

Interação: Fundações em Estaca e Solo (1/3)

Prezados Colegas da Comunidade

Devido ao interesse que o tema tem despertado e para maior esclarecimento dos participantes, vamos voltar ao assunto da interação entre os pilares, vigas e lajes de uma edificação usual, os elementos estruturais de fundação e o solo.

Neste caso vamos abordar a questão da fundação em estacas, especificamente uma estaca sob o pilar. Este é um caso interessante, pois o solo deve ser, obrigatoriamente, considerado para dar condições de estabilidade a estrutura.

Como já foi dito aqui nesta comunidade, este tipo de estrutura é, aparentemente, simples. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados, pois a análise conjunta entre a estrutura, estaca e presença do solo leva a considerações não muito intuitivas.

A análise feita está mais preocupada com os esforços solicitantes em todo o conjunto estrutura + estaca. Com a obtenção de solicitações satisfatórias, o dimensionamento e o detalhamento estrutural se tornam possíveis. É evidente que também fizemos as verificações estruturais necessárias para a estrutura e a estaca (estabilidade, capacidade admissível da estaca, seção transversal adequada etc.)

O modelo abaixo é um modelo teórico. O principal objetivo é o de apresentar e raciocinar sobre este comportamento conjunto entre estrutura / fundações e solo. Além da estrutura de concreto armado em si, estamos também alimentando a sondagem do solo, características geométricas da estaca e critérios de projeto para determinação das vinculações elásticas (molas) na estaca representando o solo (teoria de Winkler).

Portanto, todas as variáveis acima são bem conhecidas do engenheiro estrutural com exceção dos critérios para determinação das molas. Para as molas verticais adotamos o cálculo da capacidade de carga da estaca através do processo Aoki-Lopes, processo bem conhecido de todos. O método Aoki-Lopes também considera e calcula o recalque da estaca para um determinado carregamento considerando o efeito das demais estacas (grupo). Com o recalque e a carga ao longo da estaca, basta dividir uma grandeza pela outra que obtemos as molas verticais distribuídas.

Para as molas horizontais a situação é mais indefinida. Temos dois processos básicos. Um deles depende da característica do material e o outro depende dos valores obtidos pelo SPT do terreno. Estamos adotando o método que depende do SPT, pois ele vai refletir melhor as variações das camadas do solo e medidas nas sondagens. Cabe aqui lembrar que, devido a imprecisão na obtenção destes valores, a representação do solo deve ser feita sempre com valores máximos e mínimos das grandezas e, posteriormente, adota-se uma envoltória final para o detalhamento.

Estamos empregando aqui o novo sistema computacional desenvolvido pela TQS e em fase de implantação em alguns clientes: SISEs. Neste novo sistema, para determinação dos coeficientes de mola (verticais e horizontais), basta fornecer os elementos da fundação, sondagens e selecionar os critérios de cálculo (envolve conhecimentos geotécnicos); a partir daí a estrutura é automaticamente discretizada e as molas calculadas automaticamente e introduzidas no modelo.

