



**FAPAC – FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA.
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ARTHUR GONÇALVES FERREIRA PARTATA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE RADIER POR ELEMENTOS FINITOS**

**PORTO NACIONAL - TO
2018**

ARTHUR GONÇALVES FERREIRA PARTATA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE RADIER POR ELEMENTOS FINITOS**

Projeto de pesquisa submetida ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos

**PORTO NACIONAL - TO
2018**

ARTHUR GONÇALVES FERREIRA PARTATA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA O
DIMENSIONAMENTO DE RADIER POR ELEMENTOS FINITOS**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Apresentado e defendido em ____/____/____ () APROVADO () REPROVADO

Banca examinadora constituída pelos professores:

Orientador: Professor Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos

Professor Me. Mauro Alexandre Paula de Sousa

Professor Me. Flavio Vieira da Silva Junior

PORTO NACIONAL - TO

2018

RESUMO

A fundação em radier ganhou destaque devido à sua praticidade como aplicação em sistemas de fundações nos programas de habitação social. Nestes tipos de empreendimento o quesito econômico é levado em consideração e, é por conta disso que esses sistemas de fundações geralmente torna-se a primeira escolha. Os raders encontra-se classificados dentro das fundações superficiais ou rasas, que transmitem cargas ao terreno devido as pressões distribuídas sob a base da fundação. O radier é um tipo de fundação rasa que funciona como uma laje (podendo ser de concreto armado ou protendido) e recebe todos os esforços advindos da estrutura como os carregamentos provenientes dos pilares ou paredes portantes. Apesar da grande versatilidade o dimensionamento de raders ainda está atrelado a uma serie de simplificações, visando tornar o dimensionamento mais eficaz, este trabalho pretende fazer o desenvolvimento de software atrelado ao *MS Excel* para dimensionamento de fundação radier por elementos finitos através do *visual Basic for Application VBA*. Este método consiste em um método número capaz de analisar vários fenômenos físicos, descritos em equações diferenciais parciais, o modelo estrutural será montado através de uma matriz de rigidez que analisara cada elemento finito, determinando assim todos os valores de deformações, tensões e recalques submetidos pelas cargas transmitidas pela estrutura. Através deste método o usuário poderá controlar os limites de tensões que o radier pode transmitir ao solo e também determinara a magnitude dos recalques total e diferencial. Como o controle do recalque é possível evitar as distorções angulares que causam patologias como trincas de fissuras na edificação. O programa criado será responsável por todo o dimensionamento e detalhamento do elemento estrutural. Por fim exportar todas as análises em forma de relatórios técnicos e também plantas de forma e de detalhamento de armadura, que poderão ser finalizadas no AutoCad.

Palavras Chave: VBA. Radier. Elementos finitos. *MS Excel*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) fundação superficial e (b) profunda.....	11
Figura 2 – Fundações superficiais ou rasas.....	12
Figura 3 – Tipos de radiers: (a) lisos; (b) com pedestais; (c) nervurados; (d) em caixão	14
Figura 4 – Formato de elementos finitos	15
Figura 5 – Malha de elementos finitos de $\frac{1}{4}$ de um bloco sobre estacas. (a) bloco imerso no domínio de solo; (b) corte transversal que passa por uma linha de estacas; (c) bloco sobre estacas	16
Figura 7 – Graus de liberdade do elemento B8.....	17
Figura 8 - Um diagrama de corpo livre de um sistema de molas Erro! Indicador não definido.	
Figura 9 - Esquema de cálculo para área de influência dos pilares	20
Figura 10 – Modelos para análise de radier pelo MEF: (a) Elementos de placa sobre solo elástico e (b) Elementos de placa sobre elementos sólidos	21
Figura 11 – Deslocamento de uma estrutura	24
Figura 12 – Distorções angulares e seus efeitos.....	25
Figura 13 - Rotinas de programação	27
Figura 14 - Interface de inserção de dados.....	28
Figura 15 - Exemplo de arquivo de dados.....	29
Figura 16 - Exemplo de arquivo de cargas.....	30
Figura 17 - Placa de radier discretizada.....	30
Figura 18 – Perímetros críticos	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3 REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 DEFINIÇÃO E TIPOS DE FUNDAÇÕES	11
3.1.1 Fundação tipo radier	13
3.2 METODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)	15
3.2.1 Elemento finito retangular solido (B8)	17
3.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	19
3.3.1 Método estático.....	19
3.3.1.1 Radier rígido	19
3.3.1.1.1 Cálculo com variação linear de pressões	20
3.3.1.1.2 Cálculo pela área de influência dos pilares	20
3.3.2 Método dos elementos finitos	21
3.4 TENSÃO ADMISSIVEL DO SOLO	22
3.4.1 Métodos semi-empíricos.....	22
3.4.1.1 Formulações baseadas no ensaio SPT	22
3.5 RECALQUE ADMISSIVEL EM FUNDAÇÕES RASAS.....	23
3.6 VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA)	26
4 METODOLOGIA	28
5 ORÇAMENTO.....	33
6 CRONOGRAMA	34
7 RESULTADOS ESPERADOS	35
REFERÊNCIAIS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Com a criação de programas sociais que incentivam pessoas de baixa renda a conseguirem a casa própria, em que esses tipos de programas fazem financiamento de moradias em conjuntos habitacionais que consistem em casas de um pavimento ou em prédios de múltiplos pavimentos.

