

ObraVision · Aprender

Fundações

Como calcular capacidade de estacas pelo SPT, distribuição em grupo, recalques, blocos sobre estacas, punção e detalhamento da gaiola dentro da obra, e como salvar e exportar cada estudo.

VERSÃO DO MANUAL
1.0

ATUALIZADO EM
18/10/2026

Sumário

1. Para que serve
2. Onde fica no app
 - a. As abas de cálculo
3. Passo a passo
 - a. Capacidade de uma estaca a partir da sondagem da obra
 - b. Grupo de estacas e bloco
 - c. Bloco sobre estacas (Bielas e tirantes)
 - d. Detalhamento da armadura da estaca
4. Campos
 - a. Capacidade
 - b. Grupo
 - c. Recalque
 - d. Bielas e tirantes
 - e. Punção
5. Como ler os resultados
6. Salvar, reabrir, histórico e exportar
7. Limitações desta versão
8. Perguntas frequentes
9. Ficha de teoria
 - a. Capacidade de carga pelo SPT (métodos semiempíricos)
 - b. Grupo de estacas em bloco rígido
 - c. Recalque e deslocamentos

- d. Bloco sobre estacas (Método das Bielas)
- e. Punção
- f. Detalhamento da gaiola

Para que serve

Fundações reúne, dentro de cada obra, os estudos de estacas e blocos que o engenheiro costuma fazer em planilhas separadas: capacidade de carga pelo SPT, distribuição de esforços em grupo, recalques, bloco sobre estacas pelo Método das Bielas, punção, verificações de seção e o detalhamento da armadura da estaca.

Cada estudo fica ligado à obra, pode usar as sondagens já cadastradas nela e guarda entradas, resultado, autor, data e versão do cálculo. Revisões criam uma nova versão sem apagar a anterior.

O resultado é uma **memória de cálculo para conferência técnica**. Ele não substitui o projeto executivo nem a aprovação do responsável técnico. Até a aceitação técnica de cada método, os estudos devem ser tratados como estudos de apoio e não liberam execução de obra.

Onde fica no app

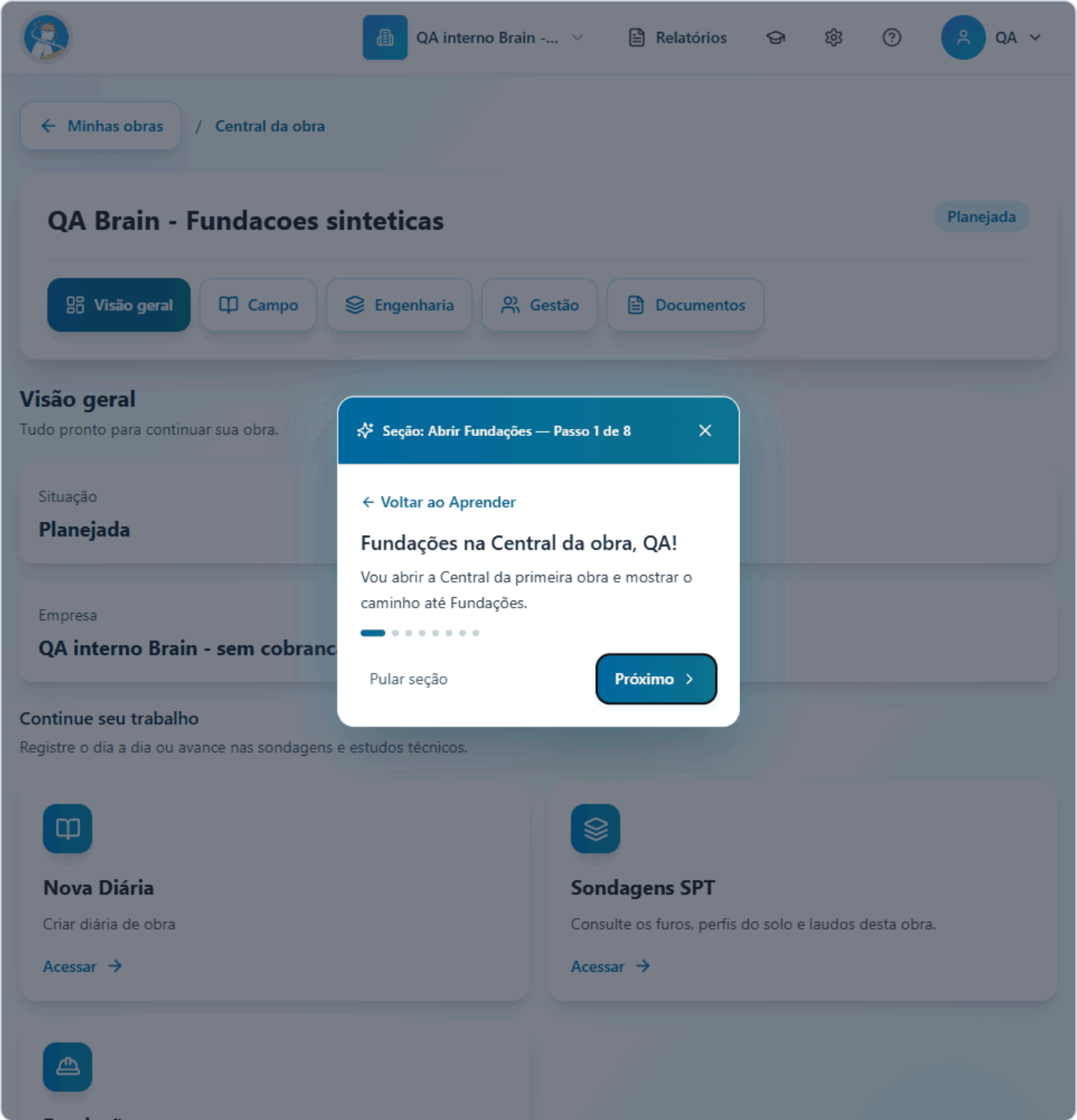
1. No painel, abra a aba **Obras** (Minhas obras) e toque na obra desejada. Abre a **Central da obra**.
2. Na barra de áreas, escolha **Engenharia**.
3. No cartão **Fundações** ("Use as sondagens nos estudos de estacas, capacidade e esforços"), toque em **Acessar**.

