

Cálculo de Fundação e Pilar pelo método mais econômico

Fernando Jorge Cutrim Demetrio¹

¹Centro de Ciências Tecnológicas - UEMA
Cidade Universitária Paulo VI, Tirirical – São Luís – MA – Brasil

fernando@elo.com.br

Abstract. *In this work we present the design of pieces of reinforced concrete, more precisely pillars and foundations, by using the calculation process from the standards. The contribution of this work is in the calculation of these structures by the most economical method, by determining the best possible section for the structure. We developed an algorithm that helps in the process of calculation and displays the result in a final report.*

Resumo. *Nesta obra apresentamos o dimensionamento de peças de concreto armado, mais precisamente pilares e fundações, utilizando os processos de cálculos provenientes das normas. A contribuição deste trabalho está no cálculo destas estruturas pelo método mais econômico, determinando a melhor seção possível para a estrutura. Desenvolvemos um algoritmo que auxilia no processo de cálculo e apresenta o resultado em um relatório final.*

1. Introdução

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver e implementar um algoritmo que fosse capaz de dimensionar as estruturas de concreto armado. As estruturas que o algoritmo dimensiona são pilares e suas respectivas fundações, para isso alguns dados são conhecidos e outros fornecidos através de normas, tabelas ou pelo próprio usuário, como é o exemplo da seção do pré-dimensionamento. Dimensionar as estruturas neste trabalho, representa definir a melhor seção possível, ou seja, a mais economicamente viável, e apresentar um relatório no final para cada estrutura contendo informações sobre o tipo do ferro, a quantidade de ferro e de concreto, a posição do pilar e carga a qual a estrutura está submetida.

O algoritmo não está preparado para o cálculo de todos os tipos de pilares e fundações, mas se torna de extrema importância por tratar daqueles casos mais usuais, ou seja, pilares e fundações com seções retangulares e com cargas centradas. Dentre esses pilares destacamos os curtos e os médios e entre as fundações destacamos as sapatas rígidas e flexíveis, e os blocos.

A seguir, entenderemos como é realizado o cálculo dos pilares e fundações de acordo com as normas existentes e os modelos de cálculos conhecidos, para depois apresentarmos o algoritmo e os resultados obtidos.

2. Cálculo e Dimensionamento dos Pilares

2.1. Cálculo das cargas nos pilares

As cargas que atuam nos pilares que sustentam pisos de concreto armado, tais como os de edifícios, provêm das cargas acidentais e permanentes que atuam verticalmente nos pisos, além de outras especiais como as que decorrem da ação do vento.

2.2. Processo das reações nas vigas

As cargas verticais que atuam em um pilar, além de seu peso próprio, são as ações das vigas que sobre ele repousam (Rocha, 1986). Calculadas as vigas, basta acrescentar ao valor das suas reações o peso próprio dos pilares, para obter as cargas destes pilares. O cálculo das cargas, por meio das reações das vigas, pode ser feito no próprio esquema de estrutura do pavimento, onde se registram as cargas das lajes e das vigas. O cálculo das reações das vigas sobre pilares é feito na prática, desprezamos a influência da continuidade, isto é, supondo cada tramo como simplesmente apoiado nos pilares, salvo no caso de balanços e quando for muito grande a diferença entre os vãos. Este modo de proceder, segundo o item 3.2.2.3.2 da NB-1 atual, é permitido desde que a menor relação entre o momento de inércia e o vão de um tramo da viga não seja inferior a 80% da maior relação nos outros tramos.

2.3. Processo das áreas de influência

Na prática usamos, muitas vezes, um processo expedito para o cálculo das cargas nos pilares, chamado processo das áreas de influência, somente aceitável quando a planta do vigamento é muito regular e os pilares estão situados nos cruzamentos das vigas. Por esse processo é necessário considerar não só as cargas das lajes como também, o peso das vigas e paredes. Há casos em que os pilares não estão alinhados, surgindo dúvidas na limitação das áreas de influência. Nestes casos o processo das áreas de influências pode conduzir a erros sérios, principalmente quando há vigas apoiadas em outras vigas com disposição em planta sem regularidade, como acontece muitas vezes em pisos de edifícios de apartamentos. Será preferível, quando isto acontecer, usar o processo das reações.

