Visão Geral

O SISEs tem o propósito de tratar a estrutura da fundação exatamente como ela deve se comportar na realidade, isto é, integrada a estrutura de concreto armado composta por vigas, lajes e pilares.

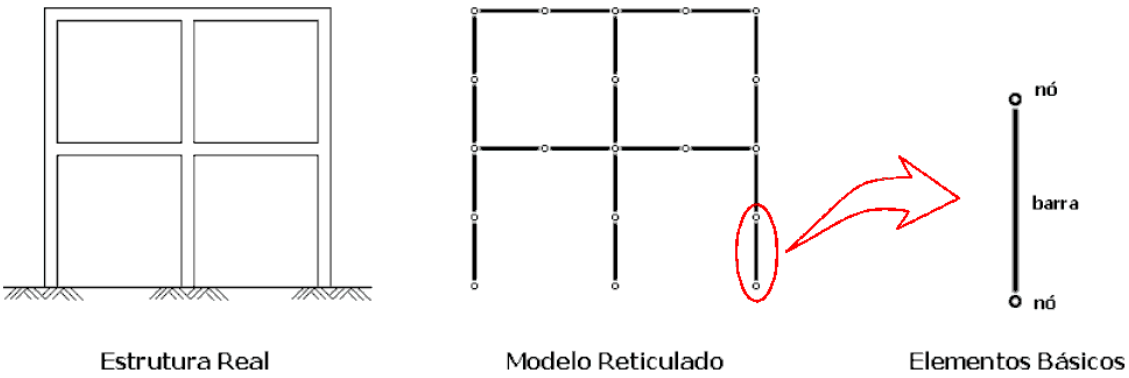
Nesta primeira etapa, a principal finalidade do SISEs é o cálculo de solicitações e deslocamentos mais adequados tanto para os elementos da fundação como para os elementos da superestrutura. Posteriormente, com a natural evolução do sistema, os elementos de fundação serão dimensionados e detalhados adequadamente. Nos sistemas TQS para a engenharia estrutural, através da incorporação do modelo da fundação gerado pelo SISEs, os elementos de vigas, pilares e lajes já são dimensionados, detalhados e desenhados conforme os resultados obtidos com esta nova abordagem.

Também nesta etapa, como o principal objetivo é a obtenção das solicitações, estamos tratando alguns elementos de fundação de forma simplificada. Assim, as sapatas são retangulares e seção constante. O mesmo ocorre com o "radier". Do ponto de vista de obtenção das solicitações, esta simplificação não é relevante. Posteriormente, estes elementos serão tratados de forma mais realista. As sapatas e blocos já podem ser discretizados através de uma malha regular retangular, sendo tratadas como flexíveis.

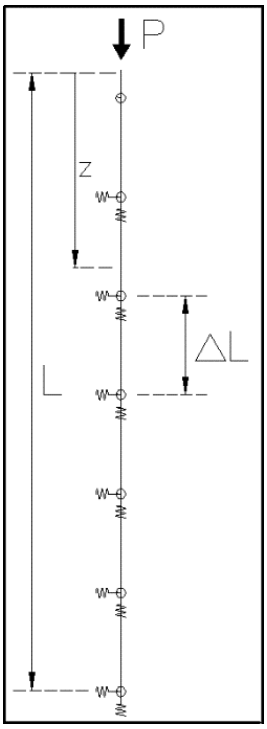
O engenheiro estrutural ainda continua dimensionando e detalhando sapatas rígidas e flexíveis através de processos simplificados de distribuição de tensões. Numa etapa próxima, os resultados das solicitações obtidos no SISEs servirão como base para este dimensionamento e detalhamento.

Simulação dos Elementos de Fundação

Os elementos de fundação, constituídos por estacas, tubulões, sapatas isoladas e associadas são convenientemente discretizados em elementos de barras com uma determinada dimensão simulando o comportamento de toda a infra e superestrutura. As barras são conectadas entre si através de nós.



O efeito do solo é simulado no SISEs através de vínculos elásticos (coeficientes de reação vertical e horizontal) atrelados aos nós da estrutura. Estes vínculos elásticos são baseados na teoria de Winkler onde as características do solo são convenientemente tratadas e os valores dos vínculos (ou molas) são obtidos. Esquematicamente temos:



Os coeficientes de reação, vertical e horizontal, são normalmente designados no SISEs pelas siglas CRV e CRH.

Algumas teorias são apresentadas para a obtenção dos vínculos elásticos. O SISEs está preparado para tratar algumas delas, de maior emprego no mercado. Cabe ao usuário selecionar a teoria desejada.