A tela de Fundações abre com o nome da obra no topo e o botão **Voltar à obra** para retornar à Central.

Quem pode usar:

- **Engenheiro, contratante ou administrador** da obra, com assinatura válida ou período de teste: calcula e salva.
- **Cliente final**: consulta os estudos salvos autorizados.
- Sem assinatura válida, o botão **Ver demonstração gratuita** mostra um exemplo fixo; **Planos e assinatura** abre os planos. O módulo está incluído no plano vigente, sem assinatura adicional.

O quadro **Acesso** mostra quantas versões já foram salvas na empresa e o limite do plano (teste gratuito 5; Básico 20; Profissional 100; Empresarial 500; Premium 2.000, contando revisões). Calcular sem salvar não consome cota.



Central da obra, área Engenharia, cartão Fundações

As abas de cálculo

A barra de abas logo acima do formulário escolhe o cálculo. Agrupadas por assunto:

Assunto	Abas
Capacidade de carga	Capacidade (Aoki–Velloso, Décourt–Quaresma, Teixeira, Antunes–Cabral)
Grupo e bloco	Grupo, Bloco rígido, Contato bloco–solo, Bielas e tirantes
Recalque e deslocamento	Recalque, Encurtamento, Segmentos, Mindlin, Adensamento, Transferência t–z

Assunto	Abas
Esforço lateral	Lateral, Lateral p-y, Molas Tietz (legado)
Seção e concreto	Seção, Tensões, N-M, Armadura automática, Cortante, Ancoragem, Fissuração, Torção, Punção
Armadura da estaca	Detalhamento executivo, Quantitativos

Cada aba abre com um **exemplo didático**. Os valores servem para mostrar o preenchimento; não são coeficientes recomendados. Trocar de aba descarta entradas não salvas (o app pede confirmação).

Passo a passo

Capacidade de uma estaca a partir da sondagem da obra

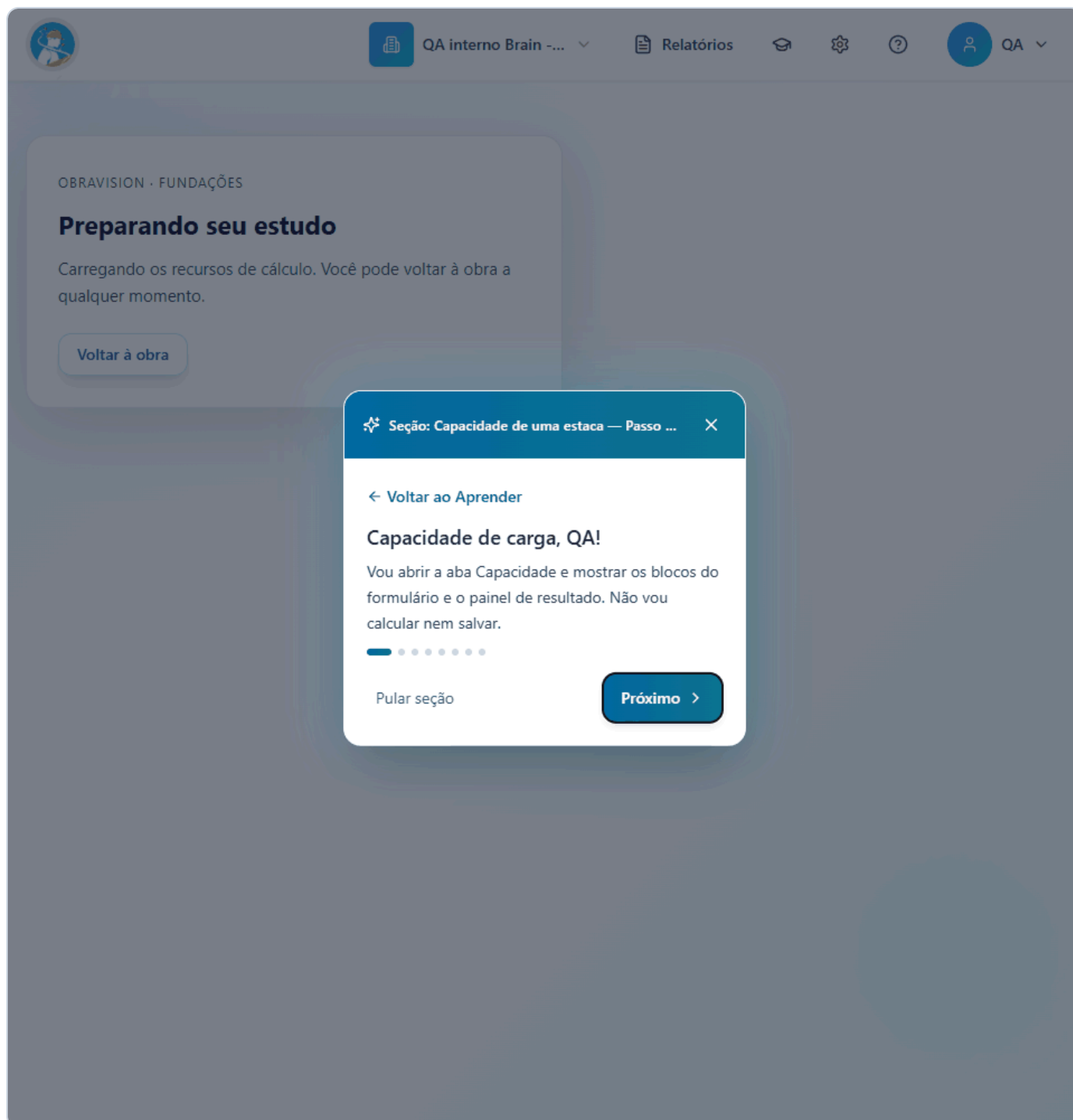
1. Abra a aba **Capacidade** e preencha **Nome do estudo**.
2. Em **Geometria e segurança**, escolha a **Seção da estaca** (circular ou retangular), informe dimensões, **Comprimento**, **F1 Aoki**, **F2 Aoki** e **Fator de segurança global**. Para preencher F1, F2 e os limites de N do fuste de Décourt de uma vez, abra **Selecionar F1/F2 e limites de fuste Décourt** e escolha o tipo de estaca.
3. Abra **Usar sondagem existente da obra**, selecione **Laudo e furo** e toque em **Consultar perfil SPT**. A tabela mostra cada amostra (profundidade, golpes, penetração, NSPT). Amostras com penetração diferente de 30 cm aparecem como "Não utilizável".
4. Escolha a **Amostra para interpretação explícita**, informe a **Base da nova camada interpretada** e toque em **Adicionar camada com este N**, ou **Usar este N na ponta**. Repita até cobrir o comprimento da estaca. Remova as camadas de exemplo antes de montar o seu perfil.
5. Em cada camada, escolha o **Conjunto de coeficientes para este trecho** (solo e tipo de estaca) ou digite os coeficientes. Faça o mesmo em **Resistência de ponta**.
6. Toque em **Calcular**. Confira o resultado e toque em **Salvar estudo**.