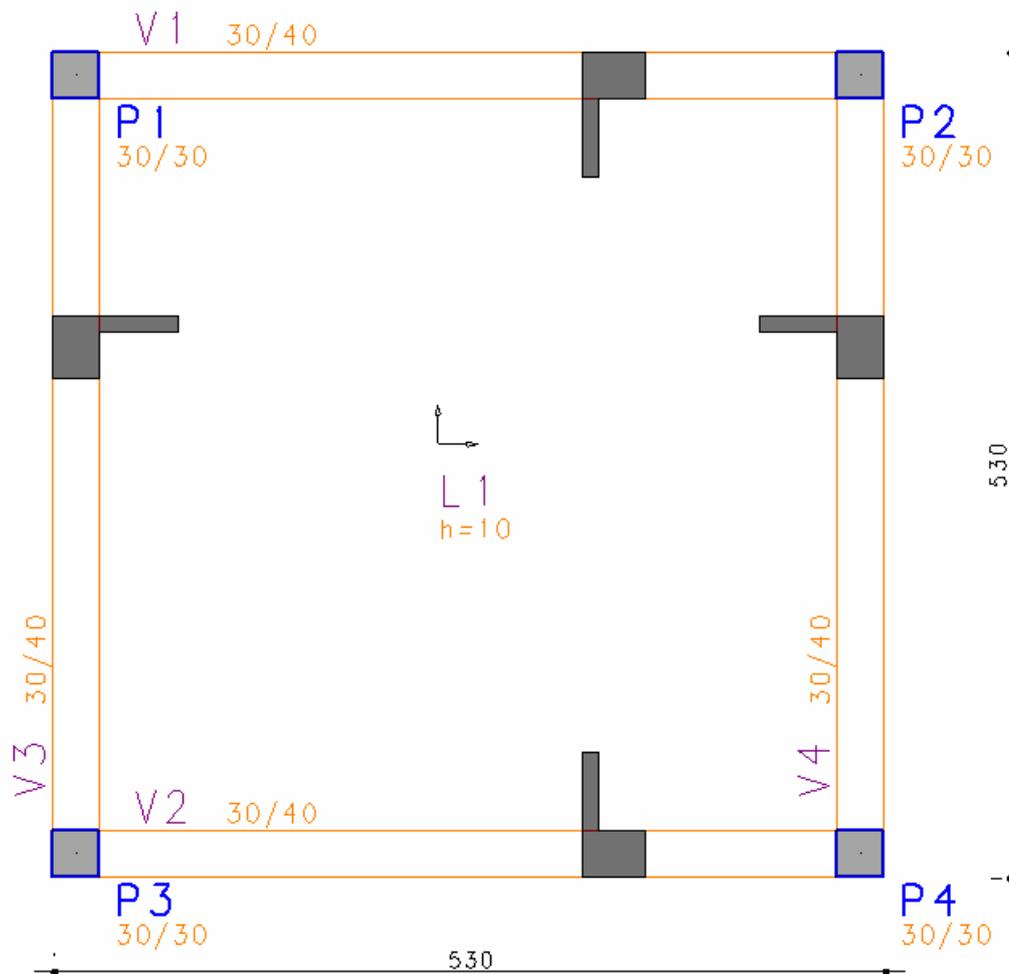
Descrição do projeto:

Superestrutura de 4 pavimentos, com 4 pilares quadrados (30 x 30 cm), lajes de altura 10 cm, com quatro vigas de 30 x 40 cm, em cada pavimento (com exceção da planta de fundação, em alguns casos), vãos de 5m.

Corte esquemático



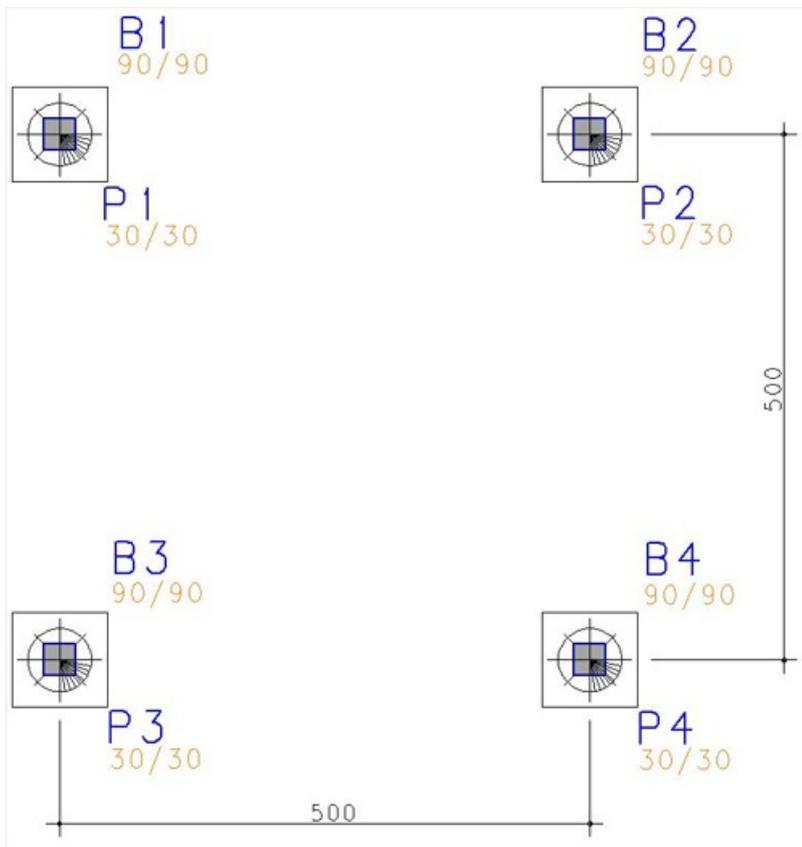
Dimensões típicas de cada pavimento:



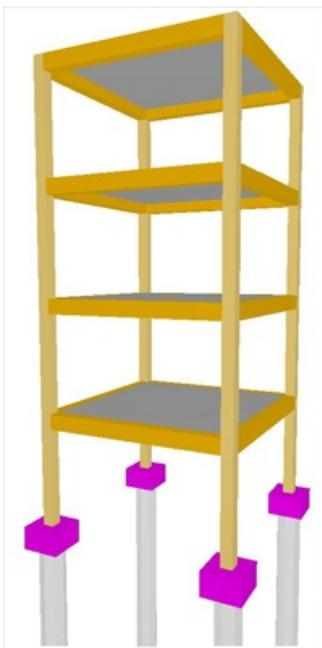
Cargas consideradas nas lajes: (0,60 tf/m²: 0,25 [peso próprio] + 0.25 [perm.] + 0.1 [variav.]).

Considerados também 4 (quatro) carregamentos de vento, com as seguintes características:

W0 - Velocidade básica	38	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
S1 - Fator do terreno	1.00	1	90	1 Não	0
S2 - Categoria de rugosidade	I	2	270	1 Não	0
S2 - Classe da edificação	A	3	0	1 Não	0
S3 - Fator estatístico	1.00	4	180	1 Não	0

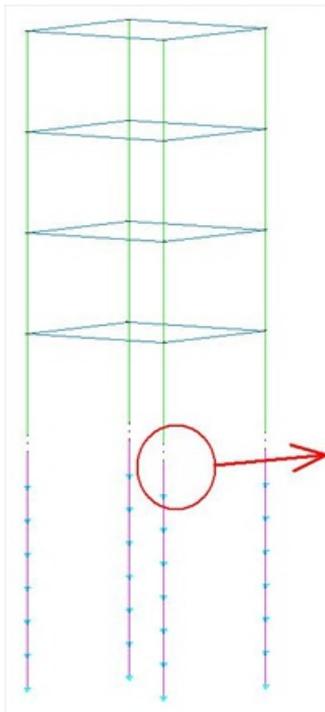


Modelo da fundação em planta (sem travamento)



Modelo 3D de toda estrutura + estacas

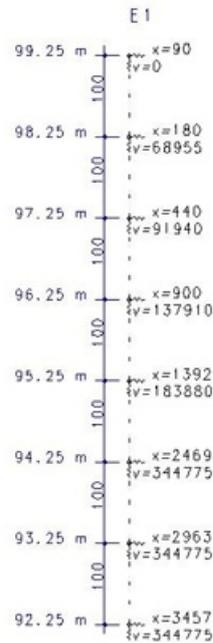
O pórtico espacial resultante, para este caso, será como o que segue abaixo, onde se observa a infra-estrutura discretizada e agregada à superestrutura (através de novos nós e vínculos elásticos), formando-se então um novo pórtico espacial - um modelo integrado e único – com a presença do efeito do solo:



Pórtico espacial com a infra-estrutura agregada.

Crv's e Crh's para B1 (tf/m)

Apoio de referência: P1
 (Angulo do bloco [em planta]: 0.0 graus)
 Cota Arrasamento: 99.25 m.