Por se tratar de sistemas construtivos que consistem em atividades bastante repetitivas a escolha das técnicas construtivas tornam-se um dos fatores primordiais para o início da obra. Por exemplo, o emprego de paredes portantes em substituição das estruturas convencionais em que o carregamento é repassado para as fundações de forma distribuído, portanto justifica-se o emprego de fundações diretas do tipo corrida ou radier.

O tipo de fundação está atrelado ao processo de investigação geotécnica com o qual será definido se o uso de fundações diretas é viável ou não. Ao considerar o projeto arquitetônico o uso de radier torna-se mais interessante visto que dá liberdade para construção de vários layouts.

Existem várias metodologias de dimensionamento de radier, entretanto essas metodologias são baseadas em simplificações como alinhamentos de carregamentos para que o dimensionamento seja feito como vigas. Tais simplificações foram idealizadas para que os cálculos pudessem ser mais rápidos e menos complexos.

Com o advindo dos computadores o dimensionamento tornou-se mais fácil, entretanto os programas utilizados para este tipo de análise ainda não apresentam resultados que auxiliem o desenvolvimento de projetos de forma mais direta, visto que nessa análise são fornecidos apenas resultados como deslocamentos e tensões.

Sabe-se que os resultados obtidos com os principais programas computacionais da atualidade empregam análise numérica de estruturas por meio de modelagem matemáticas em elementos finitos. O método dos elementos finitos trata-se de uma técnica que permite a análise de carregamentos de diversas naturezas e magnitudes, desde que a modelagem do caso seja feita de forma correta.

Com o intuito de que se tenha uma ferramenta capaz de elaborar um projeto completo, esta pesquisa tem como objetivo a criação de um programa computacional que seja específico para fundação radier, onde serão feitos os cálculos das tensões e

dos deslocamentos da placa, como também dimensionamento e detalhamento das armaduras e formas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a criação de um programa computacional em linguagem VBA (Visual Basic for Applications) para o dimensionamento de fundação direta do tipo radier pelo método dos elementos finitos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criação de rotinas computacionais com aplicação do MEF
- Criação de interface amigável ao usuário do programa
- Comparar os resultados obtidos com outro programa para validação dos resultados
- Gerar a malha de elementos finitos
- Gerar dados para a plotagem dos resultados em programas externos (Tecplot).

3 REVISAO BIBLIOGRÁFICA

Na construção civil há diferentes maneiras para se obter sucesso em um projeto, tanto no seu modelo estrutural como também financeiramente. Com isso o estudo sobre os projetos de fundações a ser executado torna-se primordial para que com este estudo possa decidir sobre um melhor tipo de fundação para cada projeto específico.

Muitos problemas envolvendo o uso do radier na construção civil brasileira poderiam ser evitados, caso houvesse uma norma destinada ao radier, o que auxiliaria os projetistas a evitarem erros em fases de projeto e do processo executivo da estrutura (ALMEIDA, 2001).

Sobre a utilização de radier no Brasil pode-se citar algumas inverdades, como por exemplo que o sistema construtivo utilizado por vigas baldrame e estacas seria uma solução mais econômica. A anos atrás poderia ser verdade por conta do concreto usinado não estar tão presente no mercado, atualmente o uso de radier está ligado a um projeto econômico e o mais importante que esse modelo estrutural oferece uma plataforma estável para o fim da construção (DORIA, 2007).