No manual teórico que compõe a documentação do SISEs, estão apresentadas as teorias e os modelos empregados com detalhes.

São tratados vínculos elásticos tanto na direção vertical como na horizontal.

Para a obtenção dos coeficientes de reação vertical, a capacidade de carga das estacas pode ser obtida pelos métodos: AOKI-VELLOSO e DÉCOURT-QUARESMA.

O cálculo dos recalques verticais das estacas, considerando o bloco da estaca isolado, é realizado segundo teoria de AOKI-LOPES, VESIC, MINDLIN e STEINBRENNER, levando em consideração o efeito “grupo” de estacas.

Para a obtenção dos coeficientes de reação horizontal foram empregados os métodos preconizados por ALLONSO e WALDEMAR TIETZ.

A introdução da presença dos elementos de fundação através da teoria descrita por Winkler, método que trata o comportamento do solo de forma aproximada, elástica e linear, é o primeiro passo para se conseguir resolver, em parte, este problema da interação solo-estrutura e iluminar um pouco o conhecimento do que acontece nesta fronteira entre a estrutura e a fundação para os nossos engenheiros.

Por esta razão, o desenvolvimento do sistema foi orientado para que esta integração possa ser feita com facilidade. Tanto o procedimento para que elementos estruturais cheguem até o engenheiro geotécnico como, também, o procedimento para que os elementos da fundação cheguem até o estruturalista foram desenvolvidos visando a facilidade da integração. A evolução natural na tecnologia da engenharia com o emprego do SISEs é que, depois de algum tempo, o engenheiro estrutural possa compreender um pouco mais de geotécnica e o engenheiro geotécnico possa compreender um pouco mais da engenharia estrutural.

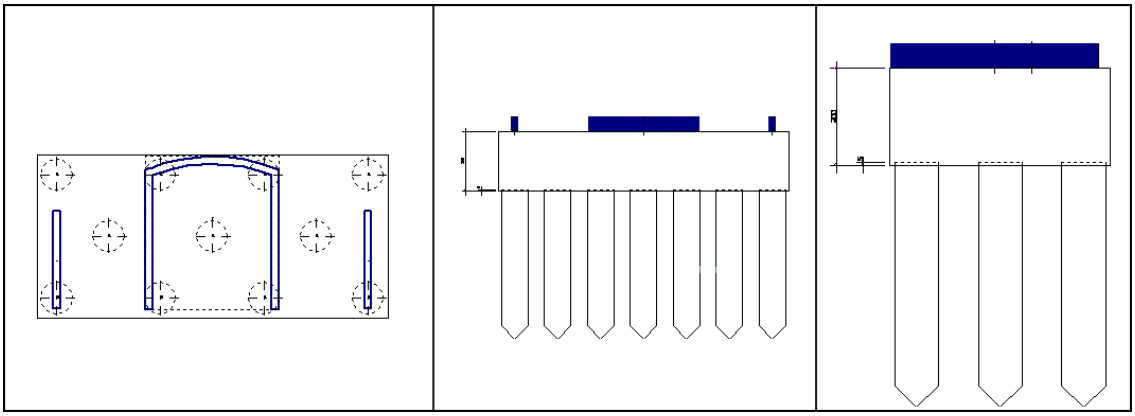
Apesar de empregar a teoria de Winkler, o sistema não poderia prescindir de critérios para o cálculo dos coeficientes de reação horizontal e vertical de forma mais elaborada. Por esta razão foi introduzido também o cálculo de recalques, sem se recorrer a métodos muito sofisticados. Desta forma, os recalques podem ser estimados por métodos consagrados da literatura internacional e, conseqüentemente, o cálculo dos CRVs baseados nos valores das cargas aplicadas e dos recalques mais confiáveis.

É evidente que os processos mais sofisticados para o tratamento do solo envolvem a sua discretização pela técnica dos elementos finitos sólidos não lineares. As dificuldades para a simulação do solo estratificado, o tempo de processamento, as dificuldades para o tratamento dos resultados e a incerteza para a garantia da sua confiabilidade, inviabilizaram, em primeira instância, a utilização desta técnica. A adoção desta técnica é a evolução natural do desenvolvimento do SISEs.

Regras de Associação Pilares / Elementos

Cada elemento de fundação do Sises deve estar associado a, pelo menos, um pilar estrutural. Não é possível definir elementos de fundação no SISEs sem a associação de pilares.