The screenshot displays the ObraVision software interface. At the top, there is a navigation bar with a user profile icon, a dropdown menu labeled 'QA', and several icons for reports, settings, and help. Below the navigation bar, the main header area shows the title 'Fundações' and a subtitle 'QA Brain - Fundacoes sinteticas'. A button labeled 'Voltar à obra' is visible in the top right corner.

The main content area is divided into several sections. On the left, there is a sidebar with a 'Consultando acesso...' section and a 'Ver demonstração gratuita' button. The central area features a 'Conferência de projeto' section with a note about reviewing hypotheses and results. Below this, there is a 'Sondagem no cálculo, QA!' modal dialog box. The dialog box has a title bar 'Seção: Usar a sondagem da obra — Passo 1...' and a close button. It contains a back button 'Voltar ao Aprender', a title 'Sondagem no cálculo, QA!', a description 'Na aba Capacidade, os dados de um furo da obra entram no perfil, um a um. Vou abrir para mostrar.', a progress indicator, a 'Pular seção' button, and a 'Próximo >' button.

The background interface includes sections for 'CAPACIDADE E RECALQUE' with buttons for 'Capacidade', 'Recalque', 'Adensamento', 'Transferência t-z', 'Mindlin', 'Encurtamento', and 'Segmentos'. There is also a 'SEÇÃO E ARMADURA DA ESTACA' section with buttons for 'Seção', 'Tensões', 'N-M', 'Armadura automática', 'Cortante', 'Torção', 'Fissuração', and 'Ancoragem'. A 'DETALHAMENTO E QUANTITATIVOS' section has buttons for 'Detalhamento executivo' and 'Quantitativos'. On the right, there is a 'BLOCOS E GRUPOS DE ESTACAS' section with buttons for 'Grupo', 'Bloco rígido', 'Contato bloco-solo', 'Bielas e tirantes', and 'Punção'.

Perfil SPT consultado e camadas interpretadas



Resultado com os quatro métodos lado a lado

Atenção: o app não cria camadas sozinho nem deduz coeficientes pela classificação do solo. Cada N e cada coeficiente entra por escolha explícita do engenheiro.