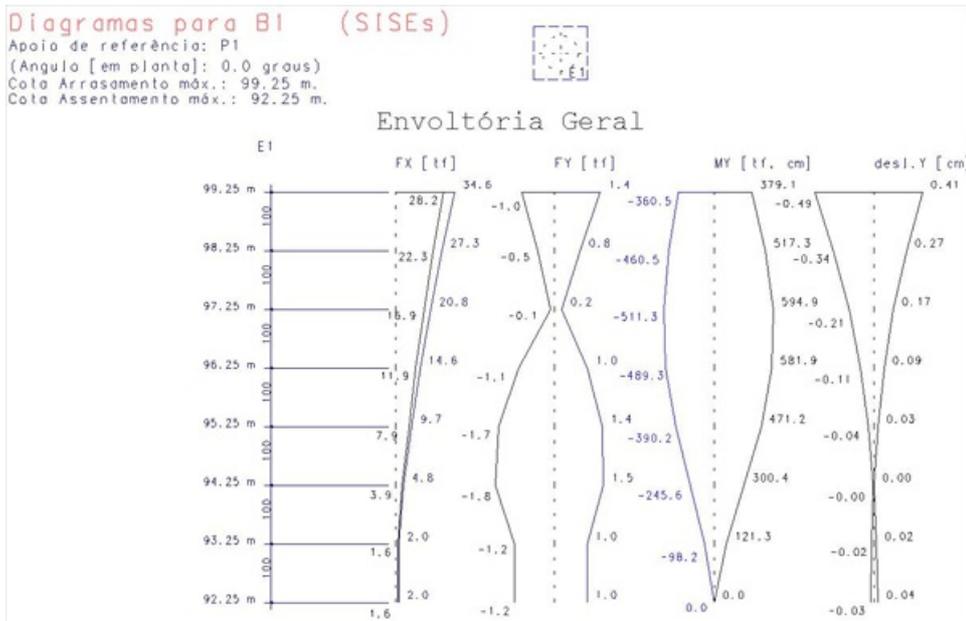
Detalhe

representativo dos vínculos elásticos que representam o solo ao longo da estaca.

Os principais resultados obtidos podem ser verificados graficamente, tanto na visualização do Pórtico espacial (esforços e deslocamentos), quanto nos desenhos que o SISEs, nos fornece, de forma concisa:

Caso 11 - ELU1 - Verificações de estado limite último - Vigas e lajes

Momentos MY



Desenho gerado pelo SISE, com os resultados (esforços e deslocamentos, selecionáveis pelo usuário) para o Bloco B1.

Observe pelo diagrama acima que o momento fletor máximo na estaca não está no topo e sim num ponto intermediário, igual a **594.9 tf*cm**, que corresponderia a uma armadura de $A_s = 11.23 \text{ cm}^2$ (14 \emptyset 10 mm). Portanto, sob o ponto de vista do concreto, a estaca passou, armada. Com esta magnitude de momentos fletor a estaca tem regiões de tração. Sob o ponto de vista do solo, a capacidade de carga da estaca atendeu plenamente.

Algumas verificações simples sobre a estabilidade do modelo integrado (com a interação Solo- Estrutura):

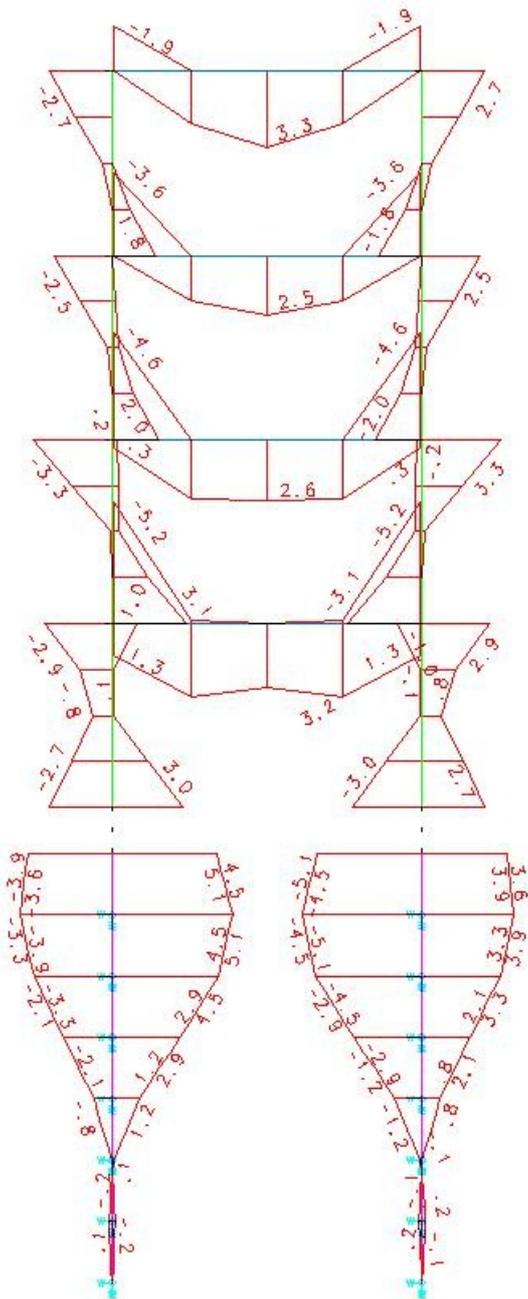
Coefficientes Gama Z (γ_z): 1.084

Deslocamentos Horizontais: 0.64 cm (H/1883), entre pavimentos: 0.19 cm (Hi/1573.)