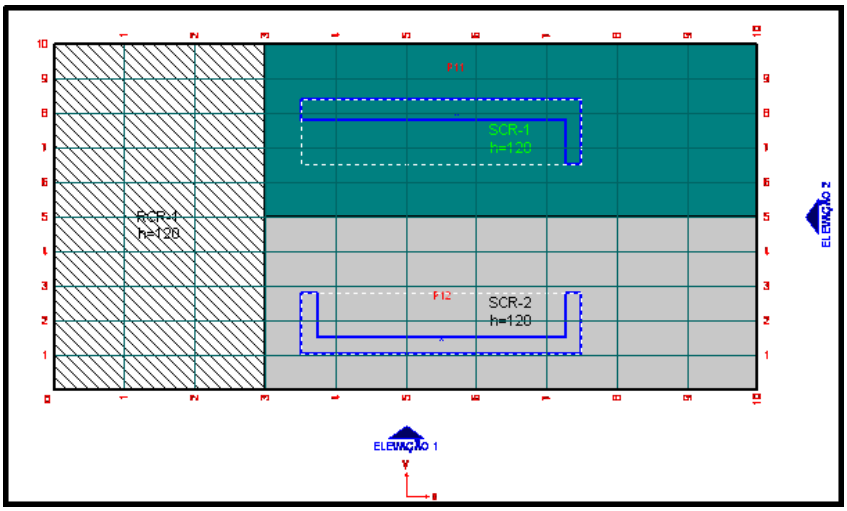
Para sapatas e / ou blocos, mais um pilar pode estar associado ao mesmo elemento de fundação. É o caso, por exemplo, de um bloco de fundação localizado numa região central de um prédio com duas juntas de dilatação. Até 4 pilares podem estar presentes simultaneamente sobre o bloco. A figura abaixo ilustra a situação.



Para o caso de se considerar sapatas, quando existe mais de um pilar apoiando nas sapatas, utilizamos a metodologia de criação da sapata associada. Portanto, uma sapata associada pode ter um, dois ou mais pilares. Quando todos os pilares de uma fundação se apóiam sobre uma única sapata, temos o caso geral do “radier”. Uma sapata associada é dividida, portanto em diversas regiões. Cada uma destas regiões é denominada de “sapata contígua”. Como as sapatas são sempre retangulares, empregamos o termo de “sapata contígua retangular” ou SCR. Cada uma das sapatas contíguas pode ter uma determinada espessura, diferente da espessura de outras sapatas

contíguas. Assim, num caso geral, podemos simular um “radier” com diversas sapatas contíguas de espessuras diferentes. Além da geometria particular da sapata contígua, as características dos solos e dos coeficientes de reação vertical e horizontal também podem ser individualizados para cada um destes sub-elementos. Portanto, podemos simular um “radier” com diversos CRVs e CRHs para cada uma das sapatas contíguas retangulares.

Generalizando o caso de uma sapata associada ou um “radier”, podemos ter também, freqüentemente, o caso de uma região retangular do elemento não pertencer a nenhum pilar. Esta situação também pode ser simulada no SISEs através da “região complementar retangular” ou RCR. Esta região vem, portanto, preencher a lacuna entre diversas regiões de sapatas contíguas. A RCR pode também possuir espessuras diferentes das sapatas contíguas e CRVs e CRHs particulares. Com este conceito de RCR inserido no meio de uma sapata associada ou um “radier” podemos simular, por exemplo, um vazio no meio do “radier”, bastando para este caso definir uma espessura muito pequena para esta RCR. O exemplo abaixo ilustra um caso de sapata associada com duas SCR (um pilar em cada uma) e uma RCR. A SCR 1 possui um pilar em L, a SCR 2 possui um pilar em U e a RCR não possui nenhum pilar apoiado.



Elementos Rígidos e Flexíveis

Os elementos de fundação que não possuem uma área superficial elevada podem ser projetados e considerados como elementos rígidos. A altura do elemento para ser considerado como rígido depende das dimensões do elemento em planta e é definida, geralmente, pelo engenheiro estrutural. Este conceito é válido para sapatas e blocos sobre estacas.

Quando o elemento de fundação possui uma área superficial elevada, suportando a estrutura de diversos pilares, é muito comum projetar um elemento denominado “flexível”. Esta situação é comum num “radier” ou numa sapata associada, por exemplo. Ou então num bloco de estacas suportando alguns pilares de grande responsabilidade na edificação.