2.4. Peso próprio do Pilar

O cálculo do peso próprio do pilar é feito de modo aproximado, quando as dimensões dos mesmos ainda não foram fixadas. As dimensões das diversas peças de uma estrutura não são, porém, escolhidas depois de calculadas os esforços. O engenheiro tem a obrigação de lançar a estrutura com suas dimensões prefixadas, antes do procedimento do cálculo definitivo. Para isso, quem calcula deve ter alguns conhecimentos de Arquitetura e prática de construção. De fato, o cálculo apenas determina as dimensões mínimas, que nem sempre são as usadas.

A estética e o destino da obra devem também ser levado em consideração para que a estrutura esteja de acordo com o projeto arquitetônico. O cálculo, então, se manifestará sobre a viabilidade das diversas soluções estéticas e funcionais podemos adotar.

Concluimos que no caso mais comum a estrutura deve ser pré-dimensionada, permitindo que os pesos próprios, sejam calculados previamente com aproximação

suficiente. Embora raro, o cálculo poderá indicar modificações nas dimensões pré-estabelecidas que importem em grandes alterações do peso próprio. Então, é preciso refazer o cálculo das cargas partindo das novas dimensões. Alterações de peso até 5% podem ser toleradas.

Nos edifícios de vários andares, as dimensões dos pilares variam em cada pavimento, devemos proceder ao cálculo das cargas partindo do pavimento mais alto até chegar ao pavimento inferior. Em cada andar, o peso do pilar é avaliado por meio de cálculo aproximado, adotamos a soma das cargas obtidas para os pavimentos situados acima do andar considerado. Neste caso, não se inclui o peso próprio do pilar neste andar, mas incluímos os pesos dos pilares dos pavimentos superiores, já calculados e dimensionados.

2.5. Outras cargas nos pilares

Nos edifícios, há a considerar também as cargas que provém da caixa d'água superior e de casas de máquinas de elevadores, além das cargas do forro e telhado. As cargas provenientes do forro e telhado podem ser calculadas pelos processos das áreas de influência, sem grandes erros ou pelo processo das reações, mais rigorosamente. Para a determinação da carga do telhado sobre os pilares, é preciso verificar a disposição do madeiramento da cobertura, examinando dois casos: cobertura apoiada em vários pontos do forro (pontalotes) e coberturas apoiadas no contorno por meio de tesouras. No primeiro caso, a carga do telhado pode ser considerada como uniformemente distribuída sobre toda a área do forro e, no segundo caso, a carga se aplica apenas aos pilares da periferia.

Para a carga por metro quadrado de forro e telhado, para efeito de cálculo das cargas nos pilares, podem ser adotados os seguintes valores médios:

Forro sem vigamento	200 Kg/m ²
Forro com vigamento.....	300 Kg/m ²
Cobertura de fibro-amianto.....	50 Kg/m ²
Cobertura de telhas de cerâmica	80 Kg/m ²
Terraços não habitados	350 Kg/m ²
Terraços habitados	500 Kg/m ²

2.6. Roteiro prático para cálculo dos pilares:

2.6.1. Esbeltez λ :

Em primeiro estágio devemos estudar o tipo de engastamento que possui o pilar, de onde será determinado o Índice de Esbeltez (λ) o qual determina o processo de cálculo mais coerente. De acordo com norma NB -1, o cálculo das seções sujeitas à força de compressão centrada só pode ser feito sem considerar o fenômeno da flambagem quando a esbeltez, definida como a relação entre o comprimento de flambagem e o

menor raio de giração é inferior a 40. Assim, para dispensar a verificação à flambagem, devemos ter: λ menor ou igual a 40, conforme apresentado abaixo:

Engaste/Balanço	2L
Apoio/Apoio	L
Engaste/Engaste.....	0,5L
Engaste/Apoio	0,7L

Onde L é o comprimento do Pilar, geralmente 2,9m (pé-direito).
Sendo assim o índice de esbeltez é determinado da seguinte forma:

$$\lambda = (3,46 \times L')/a$$

onde:

L' \Leftrightarrow comprimento de flambagem em centímetros

a \Leftrightarrow menor dimensão do pilar em centímetros

2.6.2. Relação Esbeltez x Pilar:

Esbeltez λ_1	Pilar
Menor ou igual a 40.....	Curto
Maior que 40 e menor ou igual a 80.....	Médio
Maior que 80 e menor ou igual a 140.....	Esbelto

2.6.3. Carga N:

Neste estágio já conhecemos o índice de esbeltez, o tipo de pilar a ser calculado, as suas dimensões através do pré-dimensionamento, o fator de resistência do concreto (F_{ck}) e a carga N que é obtida através dos métodos de cálculo nas cargas dos pilares, ou pelo método das áreas de influência ou pelo das reações das vigas, sem desconsiderar o peso próprio do pilar, conforme apresentado anteriormente.

Conforme a norma NB-1, que recomenda quando o pilar é do tipo curto, a aplicação de um fator de segurança (ω) para eliminação da flambagem, onde $\omega = 1 + 6/a$, sendo a, a menor dimensão do pilar em centímetros. Neste caso a carga N passa a assumir o valor inicial de N multiplicado pelo fator de segurança de eliminação de flambagem (ω), ou seja $N = N \times (\omega)$.

Seguindo orientações das normas e conforme apresentado também em (ROCHA, 1986), devemos multiplicar a carga N por 1,4, que representa um fator de segurança para cálculo de 40%. A multiplicação da carga N pelo fator de segurança, é chamada nos processos de cálculos de F_d , portanto temos que $N_d = 1,4 \times N \times \omega$ onde ($F_d = 1,4 \times N$).

Quando λ for maior que 40 deve ser considerado o efeito da flambagem como dito anteriormente, por isso o processo de cálculo é diferente do processo do pilar curto,

¹ Devemos evitar $\lambda > 140$

determinamos as resultantes através da Teoria de 2ª ordem, isto é, calculando a seção em cada direção separadamente.

A excentricidade de 2ª ordem em cada direção é calculada pela fórmula $e_2 = L_2/10 \times ((0,0035 \times f_{yd}/ES) / (v + 0,5) \times a)$. (Figura 1)

L = altura do pilar em centímetros
f_{yd} = fator de cálculo do aço
ES = Índice de elasticidade do aço (21 x 10⁵)
a = menor dimensão do pilar em centímetros
v = Fd / (A x fcd)
onde:
A = área de concreto
Logo
e = e₀ + e₁ + e₂ ⇔ e = 0 + 2 + e₂
Por fórmula:
Nd = 1,4 x N x (1 + (3 x e) / a)
N = carga em kgf/cm²
e = excentricidade de 2ª ordem
a = menor dimensão em centímetros

Figura 1. Cálculo da Carga N

2.6.4. Área de concreto teoricamente necessária: (Acnec)

Para atender as condições da armadura longitudinal mínima, o cálculo dos pilares deve ser feito determinando a seção de concreto teoricamente necessária, adotamos $\rho=0,008$, usamos a seguinte fórmula:

$$A_{cnc} = Nd / (0,85 fcd + 0,008 f'_{yd})$$

Onde:

Nd = carga no pilar com os coeficientes de segurança (1,4 e ϖ)

Fcd = Fck dividido pelo seu coeficiente de segurança (1,4)

f'yd = tensão da armadura dividida pelo seu coeficiente (1,15)

Tabela 1: Valores da Tensão f_{yd} em Kg/cm²

Aço	F'yd	Aço	F'yd
CA-25	2173	CA-50 A	4200
CA-32	2783	CA-50 B	3550
CA-40 A	3480	CA-60 A	4200
CA-40 B	3000	CA-60 B	4000

2.6.5. Área de Ferro: (A_s)

Se a Área de concreto teoricamente necessária for maior ou igual a área de concreto necessária, fazemos $A_s = (N_d - 0,85 \times A_c \times f_{cd}) / f_{yd}$ onde $A_c =$ Área de concreto. Se a Área de concreto for maior que a Área de concreto teoricamente necessária, temos que $A_s = 0,008 \times A_{cneq}$.

