulos.



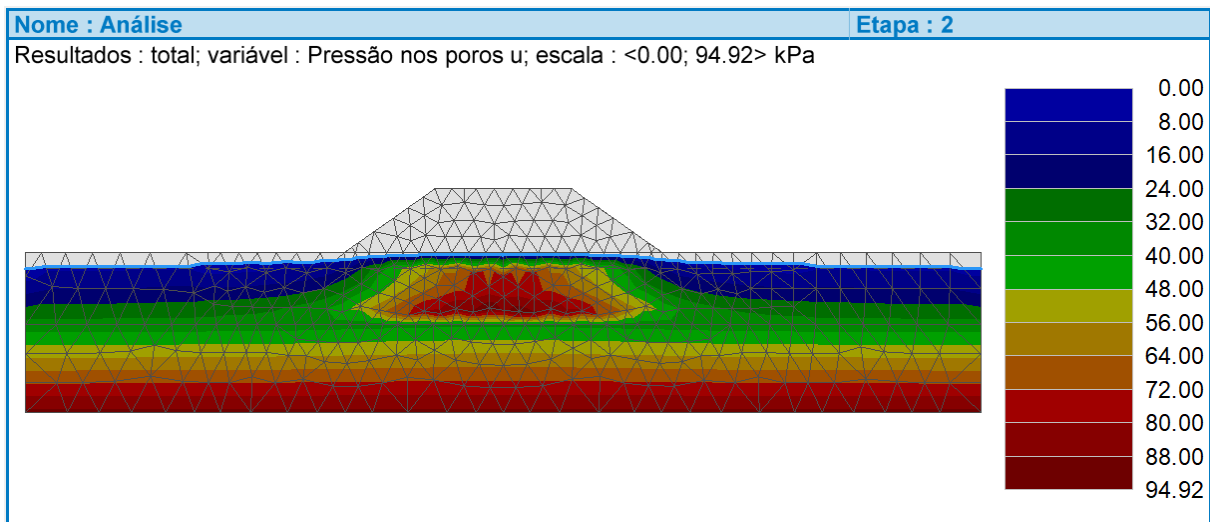
*Distribuição da pressão nos poros inicial*

## Etapa de construção No. 2 – execução do aterro e análise de assentamento

Na segunda etapa de construção, vamos simular a execução do aterro através da ativação do seu domínio, na janela Atividade. Contrariamente à primeira etapa, onde apenas se realizou uma análise mecânica, a segunda etapa implica definir as condições de fronteira hidráulicas. Estas são introduzidas na janela Linha de fluxo. Aqui, vamos selecionar condições de fronteira permeáveis para todas as fronteiras, uma vez que não existe nada que impeça o fluxo de água subterrânea. Na janela Análise, vamos definir o tempo de duração da etapa como 7 dias e executar a análise. As imagens seguintes mostram as distribuições resultantes para assentamentos verticais e pressão nos poros.



*Distribuição de deslocamentos verticais (assentamentos) 7 dias após a execução do aterro, na malha deformada*