O SISEs pode trata adequadamente estes elementos de fundação rígidos ou flexíveis. Cabe ao engenheiro o fornecimento desta característica. Principais diferenças entre estes dois tipos de elementos:

Elementos rígidos:

As sapatas são sempre discretizadas;

Os blocos sobre estacas não precisam ser discretizados;

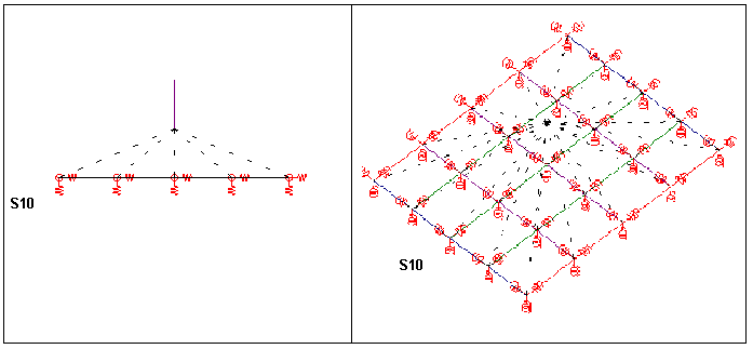
O baricentro do pilar é ligado diretamente a todos os nós discretizados da sapata;

O baricentro do pilar é ligado diretamente aos nós coincidentes das estacas;

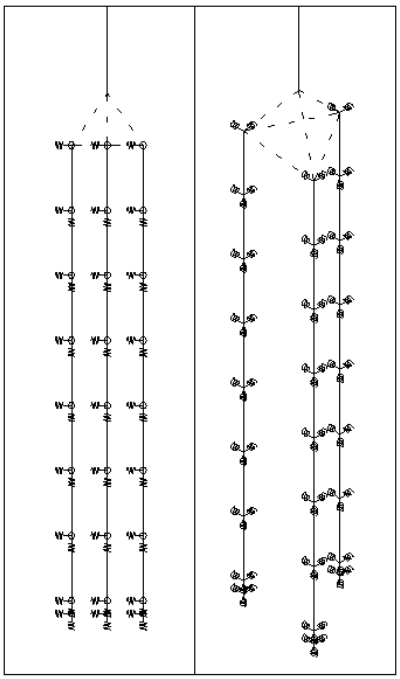
Para tubulões, o elemento é sempre rígido.

Exemplo de fundações rígidas:

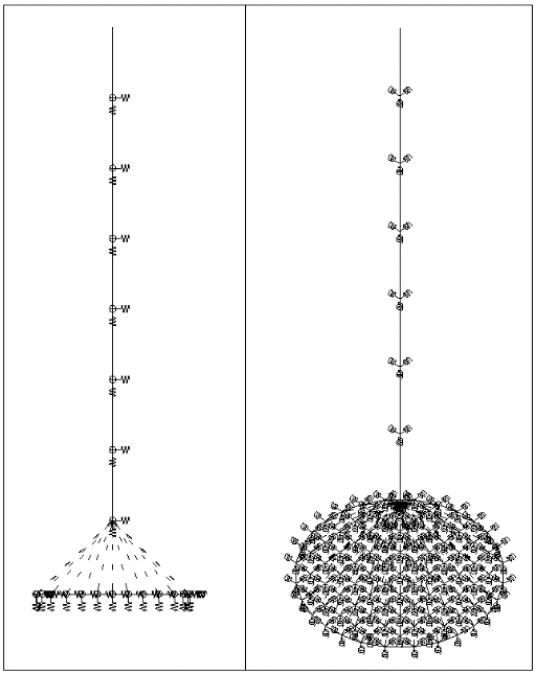
Sapata:



Bloco sobre Estacas:



Tubulão:



Elementos flexíveis:

As sapatas são sempre discretizadas;

Os blocos sobre estacas são discretizados;

O baricentro do pilar é ligado diretamente a todos os nós discretizados da sapata que estão contidos na projeção do pilar;