Grupo de estacas e bloco

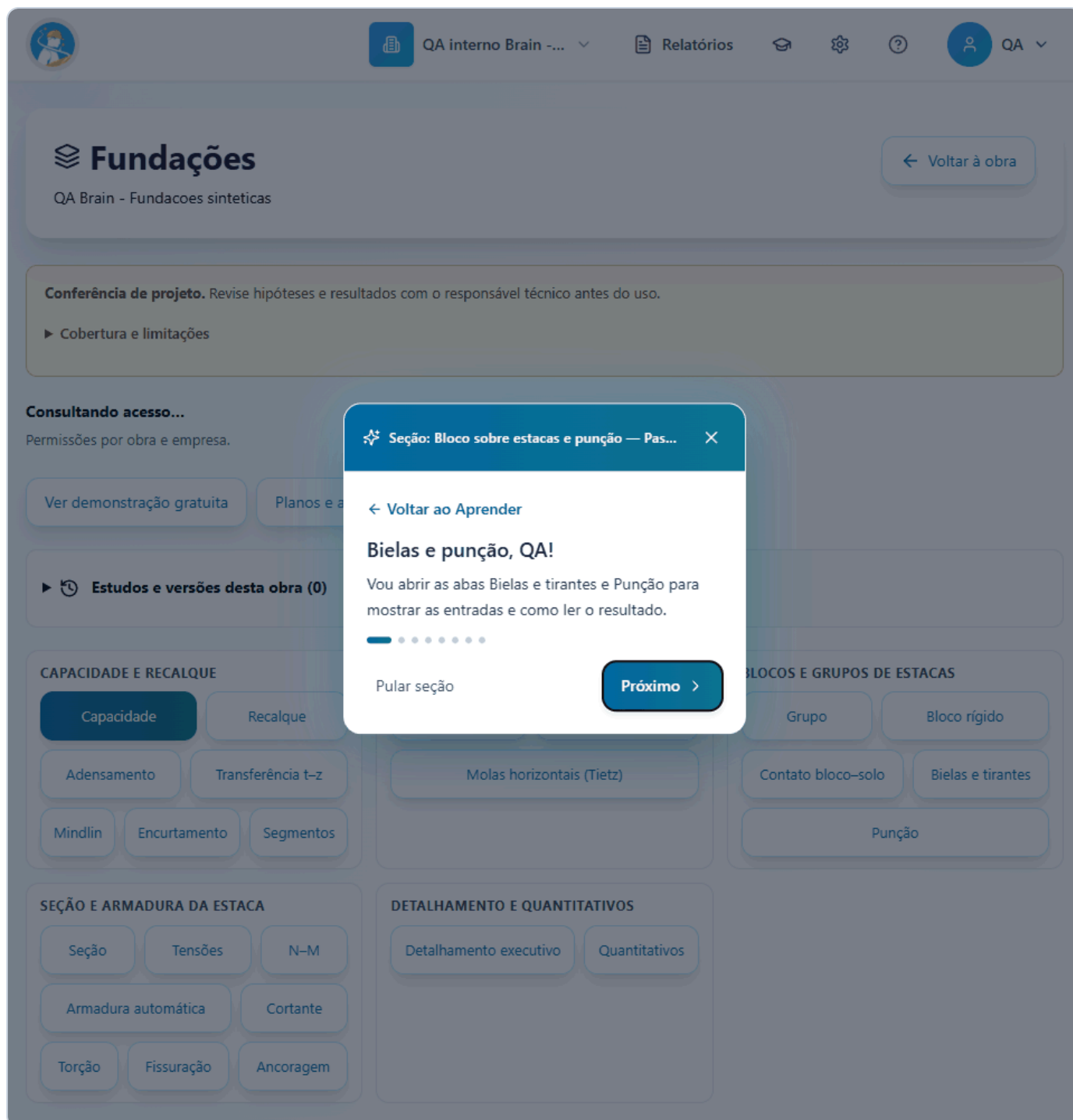
1. Na aba **Grupo**, informe **Força vertical N**, **Momento Mx** e **Momento My**.
2. Para cada estaca, informe **Coordenada x**, **Coordenada y** e **Rigidez axial**; use **Adicionar estaca** (mínimo de três estacas não colineares).

3. Toque em **Calcular**. A tabela **Esforços por estaca** mostra a força em cada uma e marca as tracionadas.

Para redistribuir as cargas considerando o recalque e a interação entre estacas, use **Bloco rígido**.

Bloco sobre estacas (Bielas e tirantes)

1. Na aba **Bielas e tirantes**, em **Pilar e estacas**, informe as dimensões do pilar, o **Diâmetro da estaca $\varnothing e$** e o tipo de estaca (pré-moldada: $e \geq 2,5 \varnothing e$; moldada no local: $e \geq 3 \varnothing e$).
2. Escolha o arranjo (2 em linha, triângulo, quadrado, quadrado com central, pentágono, pentágono com central, hexágono, hexágono com central) e a **Distância entre estacas vizinhas e** ; as coordenadas são geradas e podem ser editadas.
3. Em **Bloco e materiais**, informe **Altura útil d** , **Altura do bloco h** , f_{ck} , f_{yk} e coeficientes.
4. Em **Ações de cálculo por combinação**, informe N_d , $M_{x,d}$ e $M_{y,d}$ de cada combinação (até 50).
5. Toque em **Calcular**. O resultado traz ângulo das bielas, tensões, tirantes, armaduras, ancoragem e a planta da treliça.



Planta do bloco com estacas, bielas e tirantes

Detalhamento da armadura da estaca

1. Na aba **Detalhamento executivo**, preencha **Seção e barras longitudinais**, **Comprimentos**, **ancoragem e emendas**, **Armadura transversal** e **Quantidades**.
2. Toque em **Calcular**. O app desenha a seção e a elevação da gaiola, monta a tabela de corte e o resumo de aço por bitola. O botão **Exportar DXF** desse resultado gera o desenho em milímetros.

Campos

Capacidade

Campo	O que é	Unidade	Observação
Seção da estaca	Circular ou retangular	—	Define área de ponta e perímetro do fuste
Diâmetro / Largura / Altura	Dimensões da seção	m	
Comprimento	Comprimento da estaca	m	A sondagem interpretada precisa cobri-lo
NSPT de ponta explícito	N usado na ponta	golpes/30 cm	Substituído pela média das amostras de ponta, se houver
F1 Aoki / F2 Aoki	Fatores de escala de Aoki–Velloso	—	Ponta e fuste
Fator de segurança global	Divide a carga última	—	
Desprezar fuste inicial / final	Trechos sem atrito lateral	m	Ex.: trecho escavado, ponta
Profundidade da base	Base de cada camada interpretada	m	Bases estritamente crescentes
NSPT representativo	N da camada	golpes/30 cm	Definido pelo responsável
K Aoki	Coeficiente K do solo	kPa	
α Aoki	Razão de atrito	fração	
C Décourt	Coeficiente de ponta	kPa	
α Décourt / β Décourt	Fatores por tipo de estaca	—	Ponta / fuste
q_0 Décourt	Parcela unitária do fuste	kPa	Usada em $q_0 \cdot (N/3 + 1)$
α Teixeira / β Teixeira	Coeficientes de ponta / fuste	kPa	
β_1 Antunes / β_2 Antunes	Coeficientes de fuste / ponta	kPa	Ponta limitada a 40 kgf/cm ² (3.922,66 kPa)
N mínimo / máximo no fuste e na ponta	Limites de N por método	golpes/30 cm	Vazio = sem limite
Tensão limite de ponta	Teto da tensão de ponta	kPa	Opcional
Razão máxima ponta/fuste	Teto da ponta em função do fuste	—	Opcional
FS parcial de ponta / de fuste	Fatores separados	—	Informe os dois juntos

Em **Variantes SPT** (opcional) é possível usar janelas automáticas de ponta por método, fatores Décourt por tipo de estaca, base alargada, leituras SPT de um ou mais furos (envelope mínimo, médio ou máximo) e a curva **Capacidade x profundidade**. Sem ativar, o cálculo fica igual ao padrão.