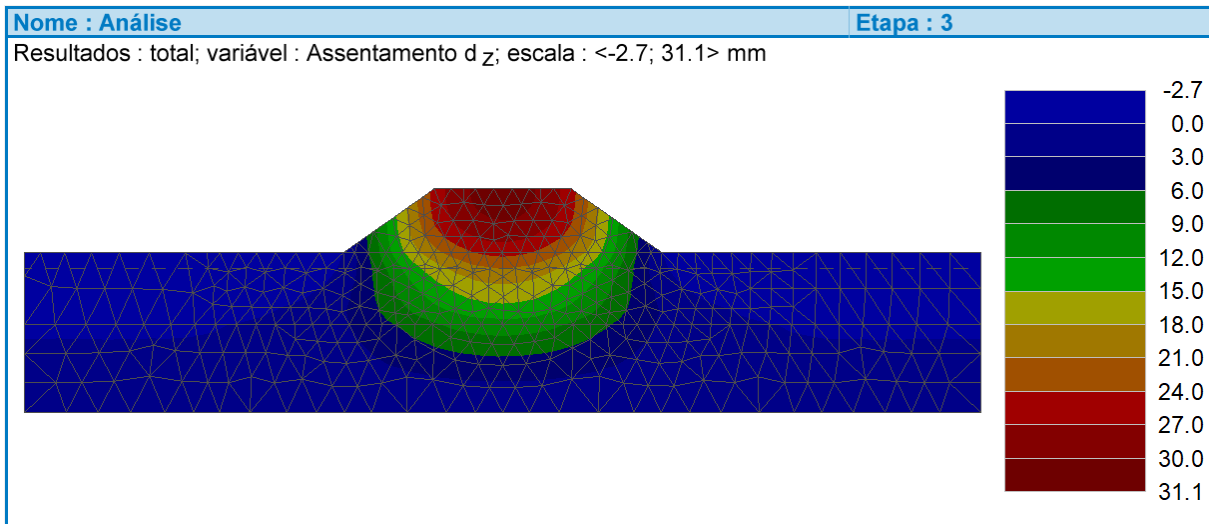


*Distribuição da pressão nos poros 7 dias após a execução do aterro, na malha indeformada*

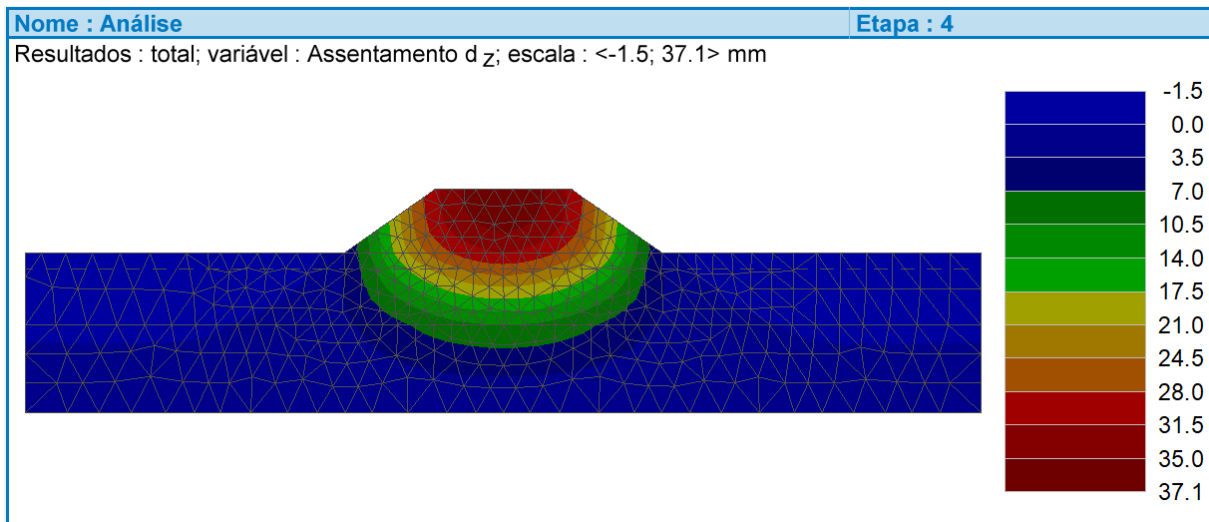
Como se pode observar, a pressão nos poros sob o aterro aumentou. Este aumento de pressão nos poros conduz ao aumento de tensões verticais, devido à execução do aterro. Esta pressão nos poros mais elevada será redistribuída nas etapas seguintes, causando assentamentos adicionais sem que se verifiquem alterações no carregamento vertical provocado pela execução do aterro.