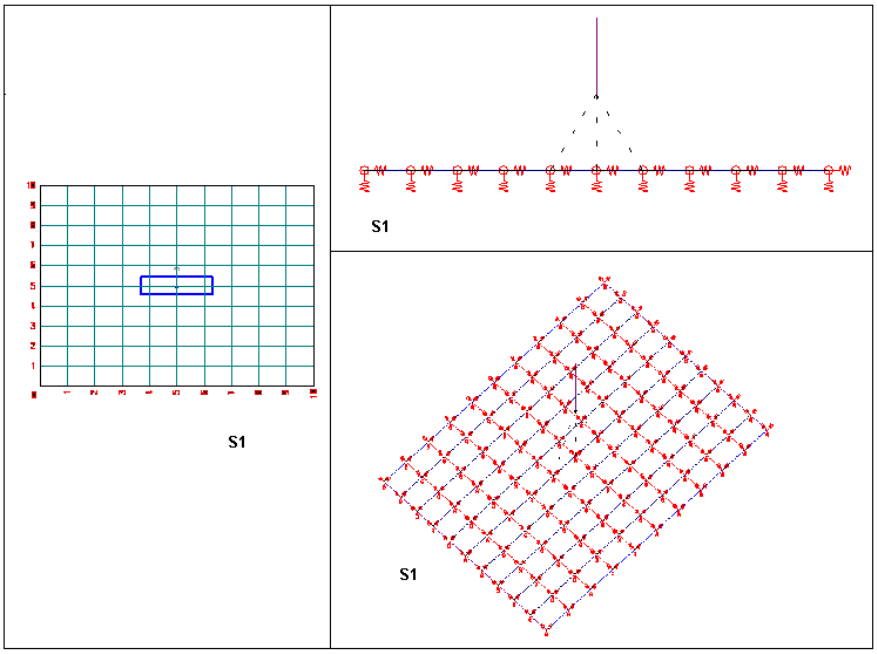
O baricentro do pilar é ligado diretamente a todos os nós discretizados do bloco que estão contidos na projeção do pilar;

Para estacas, o nó do topo de cada estaca é ligado ao nó mais próximo do bloco discretizado;

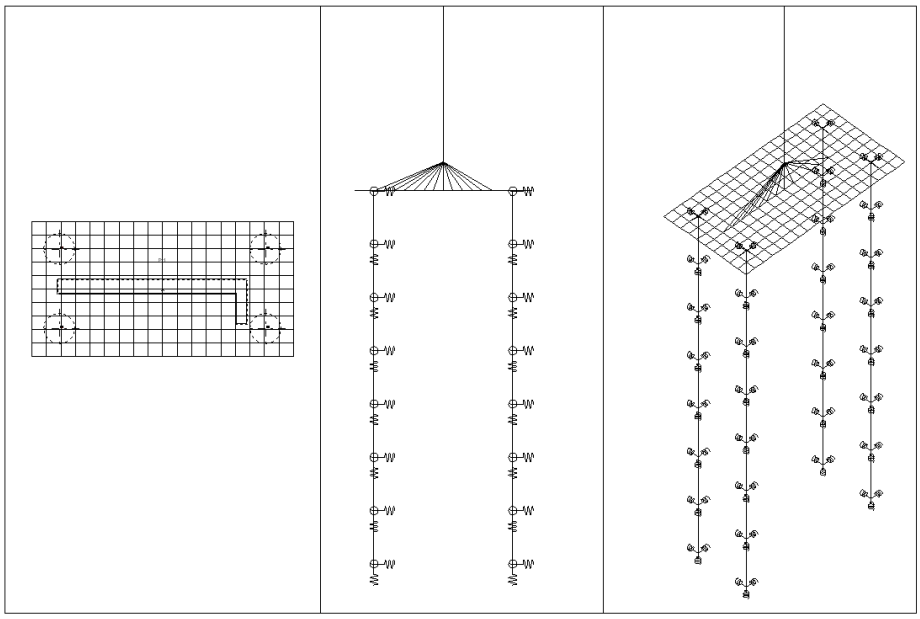
Para tubulões, o elemento é sempre rígido.

Exemplo de fundações flexíveis:

Sapata:



Bloco sobre Estacas



Vigas Internas e Externas aos Elementos

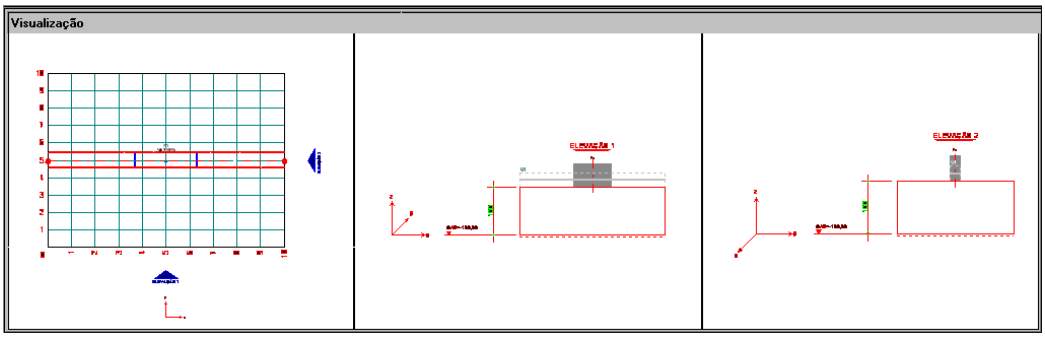
Uma outra situação comum presente nos elementos de fundação é a necessidade de vigas enrijecedoras dos elementos de fundação e vigas de travamento entre elementos.