Para estacas com diâmetros **inferiores a $\emptyset = 60 \text{ cm}$** , não se consegue, através deste modelo, obter-se como resultado uma estrutura estável. O sistema acusa coeficientes de Gama Z (γ_z) elevados, deslocamentos horizontais globais e entre pavimentos excessivos, etc. Portanto, sem elementos de travamento na fundação, necessita-se de estacas de diâmetro $\emptyset = 60 \text{ cm}$, armaduras nas estacas e o comprimento destas armaduras em quase toda a estaca. Não estamos estudando aqui com profundidade os métodos construtivos para a execução desta armadura.

1.2) Coeficientes de Mola Aumentados em 10X

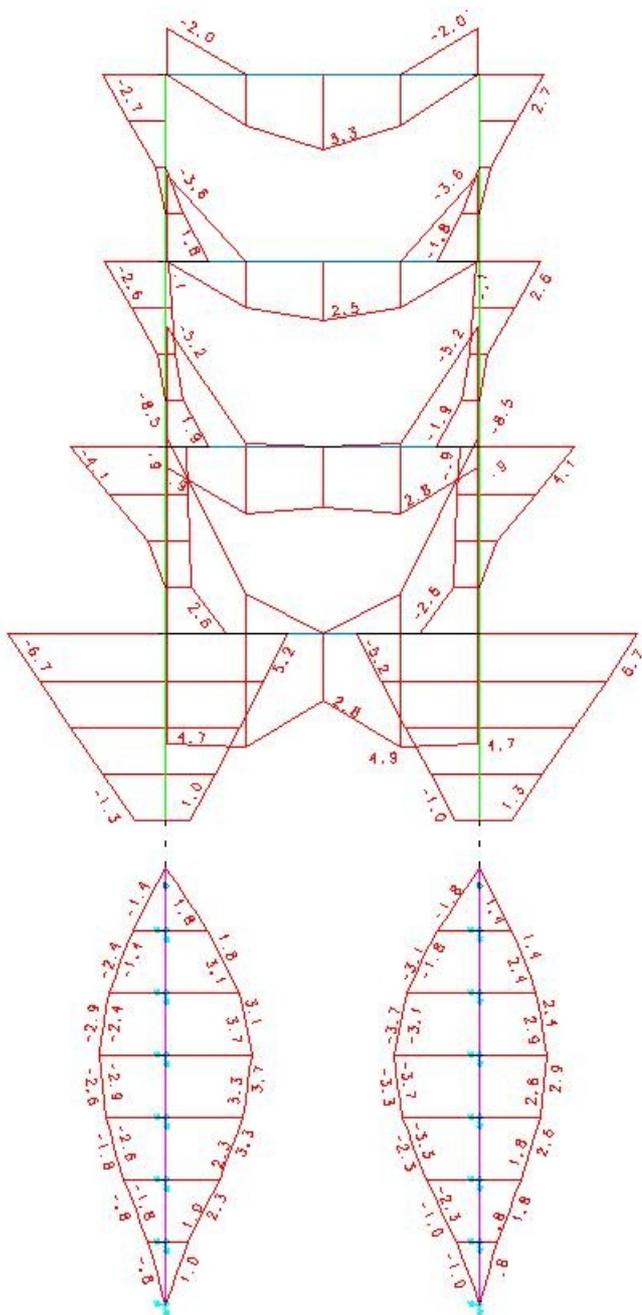
Conforme também já comentado, vamos apresentar abaixo os diagramas de momentos fletores no conjunto estrutura/fundação com os coeficientes de mola nas estacas multiplicados por 10 vezes:



A primeira observação a ser feita é que o aumento do vínculo elástico horizontal em 10 vezes não alterou significativamente os resultados de momentos fletores. Com o maior engastamento da estaca no solo, os momentos fletores na estaca se reduziram. Mesmo assim é necessária a armação nas estacas. Os momentos fletores na base do pilar aumentaram.