Grupo

Campo	O que é	Unidade	Observação
Força vertical N	Carga no centro do bloco	kN	Compressão positiva
Momento Mx / My	Momentos no centro do bloco	kN·m	$\sum N_i \cdot y_i = M_x$; $\sum N_i \cdot x_i = M_y$
Coordenada x / y	Posição de cada estaca	m	Mínimo três estacas não colineares
Rigidez axial	Mola axial da estaca	kN/m	Até 500 estacas

Recalque

Campo	O que é	Unidade	Observação
Posição x / y	Localização da estaca	m	
Diâmetro do fuste e ponta	Diâmetro da estaca	m	
Comprimento	Comprimento da estaca	m	
Módulo da estaca	E do material da estaca	MPa	
Carga de serviço na cabeça	Carga aplicada	kN	
Capacidade última de ponta	Resistência de ponta	kN	
Profundidade final do trecho / Capacidade última total do trecho	Atrito por trecho de fuste	m / kN	
Profundidade final da camada	Base da camada de solo	m	
Módulo do solo Es	Módulo de deformabilidade	kPa	
Coeficiente de Poisson	ν do solo	—	$0 \leq \nu < 0,5$
Subdivisões iniciais / Tolerância de refinamento	Controle da integração	— / %	4–32; 0,01–2 %

As abas **Encurtamento** (N, L, E, A), **Mindlin** (Q, Es, ν , r, z, c) e **Adensamento** (camadas com Cv, drenagem, etapas de carga e tempos) seguem o mesmo padrão: cada campo mostra a unidade no rótulo.

Bielas e tirantes

Campo	O que é	Unidade	Observação
Pilar — dimensão em x / em y	Seção do pilar	m	Pilar retangular vira quadrado de mesma área
Diâmetro da estaca Øe	Diâmetro das estacas	m	
Tipo de estaca	Pré-moldada ou moldada no local	—	Define o espaçamento mínimo
Distância entre estacas vizinhas e	Gera as coordenadas	m	Coordenadas x, y editáveis
7 estacas — parcela k da cinta	Divisão entre cinta e diagonais	—	2/5 a 3/5; vazio = 0,5; só com 7 estacas

Campo	O que é	Unidade	Observação
Altura útil d / Altura do bloco h	Geometria do bloco	m	
fck / fyk	Resistências características	MPa	
γ_c / γ_s	Coeficientes de minoração	—	
KR — efeito Rüschi	Redução da resistência do concreto	—	0,90 a 0,95
Largura do bloco B	Para armadura de pele	m	Bloco de 2 estacas
Ancoragem da armadura do pilar $\ell_{b,pil}$	Comprimento a comparar com d	m	Opcional
Peso próprio de cálculo do bloco + solo	Ação adicional	kN	
Nd / Mx,d / My,d	Ações de cálculo por combinação	kN / kN·m	Até 50 combinações
Bitola ϕ , As efetiva por lado, fctd, η_1 , cobrimentos, balanço	Ancoragem do tirante sobre a estaca	mm, cm ² , MPa, m	Opcional

Punção

Campo	O que é	Unidade	Observação
Pilar e posição	Retangular ou circular; interno, borda ou canto	—	Circular só interno
c1 / c2	Dimensões do pilar	m	c1 perpendicular à borda
Altura útil dx / dy, Espessura h	Laje ou sapata	m	
fck / γ_c	Concreto	MPa / —	
px / py	Taxas de armadura de flexão	fração	Faixa c + 3d de cada lado
σ_{cp} de protensão	Compressão média	MPa	0 sem protensão
FSd / MSd1 / MSd2	Ações de cálculo	kN / kN·m	
Carga distribuída na face oposta	Reação do solo descontada	kPa	Em sapatas
Aberturas na laje	Retângulos em x/y	m	
sr, s0, p, fywk, γ_s , ângulo	Armadura de punção	m, MPa, °	Opcional