Para que um “radier” ou uma sapata associada não tenha uma altura elevada, é mais econômico enrijecê-la através de vigas. No SISEs estas vigas podem ser definidas nos elementos discretizados. A forma de definição é muito simples, basta informar as suas dimensões e os pontos de início e fim de cada viga. Estes pontos coincidem com os pontos notáveis da discretização do elemento. Como a sapata ou o “radier” no SISEs possuem a forma retangular e a discretização definida é paralela às bordas destes elementos, as vigas nos elementos também são, obrigatoriamente, paralelas às bordas. Diversas vigas podem ser definidas por elemento e o ponto de início e fim de cada uma não precisa coincidir com as bordas.

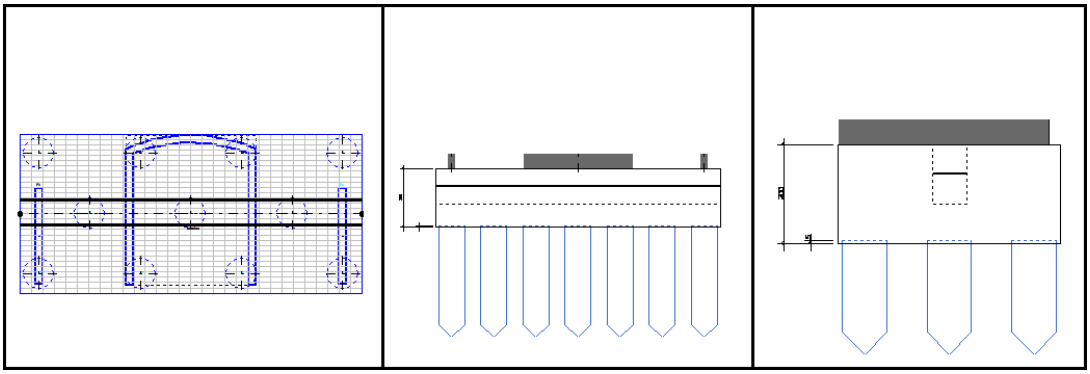
As vigas nos elementos podem estar presentes em todos os elementos discretizáveis, isto é, nas sapatas isoladas, associadas, “radier” e blocos sobre estacas. Nos tubulões não tem sentido estrutural a definição de vigas sobre a cabeça do tubulão.

Exemplos de vigas no interior dos elementos:

Sapata:



Bloco com Estacas:



Outro ponto importante é o travamento entre dois elementos de fundação. No SISEs esta simulação é realizada através das vigas entre elementos. Podemos passar vigas para conectar um elemento de fundação a outro, este conceito é válido para sapatas isoladas, associadas, blocos sobre estacas e tubulões. Para que isto seja possível, é necessário que o elemento seja definido como discretizado e os pontos de início de fim de cada viga devem coincidir exatamente com os pontos da discretização de cada elemento.

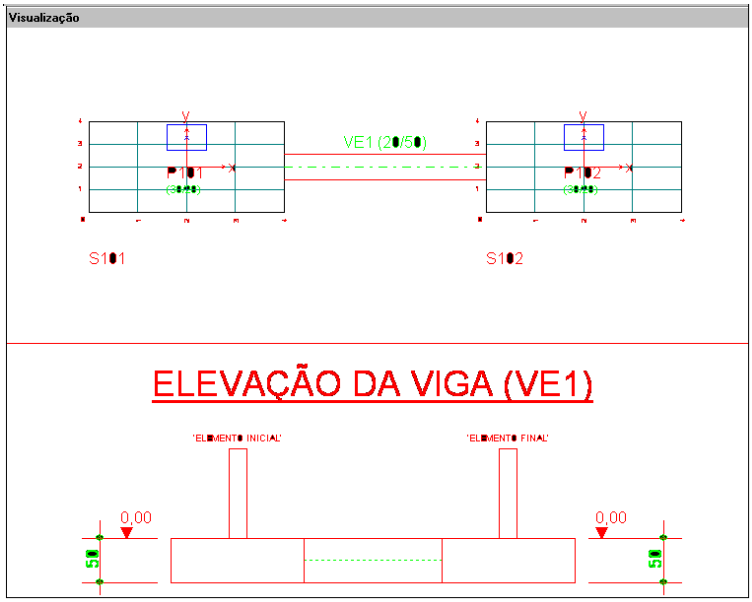
Para os tubulões, estas vigas passam na região superior do tubulão. Elas podem ser excêntricas e não coincidir com o eixo do tubulão. Para a definição exata do ponto onde a viga chega no topo do tubulão, foi criado um comando especial para discretizar a superfície superior e um ângulo de rotação.