A escolha do elemento de fundação a ser utilizado na construção como suas devidas dimensões deve ser uma das decisões mais importantes a se tomar do projeto. Isto pode não acontecer quando outros fatores determinarem outra forma para que aconteça, contudo, várias maneiras devem ser estudadas, mesmo que o responsável pelo projeto possa limitar o número de soluções levando em conta inúmeras restrições (DORIA, 2007).

O uso de radier vem sendo amplamente difundido, como alternativas para sistemas construtivos, utilizado em construções de casas de programas sociais, como minha casa minha vida, que visa a maior economia para o projeto como um todo. O elemento também se torna usual em construções que são utilizados como estrutura a alvenaria estrutural de forma que as cargas atuantes são transmitidas de forma distribuída para a fundação.

3.1 DEFINIÇÃO E TIPOS DE FUNDAÇÕES

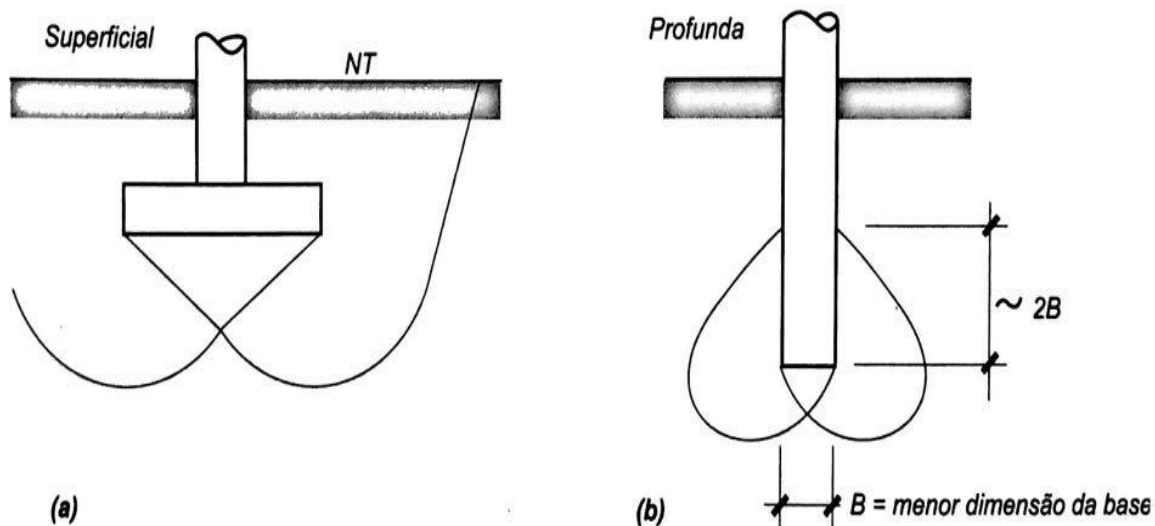
Segundo Azeredo (1997) a fundação é o elemento designado na engenharia, responsável por receber as cargas imposta pela estrutura e transmiti-la para o solo em que ela esteja assentada. É importante destacar que na estrutura de fundação não deve ocorrer recalque diferencial com certa grandeza, pois o mesmo pode fazer com que a estrutura sofra alguns danos (SANTANA, 2011).

As fundações são divididas em dois amplos grupos:

- Fundações diretas (rasas);
- Fundações profundas.

A diferenciação entre elas é feita segundo a análise que fundação profunda é aquela que o mecanismo de ruptura não atinja o topo do terreno, sendo que este mecanismo atinge duas vezes sua menor dimensão acima dela (Figura 1). Com isso a NBR 6122 (2010) define que fundações profundas são aquelas que estejam no mínimo a três metros de profundidade e que sua base esteja assentada a uma profundidade superior a duas vezes sua menor dimensão.

Figura 1 – (a) fundação superficial e (b) profunda



Fonte: Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

O grupo de fundações diretas existe seis tipos, sendo que um não é citado pela NBR 6122 (2010). De acordo com a Tabela 1.