Como ler os resultados

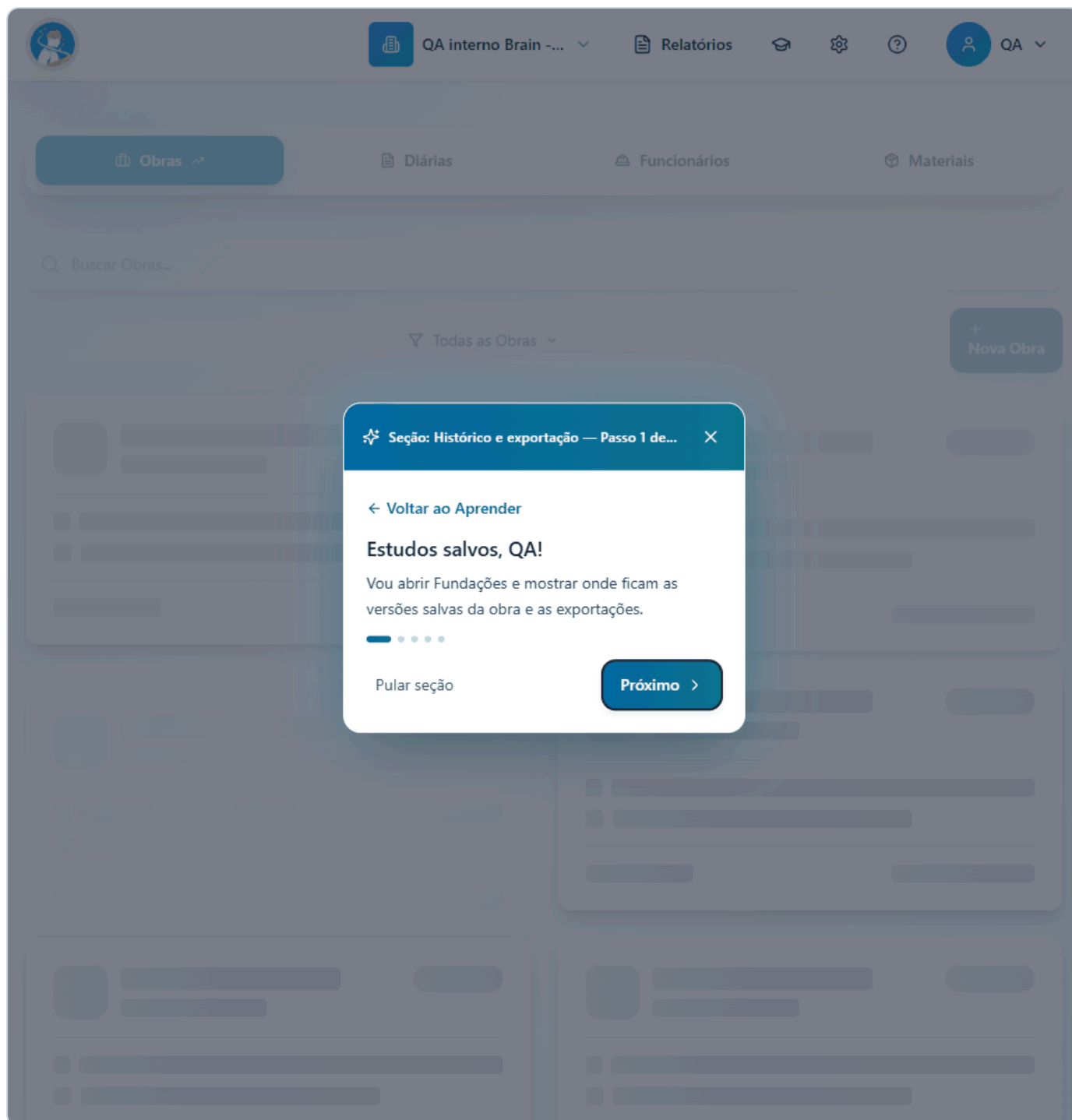
O painel **Resultados** mostra a versão do cálculo e começa com a frase "Memória de cálculo para conferência técnica". Depois vêm os números, tabelas, gráficos e o quadro **Hipóteses e limites deste resultado**. Em **Memória completa, parcelas e regras aplicadas** está a memória integral.

- **Capacidade** não dá um "atende/não atende": mostra um cartão por método com a carga **admissível** em destaque e as parcelas de ponta, fuste e última. A tabela **Contribuição do fuste por camada** mostra cada trecho. Compare a carga de projeto com o menor valor confiável e registre o critério adotado.
- **Bielas e tirantes e Punção** trazem uma faixa no topo:
 - faixa **verde**: "Todas as verificações do Método das Bielas atendidas..." ou "Contornos verificados atendem às tensões resistentes." **Atende** para as combinações informadas;
 - faixa **vermelha**: lista o que não atende (ângulo das bielas fora de 45°–55°, d' abaixo do mínimo, espaçamento entre estacas, tensão em biela, reação negativa, ancoragem). Ajuste d, h, espaçamento ou materiais e recalcule. Na punção, a mensagem "informe armadura de punção ou aumente d/fck" indica que τ_{Sd} supera τ_{Rd1} em C'.
 - nas tabelas, cada linha mostra **Atende** ou **Não atende**.
- **Tensões** mostra faixa verde se as tensões ficam dentro dos limites informados, vermelha se algum foi ultrapassado.
- **Grupo** marca "Tração — verificar capacidade" na estaca com força negativa.
- **Inconclusivo**: quando faltam dados ou o caso está fora do modelo, o app recusa o cálculo com uma mensagem em vermelho (por exemplo, "Sondagem não cobre o comprimento da estaca") ou registra o motivo nas hipóteses. Nunca aparece aprovação sem cálculo. Complete os dados ou trate o caso por outro método.

Qualquer alteração nas entradas apaga o resultado na tela: calcule novamente antes de salvar.

Salvar, reabrir, histórico e exportar

- **Salvar estudo** grava entradas, resultado recalculado pelo servidor, versão do cálculo, autor e data, e a referência do furo usado. Ao editar um estudo reaberto, o botão vira **Salvar nova versão**: a versão anterior é preservada.
- **Estudos e versões desta obra (n)**: lista cada versão com título, número, aba, data e "revisão de #...". Toque para reabrir; use **Carregar mais versões** em listas longas.
- **Exportar JSON**: entradas e memória de cálculo. **Importar JSON** recalcula tudo no servidor; os resultados do arquivo não são usados.
- **CSV**: tabela campo/valor do resultado, pronta para planilha.
- **Imprimir**: abre a impressão do navegador; escolha "Salvar como PDF" para gerar o PDF.
- **Exportar DXF** (em liberação): planta do bloco na aba Bielas e tirantes (metros) e a gaiola no Detalhamento executivo (milímetros). Ver **Exportação DXF** (manual).