Estas vigas farão parte também do pórtico espacial. As solicitações calculadas no pórtico já levarão em conta a rigidez destas vigas e os esforços no interior do elemento de fundação serão os mais adequados para o dimensionamento e detalhamento da sapata / radier. Ainda não estamos admitindo a definição de cargas externas sobre estas vigas, a única finalidade é o travamento entre os elementos de fundação.

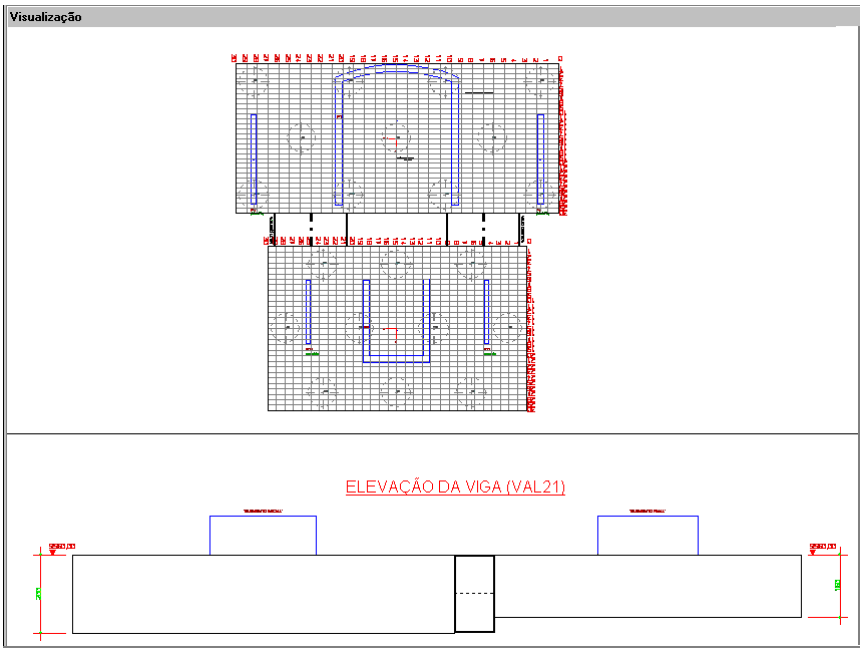
Vigas conectando elementos de fundação aos pilares da estrutura não podem ser definidas no SISEs. Neste caso é necessário solicitar ao engenheiro estrutural para que ele defina estas vigas no próprio modelo , pois fazem parte diretamente do projeto estrutural.

Exemplo de viga entre elementos:

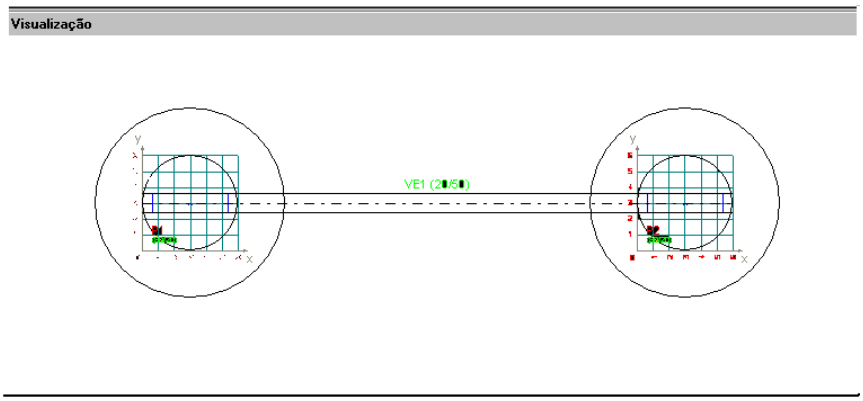
Sapata:

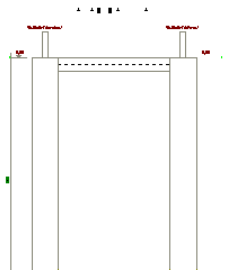


Bloco com Estacas:



Tubulão:

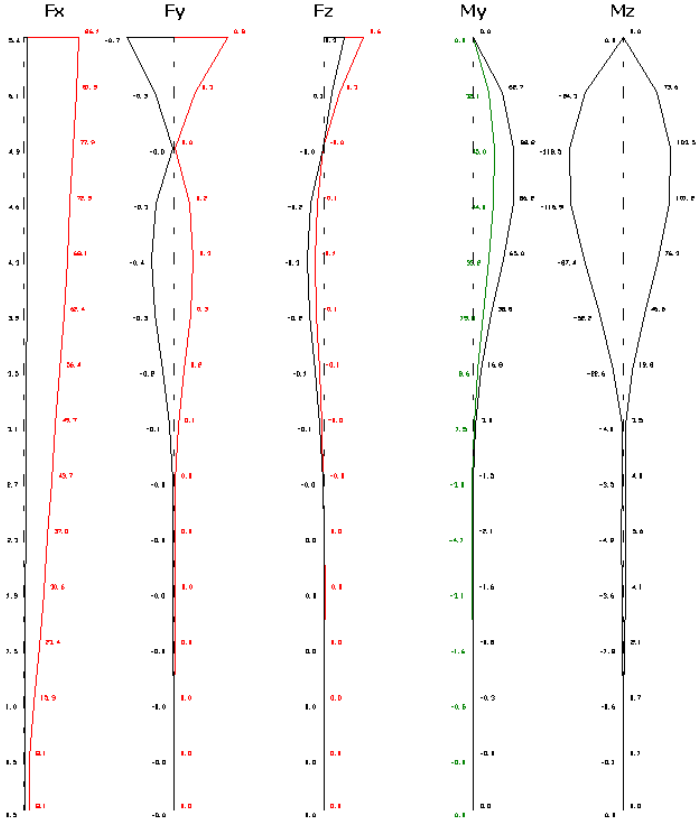




Exemplo de Resultados Obtidos

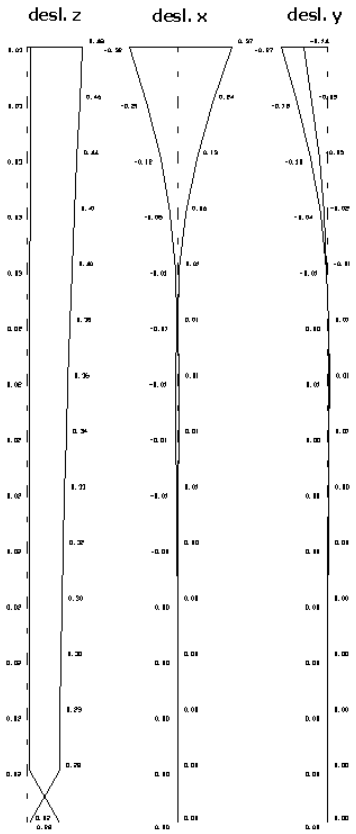
Após a montagem completa do modelo estrutural, o processamento do pórtico espacial é realizado e todas as solicitações dos elementos da fundação são obtidas. Neste novo modelo agora temos forças normais, forças cortantes (2 direções) e momentos fletores (2 direções) em cada ponto da estaca.

Exemplo de diagramas de esforços solicitantes para estacas (Fx, Fy, Fz, My e Mz):



Outro importante resultado do pórtico espacial é o valor do recalque apresentado em cada ponto discretizado da fundação para cada carregamento. Além do recalque vertical também são apresentados os deslocamentos horizontais. Assim, podemos analisar recalques máximos absolutos e recalques diferenciais entre elementos de fundação.

Exemplo de diagramas de deslocamentos (três translações) para estacas:



Incerteza nos Coeficientes do Solo

Devido a incerteza na obtenção dos vínculos elásticos (coeficientes de reação horizontal e vertical), o SISEs trata automaticamente dois modelos para o efeito do solo: um de valor máximo para estes coeficientes e outro com o valor mínimo. O usuário define quais são estes valores máximos e mínimos em função das características da fundação, experiência, importância etc. Portanto, os resultados apresentados para as solicitações e recalques englobam estes dois modelos (CRVs e CRHs máximos e mínimos).

O SISEs e Outros Sistemas

O SISEs foi projetado para operar em conjunto com os sistemas TQS desenvolvidos pela TQS Informática para projeto estrutural. Assim, projetos realizados por projetistas de estruturas com os sistemas TQS podem ser facilmente transportados para o SISEs e vice-versa. Esta integração é fundamental no processo. Devido a esta filosofia, não é possível fornecer dados estruturais de forma isolada para o SISEs. Apenas com a posse da planta de locação dos pilares e dos carregamentos para dimensionamento das fundações, não é possível operar o SISEs. É fundamental que a estrutura tenha sido anteriormente projetada nos sistemas TQS.