### Etapas de construção No. 3-5 – análise de assentamentos no tempo

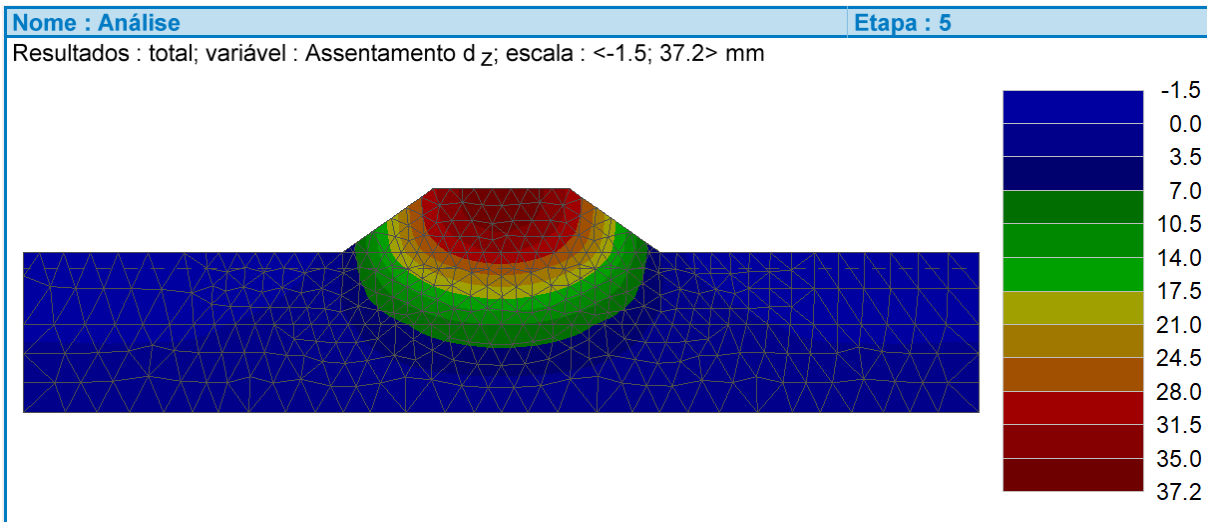
Nas etapas seguintes, No. 3, 4 e 5, vamos calcular as distribuições dos deslocamentos e da pressão dos poros para 30 dias, 365 dias e 3650 dias após a execução do aterro. A geometria, materiais e carregamento permanecem os mesmos. Antes de executar a análise, é necessário definir a duração de cada etapa. A duração das etapas é adicionada à das etapas anteriores, assim, vamos definir a duração da etapa No. 3 como 23 dias, das No. 4 como 335 dias e da No. 5 como 3285 dias. As imagens seguintes mostram a evolução dos assentamentos e pressão nos poros.



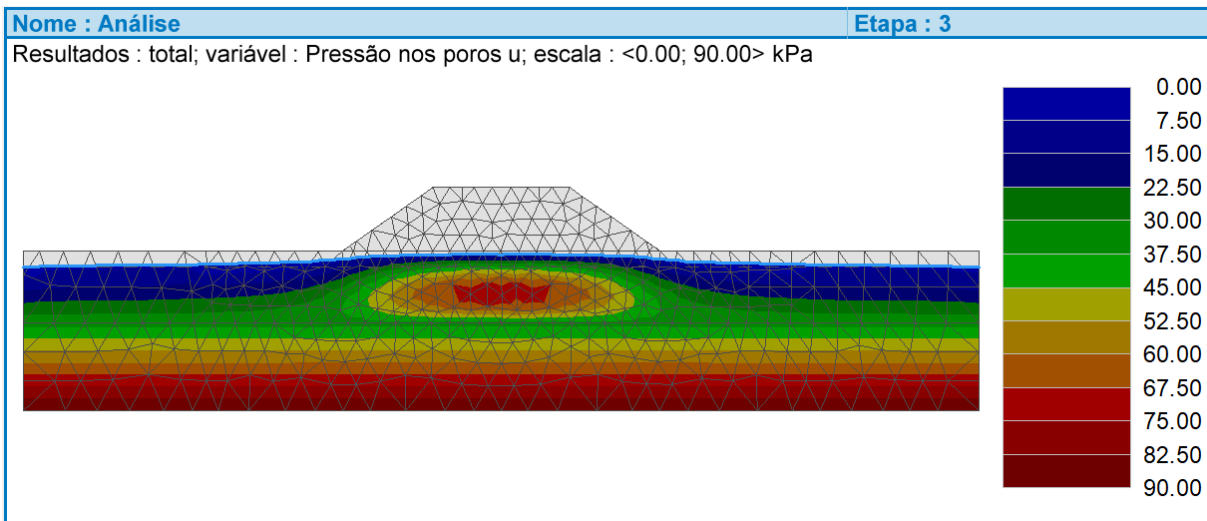
*Distribuição de deslocamentos verticais (assentamentos) 30 dias após a execução do aterro, na malha deformada*