Histórico de versões da obra

Sem internet, a tela continua aberta, mas calcular, consultar sondagens e salvar exigem conexão. Os dados de obras e sondagens não ficam guardados no aparelho.

Limitações desta versão

- Os estudos são memória de cálculo de apoio; não equivalem a laudo nem a projeto executivo e não declaram conformidade com norma.
- Sondagem: amostras com penetração diferente de 30 cm não viram NSPT; camadas e coeficientes não são inferidos.

- Bielas e tirantes: o arranjo de 7 estacas (hexágono com estaca central) está em liberação.
- Não implementado nesta versão: 3 ou mais estacas em linha, blocos retangulares (2×2 retangular, 2×3, 3×2), 7 estacas fora do hexágono, fendilhamento sob o pilar, cortante do bloco pelo CEB-70, punção de bloco flexível, forças horizontais e estacas inclinadas ou de diâmetros diferentes no bloco.
- Grupo considera bloco rígido com molas axiais, sem interação geotécnica entre estacas (use Bloco rígido ou Recalque para isso).
- Encurtamento não representa o recalque total; Mindlin é carga pontual em meio homogêneo.
- Exportação DXF em liberação.
- Sem cálculo offline.

Perguntas frequentes

Por que os quatro métodos de capacidade dão valores diferentes? São métodos semiempíricos com bases estatísticas diferentes. O app mostra todos lado a lado para comparação; a escolha do valor de projeto é do responsável técnico.

Posso usar uma amostra com recusa? Não como NSPT convencional. Ela aparece como "incompleta / recusa" e fica desabilitada na seleção.

Calcular consome a cota do plano? Não. Só **Salvar estudo** e **Salvar nova versão** contam.

Importei um JSON e os números mudaram. A importação sempre recalcula com a versão atual do cálculo; o resultado gravado no arquivo é ignorado de propósito.

Ficha de teoria

Capacidade de carga pelo SPT (métodos semiempíricos)

Hipóteses:

- Estaca isolada, carga axial; resistência = ponta + atrito lateral.
- Perfil interpretado em camadas contíguas a partir de 0 m, com NSPT representativo definido pelo engenheiro.
- Coeficientes por solo e tipo de estaca informados explicitamente; limites de N opcionais por método.
- Carga admissível = menor entre (última ÷ FS global) e (ponta ÷ FSp + fuste ÷ FSf), quando os parciais são informados.

Fórmulas principais (Ap = área da ponta; U = perímetro; Δl = espessura efetiva da camada):

Aoki-Velloso	$R_p = K \cdot N_p \cdot A_p / F_1$	$R_l = \sum U \cdot \Delta l \cdot \alpha \cdot K \cdot N_l / F_2$
Décourt-Quaresma	$R_p = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p$	$R_l = \sum U \cdot \Delta l \cdot \beta \cdot q_0 \cdot (N_l / 3 + 1)$
Teixeira	$R_p = \alpha T \cdot N_p \cdot A_p$	$R_l = \sum U \cdot \Delta l \cdot \beta T \cdot N_l$
Antunes-Cabral	$R_p = \beta_2 \cdot N_p \cdot A_p \leq 3.922,66 \text{ kPa} \cdot A_p$	$R_l = \sum U \cdot \Delta l \cdot \beta_1 \cdot N_l$
$R_u = R_p + R_l \quad R_{adm} = \min(R_u / FS ; R_p / F_{Sp} + R_l / F_{Sf})$		

Fontes públicas: Aoki–Velloso (1975); Décourt–Quaresma (1978) e Polido et al., SEFE 2023; Teixeira (1996); Antunes–Cabral (1996); tabelas de coeficientes conforme Cintra & Aoki (2010), reproduzidas em Sousa, UFMG (2018).

Grupo de estacas em bloco rígido

Hipóteses:

- Bloco rígido, estacas verticais como molas axiais; sem interação solo–estaca entre elas.
- Pelo menos três estacas não colineares.

Fórmulas principais:

Equilíbrio: $\sum N_i = N$; $\sum N_i \cdot y_i = M_x$; $\sum N_i \cdot x_i = M_y$

Estacas iguais e eixos principais: $N_i = N/n + M_x \cdot y_i / \sum y_i^2 + M_y \cdot x_i / \sum x_i^2$

Com molas: $N_i = k_i \cdot (w_0 + \theta_x \cdot y_i + \theta_y \cdot x_i)$, resolvido para $(w_0, \theta_x, \theta_y)$

Fontes públicas: análise matricial de bloco rígido sobre molas; Bastos, *Blocos de Fundação*, UNESP Bauru (2023), item 13.

Recalque e deslocamentos

Hipóteses:

- Encurtamento elástico: força normal constante (ou linear por trecho em Segmentos), material linear.
- Recalque: transferência de carga ao longo do fuste e na ponta, solo elástico em camadas, interação entre estacas por superposição; refinamento automático até a tolerância.
- Mindlin: carga pontual em meio elástico semi-infinito homogêneo.
- Adensamento: Terzaghi 1D, camada saturada, C_v constante, drenagem simples ou dupla declarada.

Fórmulas principais:

Encurtamento	$\delta = N \cdot L / (E \cdot A)$	Segmentos	$\delta = \sum \int N(z) / (E \cdot A) dz$
Recalque	$w = \sum (\text{cargas transferidas ao solo}) \times \text{fator de Mindlin integrado incremento por camada (Steinbrenner)}$		
Adensamento	$T_v = C_v \cdot t / H d^2$	$U(T_v)$ por série de Terzaghi	$s(t) = U \cdot s_{\text{final}}$
	$s_{\text{final}} = \sum m_v \cdot \Delta \sigma \cdot H$ (ou curva edométrica com pré-adensamento)		

Fontes públicas: Mindlin (1936); quadratura no estilo Aoki–Lopes (1975); Steinbrenner (1934); Terzaghi (1943); FHWA NHI-06-089, exemplo A.6.