2.6.6. Densidade: (ρ)

A densidade é a relação entre a Área de ferro e a Área de concreto, onde a norma NB-1 fixa para as armaduras longitudinais o mínimo de 0,8% e o máximo de 6% da seção do pilar, podendo o limite mínimo atingir 0,5% quando λ menor ou igual a 30. (Figura 2)

$$\rho = A_s / A_c$$

Se $0,8\% < \rho < 6\%$ o pilar está bem dimensionado.

Se $\rho < 0,8\%$ é recomendável diminuir a maior seção do pilar.

Se $\rho > 6\%$ é recomendável aumentar a seção do pilar.

Por norma A_s não pode ser inferior a $4 \theta 3/8''$ (A_{smin}).

Figura 2. Cálculo da densidade

3. CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

3.1. Fundações em Blocos:

Os blocos são fundações de concreto simples com grande altura, na prática dos edifícios comuns, os blocos têm um emprego corrente para cargas pequenas (até 50t, por exemplo). Tais blocos são executados com concreto fraco – 1:3:8 ou 1:5:8, envolvendo pedras de mão.

Nos edifícios comuns, os blocos são usados somente para pequenas cargas e, além disso, não é aconselhável o emprego dos blocos para terrenos com pressão admissível inferior a 1 kg/cm².

3.1.1. Cálculo da fundação em bloco:

Conhecendo as dimensões do pilar, é possível determinar as dimensões do bloco, sabendo também a carga que incide sobre ele:

$$S = (1,05 \times N) / \sigma$$

Onde:

S = área do bloco

N = carga total

σ = pressão admissível do terreno²

² Este valor é conhecido através de uma sondagem no terreno.

Depois de calcular a área do bloco devemos achar a relação entre a maior dimensão do pilar com a menor e aplicar na regra de proporcionalidade com as dimensões do bloco.

$$a / b = A / B$$

Achando assim o valor de A e B, dimensões do bloco, calculamos a Tensão provocada no terreno, para verificar se esta é menor que a pressão admissível.

$$\sigma_t = 1,05 \times N / (A \times B)$$

Onde:

σ_t = tensão do terreno

3.1.2. Altura do Bloco

A altura do bloco é calculada pela fórmula abaixo apresentada na figura 3.

$$h = 0,5 \times (B - b),$$

Onde:

h = altura

B = maior dimensão do bloco

b = maior dimensão do pilar

Figura 3. Cálculo do Bloco

3.1.3. Cálculo da Punção

$$\tau = 1,4 N / ((h \times (2 \times (a + h) + 2 \times (b + h)))$$

3.1.4. Cálculo da τ_m (Tensão máxima de Tração)

$$\tau_m = N / (2 \times h \times B)$$

3.1.5. Determinação do f_{ck}

Será a menor resistência do concreto possível.

$$F_{ck} = \tau_m / 30$$

3.2. Fundações em Sapatas:

As sapatas são elementos de fundação em concreto armado com a altura pequena em relação à base. Neste estudo será mostrado o cálculo e dimensionamento das sapatas retangulares rígidas³ e flexíveis, geralmente utilizadas quando a fundação é submetida a uma carga acima de 50t.

³ Na fórmula da área o valor 1,05 é substituído por 1,1 para sapatas rígidas.

Na prática as sapatas quadradas são as mais utilizadas e seu projeto pode ser feito de acordo com o roteiro de cálculo apresentado a seguir.

3.2.1. Cálculo da Área da Sapata:

Sabendo a carga a qual a fundação é solicitada e a tensão do terreno, calculamos a área da sapata, através da fórmula $S = 1,05 \times N / \sigma$.

Encontrado o valor da área, determinamos o valor das dimensões, através da relação entre as dimensões do pilar, e substituição deste valor na fórmula da área. Escrevendo a fórmula, temos que $A2 = S / (b/a)$.

3.2.2. Cálculo dos Momentos

Calculamos os Momentos Fletores e o Momento de Ruptura pelas fórmulas que seguem:

Momentos Fletores:

$$M_y = (N/4) \times ((A/300) - (a/200))$$

$$M_x = (N/4) \times ((B/300) - (b/200))$$

O cálculo do momento de ruptura M_d , é obtido através da multiplicação dos Momentos Fletores pelo coeficiente de segurança 1,4.