1.3) Pilar Articulado e Coeficientes de Mola Normais

Muitos colegas acham que simplesmente articular a base do pilar resolve o problema dos momentos fletores na estaca. Vamos apresentar abaixo o mesmo diagrama de momentos fletores para este caso.

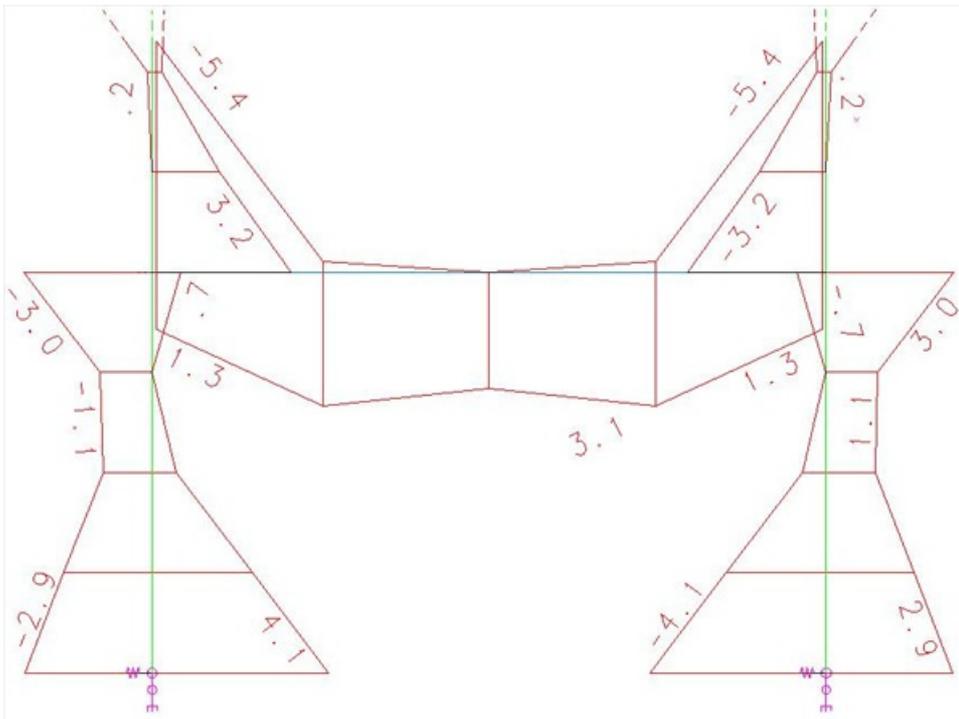


No diagrama acima dá para notar que os momentos fletores positivos no pilares e na viga do primeiro pavimento do pórtico aumentaram e o que é o principal: os momentos fletores na estaca não foram eliminados. Devido a componente horizontal da força na base do pilar, os momentos fletores aparecem ao longo do fuste do pilar. Apenas no topo da estaca o momento fletor é nulo. O edifício também sofreu deslocamentos horizontais maiores e o Gama Z aumentou. Esta solução também não é uma boa solução. A estaca também necessita ser armada.

Aproveitando a oportunidade, vale aqui lembrar também de outra observação interessante que, infelizmente, não é tão rara quanto se pensa: a passagem dos valores de cargas da estrutura para a fundação considerando apenas a carga vertical. Se a estrutura é engastada a rotação e a translação horizontal, a presença de momentos fletores e forças horizontais são fundamentais para o seu equilíbrio. Se a fundação não for projetada para tais solicitações, todo o conceito de projeto está deficiente com conseqüências imprevisíveis.

1.4) Estrutura Engastada (sem fundação projetada)

Observe os diagramas a seguir para este mesmo projeto, considerando as bases dos pilares com “engaste perfeito”.



Detalhe da envoltória dos momentos M_y (base dos pilares e 1º lance), considerando o pórtico da estrutura com “engastamentos perfeitos”.

Qual o tipo de fundação mais adequado que deveria ser considerado para se respeitar este “modelo”? Já vimos neste tópico que a estaca isolada não é uma das melhores soluções. Em mensagens posteriores vamos analisar outras possíveis soluções.

Nelson Covas

Nilson Oliveira S.

TQS – São Paulo – SP.