Bloco sobre estacas (Método das Bielas)

Hipóteses:

- Bloco rígido, estacas verticais iguais e equidistantes do centro do pilar; reações pelo plano rígido com N_d , M_x e M_y .
- Carga equivalente = número de estacas $\times$ maior reação.
- Trelíça espacial: bielas comprimidas do pilar às estacas, tirantes sobre as estacas; equilíbrio conferido nó a nó.
- Ângulo das bielas entre 45° e 55° (40° aceito com aviso).
- Reação negativa (estaca tracionada) reprova a verificação.

Fórmulas principais (n = nº de estacas; r = distância do centro do pilar ao eixo da estaca; a_0 = deslocamento do nó superior, $ap/4$ para 2 estacas, $0,3 \cdot ap$ para 3, $ap \cdot \sqrt{2}/4$ para 4; m = estacas na periferia):

$$N_i = N_d/n + M_x \cdot y_i / \sum y_i^2 + M_y \cdot x_i / \sum x_i^2 \quad N_{eq} = n \times \text{maior reação}$$

$$\tan \alpha = d / (r - a_0) \quad 45^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$$

$$\text{Biela} \quad F_b = (N_{eq}/n) / \sin \alpha$$

$$\text{Tirante radial} \quad R_r = (N_{eq}/n) \cdot (r - a_0) / d$$

$$\text{Tirante por lado (polígono)} \quad R_s = R_r / (2 \cdot \sin(\pi/m)) \quad 2 \text{ estacas: } A_s \times 1,15$$

$$A_s = R_s / f_{yd}$$

$$\sigma_{\text{biela no pilar}} = N_{eq} / (A_p \cdot \sin^2 \alpha) \leq k \cdot K_R \cdot f_{cd}$$

$$\sigma_{\text{biela na estaca}} = (N_{eq}/n) / (A_e \cdot \sin^2 \alpha) \leq k \cdot K_R \cdot f_{cd}$$

$$k = 1,4 \text{ (2 estacas)} ; 1,75 \text{ (3)} ; 2,1 \text{ (4)} ; 2,6 \text{ no pilar e } 2,1 \text{ na estaca (4 + central)}$$

$$7 \text{ estacas} \quad A_{s, \text{cinta}} = k \cdot N_d(e - ap/4) / (7d \cdot f_{yd}) ; A_{s, \text{diag}} = (1 - k) \cdot N_d(e - ap/4) / (7d \cdot f_{yd}) ; 2/5 \leq k \leq 3/5$$

Nos arranjos de pentágono e hexágono a fonte dispensa a verificação de tensões nas bielas quando α está entre 45° e 55° .

Fontes públicas: Blévy & Frémy (1967); Machado (1985); Bastos, *Blocos de Fundação*, UNESP Bauru (out/2023), itens 4 a 11 e 13.

Punção

Hipóteses:

- Modelo de superfícies críticas: contorno C (face do pilar), C' (a $2d$) e C'' (além da armadura de punção).
- Pilar interno, de borda ou de canto; momentos pelo coeficiente K e módulo W_p ; aberturas descontam o perímetro.
- Em sapatas, a reação do solo dentro do contorno pode ser descontada.

Fórmulas principais:

$$\tau_{Sd} = F_{Sd}/(u \cdot d) + K_1 \cdot M_{Sd1}/(W_{p1} \cdot d) + K_2 \cdot M_{Sd2}/(W_{p2} \cdot d)$$

$$C : \tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} , \quad \alpha_v = 1 - f_{ck}/250$$

$$C' : \tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13 \cdot (1 + \sqrt{(20/d)}) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{(1/3)} + 0,10 \cdot \sigma_{cp} \quad (d \text{ em cm})$$

com armadura: $\tau_{Rd3} = 0,10 \cdot (1 + \sqrt{(20/d)}) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{(1/3)} + 0,10 \cdot \sigma_{cp} + 1,5 \cdot (d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha / (u \cdot d)$

$$\rho = \sqrt{(p_x \cdot p_y)} \leq 0,02 \quad k_e = 1 + \sqrt{(20/d)} \leq 2$$

Fontes públicas: Bastos, *Sapatas de Fundação*, UNESP (2023), com o modelo de punção da ABNT NBR 6118:2023, item 19.5; Lima, EESC/USP (2001). O cálculo segue esse método; a verificação final é do responsável técnico.

Detalhamento da gaiola

Hipóteses:

- Comprimentos de ancoragem e traspasse calculados por aderência ou informados explicitamente pelo projetista.
- Emendas podem ser defasadas em dois grupos (afastamento 1,2·ℓ₀); corte arredondado para cima em centímetros.

Fórmulas principais:

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} \quad \ell_b = (\phi/4) \cdot (f_{yd}/f_{bd})$$

$$\ell_{b,nec} = \alpha \cdot \ell_b \cdot A_{s,calc}/A_{s,ef} \geq \ell_{b,min}$$

Massa = comprimento de corte × área nominal × massa específica

Fontes públicas: Bastos, apostilas de concreto armado da UNESP (ancoragem e emendas, Eq. 1–9), com o modelo da ABNT NBR 6118:2023.

Manual Fundações · versão 1.0 · atualizado em 18/10/2026. Os cálculos do ObraVision apoiam o projeto; a conferência e a responsabilidade técnica são do profissional habilitado.