3.2.3. Altura

A altura calculada, depende ainda da relação entre a Pressão Solicitante e a Pressão Admissível, onde a primeira deve ser menor que a segunda para satisfazer o dimensionamento.

$$h = (A - a) / 4$$

$$\tau_{sol} = 1,4 \times N / (4 \times (a + h) \times h)$$

$$\tau_{adm} = (\sqrt{f_{ck}}) / 1,4$$

3.2.4. Armadura

Calculamos a armadura pela fórmula $A_s = M_d / (\alpha \times h)$ onde α é encontrado em tabelas da literatura (Rocha, 1986). Podemos também, utilizar o α_m , que é determinado pela fórmula $\alpha_m = 0,9 \times (f_{yd}/100)$.

4. O ALGORITMO

O cálculo e dimensionamento de Pilares e Fundação apresentado anteriormente pelos métodos usuais na engenharia civil, esta todo depurado com suas fórmulas, condições e recomendações no algoritmo proposto,

4.1. Cadastro da obra

O algoritmo ao ser executado apresenta a tela apresentada na figura 4 como tela de abertura.

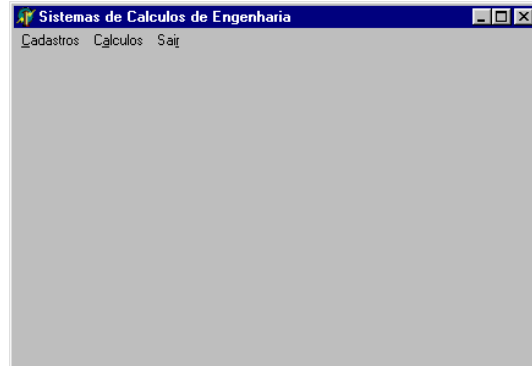


Figura 4. Tela de abertura do Aplicativo Engcalc

Na tela da figura 4 é apresentado um “Menu”, onde facilmente identificamos a função de cada um deles. No Menu Cadastro, encontramos três comandos que executam o cadastro não só do Projeto a ser calculado, como também de tabelas essenciais ao complemento do dimensionamento das estruturas.

O primeiro comando, do menu cadastro, é o comando aço, que quando acionado mostra uma janela de cadastro do tipo de aço a ser utilizado, com sua tensão f_{yd} , determinante nos dimensionamentos tanto dos pilares quanto das fundações, conforme citado no capítulo 2.



Figura 5. Cadastro de Aço e f_{yd}

O comando seguinte é o Tabela Alfa, comando abre uma janela que cadastra o valor de α conforme o valor de r , f_{ck} e tipo de aço, que serão utilizados no dimensionamento das peças.

Figura 6. Tabela Alfa

Conforme apresentado na figura 6 o Valor de R, e o valor de alfa são encontrados nas em (Rocha, 1986). No caso do alfa existe no algoritmo uma tabela que determina os seus valores.

O cadastro da obra, apresentamos quando acionamos o comando Obra, nesta janela cadastramos, o nome, local, área da construção, bem como o nome do responsável técnico pela mesma, o engenheiro.

Figura 7. Cadastro da Obra

Após o preenchimento dos dados acionamos o botão Gravar, automaticamente é criado um código para este registro, este código segue uma seqüência de ordem crescente, que será utilizado para possíveis futuras ocorrências.

4.2. O Cálculo de dimensionamento

Neste estágio o algoritmo irá calcular e dimensionar um pilar e dependendo da localização deste, fazer o mesmo para sua fundação. No botão calcular encontramos as duas opções, a figura 8 apresenta a janela do cálculo e dimensionamento do pilar.

Figura 8. Janela de dimensionamento do Pilar

Para o início do Cálculo é necessário digitar o nome da Obra a qual pertence o pilar, em seguida informamos o pavimento e o número do pilar, neste ínterim o programa verifica se esse pilar existe e fornece duas situações:

- Se o pilar não existir, é apresentado uma caixa de mensagens informando que este cálculo não foi cadastrado, como mostra figura abaixo:
- Se o pilar existir, é apresentado o cálculo já realizado anteriormente, com suas devidas entradas e saídas preenchidas. As entradas são de fundamental importância, é necessário que todas sejam preenchidas para a satisfação do cálculo.