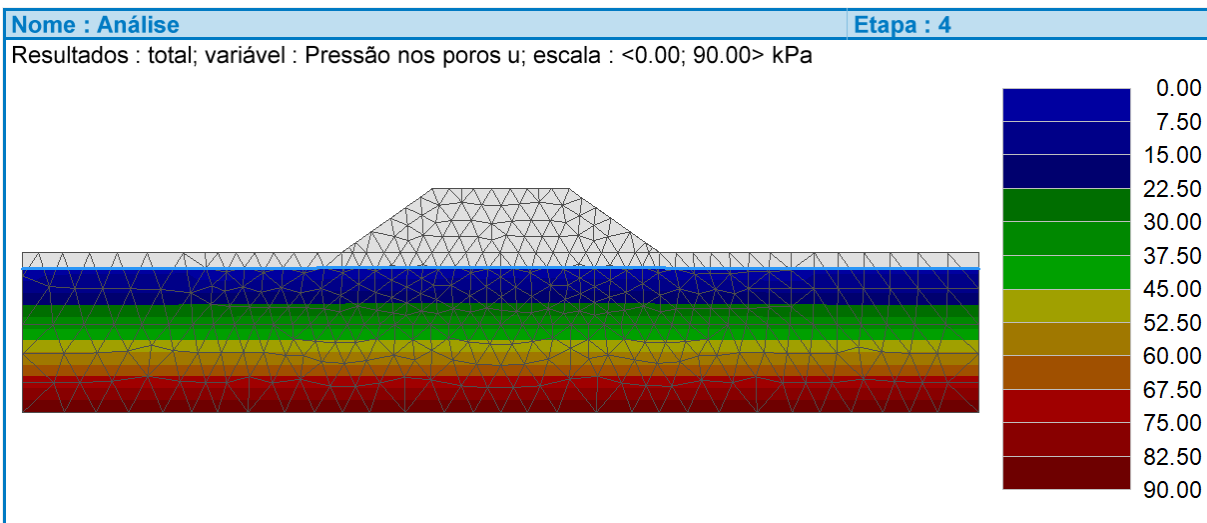
*Distribuição de deslocamentos verticais (assentamentos) 1 ano após a execução do aterro, na malha deformada.*



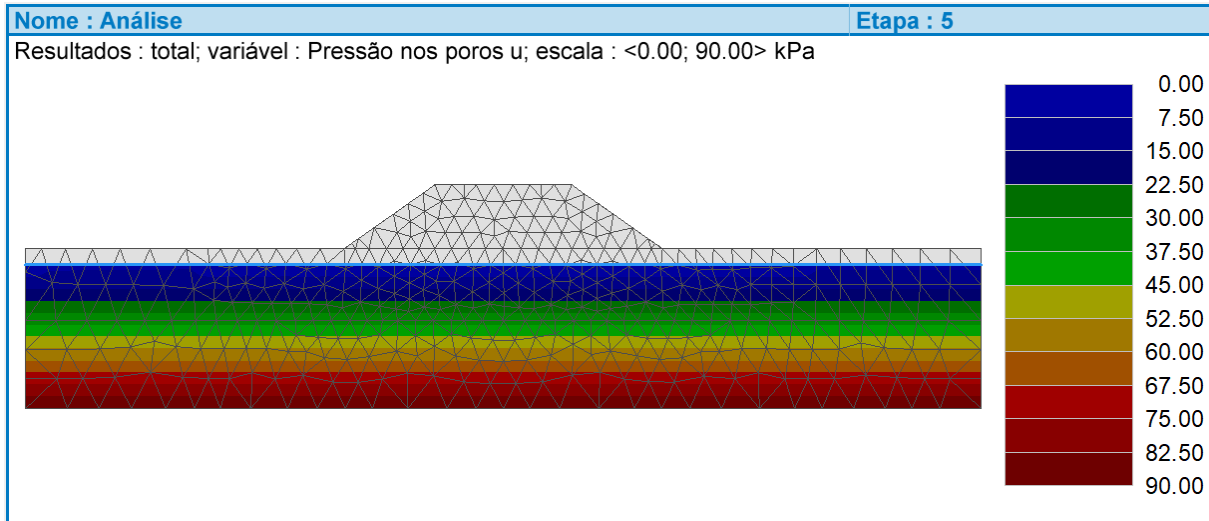
*Distribuição de deslocamentos verticais (assentamentos) 10 anos após a execução do aterro, na malha deformada*



*Distribuição da pressão nos poros 30 dias após a execução do aterro, na malha indeformada*



*Distribuição da pressão nos poros 1 ano após a execução do aterro, na malha indeformada*



*Distribuição da pressão nos poros 10 anos após a execução do aterro, na malha indeformada*

## Conclusões

Os resultados obtidos nas etapas No. 2 – 5 mostram que a dissipação da pressão nos poros ocorre essencialmente durante a primeira semana após a construção do aterro. Os valores máximos para o assentamento do aterro são exibidos na tabela seguinte.

Tempo	7 dias	30 dias	1 dias	10 dias
Assentamento	28.6 mm	31.1 mm	37.1 mm	37.2 mm

A partir da distribuição da pressão dos poros, é possível concluir que após 1 ano da execução do aterro, o nível freático volta à sua posição inicial. A dissipação da pressão nos poros já se verificou e pode ser assumida como final.