4.2.1. Analisando os resultados

Preenchida todas as saídas e efetuado o dimensionamento, pressionando no botão calcular, é possível que após esta operação o programa recomende que o usuário aumente ou diminua a dimensão b, isto ocorre de acordo com o cálculo da densidade.

A densidade é a relação entre a Área de ferro e a Área de concreto, onde a norma NB – 1 fixa para as armaduras longitudinais o mínimo de 0,8% e o máximo de 6% da seção do pilar, podendo o limite mínimo atingir 0,5% quando λ menor ou igual a 30. Conforme apresentado na figura 9.

$$\rho = A_s / A_c$$

Se $0,8\% < \rho < 6\%$ o pilar está bem dimensionado.

Se $\rho < 0,8\%$ é recomendável diminuir a maior seção do pilar.

Se $\rho > 6\%$ é recomendável aumentar a seção do pilar.

Por norma A_s não pode ser inferior a $4 \theta 3/8''$ (A_{smin}).

Figura 9. Relação entre área de ferro e área de concreto

Portanto a existência desta condição desempenha é de fundamental importância para o método de cálculo proposto pelo algoritmo, pois dependendo do resultado obtido podemos trabalhar com estruturas economicamente inviáveis devido ao dimensionamento que resulte em uma quantidade excessiva de ferro, e quanto mais ferro

utilizamos na estrutura mais onerosa ela se tornará, contudo também não é possível abdicar ou desprezar o uso deste com o emprego excessivo de concreto. O código implementado no algoritmo que analisa estas prerrogativas é apresentado na figura 10.

```

//CALCULO DA DENSIDADE
    Try
        Edt_Densidade.Text :=
Format('%12.3f',[ViraFloat(Edt_Armadura.Text)/ViraFloat(Edt_AreaC.Text)]);
        if Flt_Esbeltez <= 30 then
            Flt_Densidade := 0.005
        else Flt_Densidade := 0.008;

        if ViraFloat(Edt_Densidade.Text) < Flt_Densidade then begin
            MessageDlg('Diminua dimensão "B"',mtinformation,[mbOk],0);
            Edt_DimensaoB.SetFocus;
        end
        else if ViraFloat(Edt_Densidade.Text) > 0.06 then begin
            MessageDlg('Aumente dimensão "B"',mtinformation,[mbOk],0);
            Edt_DimensaoB.SetFocus;
        end;
    except
    end;
//FIM CALCULO DA DENSIDADE

```

Figura 10. Relação entre Área de Ferro e Área de Concreto

Outra aplicação do algoritmo é a análise da área de concreto teoricamente necessária e a área de concreto, que pelo processo de cálculo, dependendo do valor das duas o cálculo da área de ferro tem duas variações fundamentais, logo a instrução para este processo de cálculo apresentamos na figura 11.

```

//CALCULO DE ARMADURA
    Try
        if ViraFloat(Edt_AreaCN.Text) > ViraFloat(Edt_AreaC.Text) then begin
            Edt_Armadura.Text := Format('%12.3f',(((ViraFloat(Edt_ND.Text)-
(0.85*(ViraFloat(Edt_AreaC.Text)*(ViraFloat(Edt_Fck.Text)/1.4))))/Array_Valor[CB_Aco.ItemIndex,1
])));
        end
        else begin
            Edt_Armadura.Text := Format('%12.3f',[0.008*ViraFloat(Edt_AreaCN.Text)]);
        end;
    except
        if Empty(CB_Aco.Text) then begin
            MessageDlg('Informe o aço!',mtinformation,[mbOk],0);
            CB_Aco.SetFocus;
        end;
        Exit;
    end;
//FIM CALCULO DE ARMADURA

```

Figura 11. Relação entre Área de Concreto Necessário e Área de Concreto

Notamos que existe uma instrução IF (condicional) para evitar o não preenchimento do campo Aço. A instrução IF é usada em quase todo o programa, principalmente no

cálculo e dimensionamento do pilar, a fim de evitar o não preenchimento dos campos bem como a utilização correta das fórmulas.

4.2.1 Fundação

O cálculo da fundação, assim como no processo manual de cálculo, depende das dimensões do pilar já cadastrado, através do menu Calcular e do comando Fundações, apresentados na figura 12.

The screenshot shows a software window titled 'FFUDACAO' with a menu bar containing 'Novo', 'Gravar', 'Cancelar', 'Excluir', 'Calcular', and 'Fechar'. The main area is divided into several sections:

- Nome da Obra:** 1 - MONOGRAFIA
- Pavimento:** 1
- Inputs for Pillar:**
 - Nº do Pilar: 1
 - Dimensão a: 20 cm
 - Dimensão b: 20 cm
 - Nome do Aço: CA 50B
 - Carga: 26951 Kgf/cm²
 - FCK: 180 Kgf/cm²
- Foundation Settings:**
 - Fundação: 1
 - Tipo: Sapata Flexível
 - Tensão Ter.: 2,000
- Results Table:**

Área	14149,275
Dimensão a	118,951 cm
Dimensão b	118,951 cm
My	1997,765 Kgf/cm ²
Mx	1997,765 Kgf/cm ²
Altura	31,000
Tensão sol.	5,966 Kgf/cm ²
Tensão adm.	9,583 Kgf/cm ²
ASy	2,824
ASx	2,824
Tensão med.	2,060
FCK Min.	61,800

Figura 12. Janela do cálculo e dimensionamento da fundação

Assim como no Pilar, é necessário o preenchimento dos campos Obra, Pavimento e Nº do Pilar, bem como o preenchimento do número da Fundação, o tipo da estrutura e a Tensão do terreno. Feito isso o usuário deverá pressionar o botão calcular.

A carga e o FCK que são importados do processo de cálculo do Pilar, foram deixados ativos para modificação, a fim de possibilitar ao usuário alterações nos valores dessas variáveis chegando desta forma em um cálculo mais conveniente para sua fundação, bem como considerar o peso próprio do pilar.

No cálculo da fundação, a instrução IF (condicional) também é utilizada em quase todo algoritmo, porém uma instrução já mencionada anteriormente, a instrução *while* se mostra bem evidente e de fundamental importância neste cálculo.

```
While ViraFloat(Edt_TensaoSol.Text) > ViraFloat(Edt_TensaoAdm.Text) do begin  
Edt_Altura.Text := Format('%12.3f',[ViraFloat(Edt_Altura.Text)+1]);
```

Figura 13. Código que compara Tensão Solicitante com Admissível

Na figura 13 encontramos que *Edt_TensaoSol.Text* é a caixa de texto que armazena o valor da Tensão Solicitante, *Edt_TensaoAdm.Text* é a caixa de texto que armazena o

valor da Tensão Admissível e *Edt_Altura.Text* é a caixa de texto que armazena o valor da altura.

O que acontece é que enquanto (*while*) a tensão solicitante for maior que a tensão admissível, a altura será acrescentada de uma unidade até satisfazer a relação. Com isso encontramos a melhor altura possível para a fundação, tornando o custo mais acessível, já que economiza tanto a quantidade de ferro quanto a de concreto.

6. Resultados

Trabalhamos no intuito de repetir os processos de cálculo modificando os dados de entradas para que o algoritmo apresentasse a saída pelo método mais econômico, considerando as mesmas cargas, locações, disposições dos elementos estruturais e método aplicado. Portanto, a comparação se limita ao consumo de aço e de concreto, onde se observou que em alguns pilares o consumo de aço e de concreto foi menor utilizando o algoritmo, em comparação a cálculos realizados manualmente. Portanto, concluímos que o algoritmo apresenta um método satisfatório de cálculo que torna o custo das estruturas economicamente viável.

7. Referências

ROCHA, Aderson Moreira da, Curso prático de concreto armado v. I 25 ed. – São Paulo, Editora Nobel, 1986

ROCHA, Aderson Moreira da, Curso prático de concreto armado v. II 25 ed. – São Paulo, Editora Nobel, 1986

CANTÚ, Marco, Dominando o Delphi – São Paulo, Editora Makron Books do Braisl, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro, 2003

NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimentos, Rio de Janeiro, 1980.

NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, Rio de Janeiro, 2003.

NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificações, Rio de Janeiro, 1996.

<http://www.elo.com.br/~fingryd> – algoritmo de cálculo estrutural