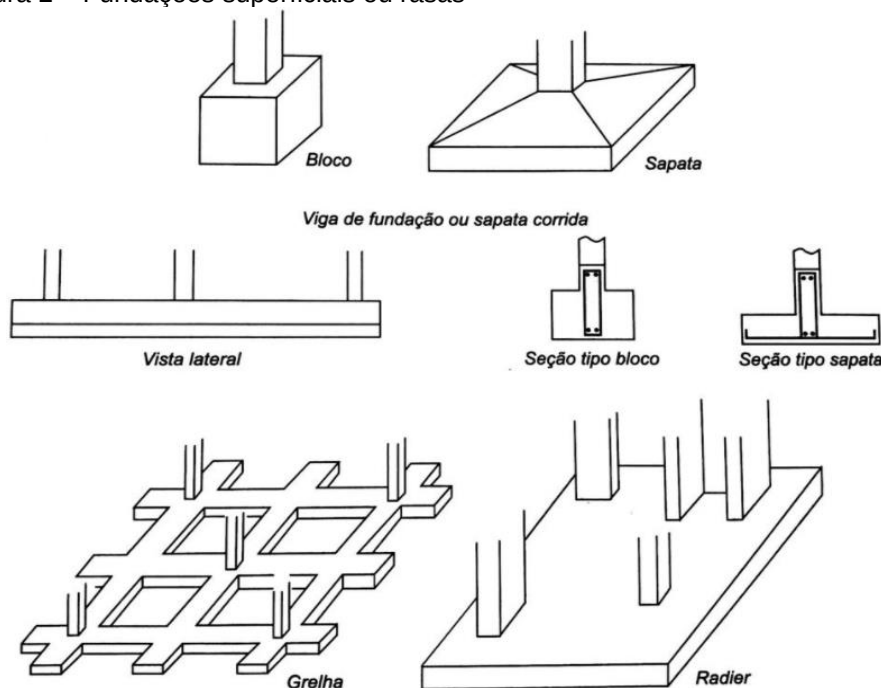
Tabela 1 – Tipos de fundações rasas

TIPOS	DEFINIÇÕES
Sapata	Fundação superficial construída com concreto armado, dimensionando as armaduras dispostas a resistir as tensões de tração.
Sapata Corrida	Elemento sujeito a um carregamento distribuído ao longo de um comprimento, ou por pilares que estejam alinhado entre eles.
Sapata Associada	Fundação responsável pelo recebimento de carga de mais de um pilar.
Bloco	Fundação de concreto simples, que devido a sua dimensão as tensões de tração nele submetidas são resistidas pelo próprio concreto.
Grelha	Tipo de fundação constituído por vigas que se cruzam passando pelos pilares (tipo este que não é citado na NBR 6122/2010).
Radier	Elemento de fundação responsável por receber e transmiti ao solo todos ou parte dos pilares de uma edificação.

Fonte: Adaptada da NBR 6122 (2010).

A Figura 2 demonstra os tipos de fundações diretas.

Figura 2 – Fundações superficiais ou rasas



Fonte: Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

3.1.1 Fundação tipo radier

O foco desse trabalho será o dimensionamento de radier que segundo a norma brasileira de fundações NBR 6122 (2010), define como elemento de fundações superficiais que recebe todos os pilares de uma edificação (radier geral) ou quando receber apenas parte desses pilares (radier parcial). Ambos os casos podem ser tratados da mesma maneira, tendo em vista que os dois possuem a mesma função, transmitir as cargas da estrutura para o solo.

De acordo com Amercian Concrete Institute (ACI) 360R-92 (1997), radier classificado como uma laje em que é suportada pelo solo, com sua carga de projeto igual ou inferior a 50% da carga admissível do solo.

Velloso e Lopes (2010) dizem que quando o projeto de fundações superficiais do tipo sapata isolada tiverem área total superior que a metade da área construída, o uso deste tipo de fundação torna-se inviável e que os elementos de fundação devem ser dimensionados em placa única, isto é, radier.

Para que a edificação seja construída com sucesso, tanto estruturalmente quanto financeiramente, a melhor forma é a análise de viabilidade econômica para os tipos de fundações, portanto decidir qual o tipo possa ser mais viável para cada obra. Com isso a expressão que diz que uso de radier sempre que área da sapata seja superior a 50% da área construída possa ser falha.

Segundo Doria (2007) a utilização do radier pode ser enquadrada de acordo com os seguintes aspectos:

- Baixa capacidade de carga do solo;
- Uniformização dos recalques;
- Áreas das sapatas forem próximas umas às outras.

Gupta (1997) acrescenta ainda que:

- Devido à baixa capacidade de carga do solo, o mesmo deve ser removido, fazendo com que o peso da estrutura seja usado para que haja o equilíbrio da parte do solo removido;
- O tipo de estrutura a ser construída ou equipamentos sejam sensíveis a recalque diferenciais;

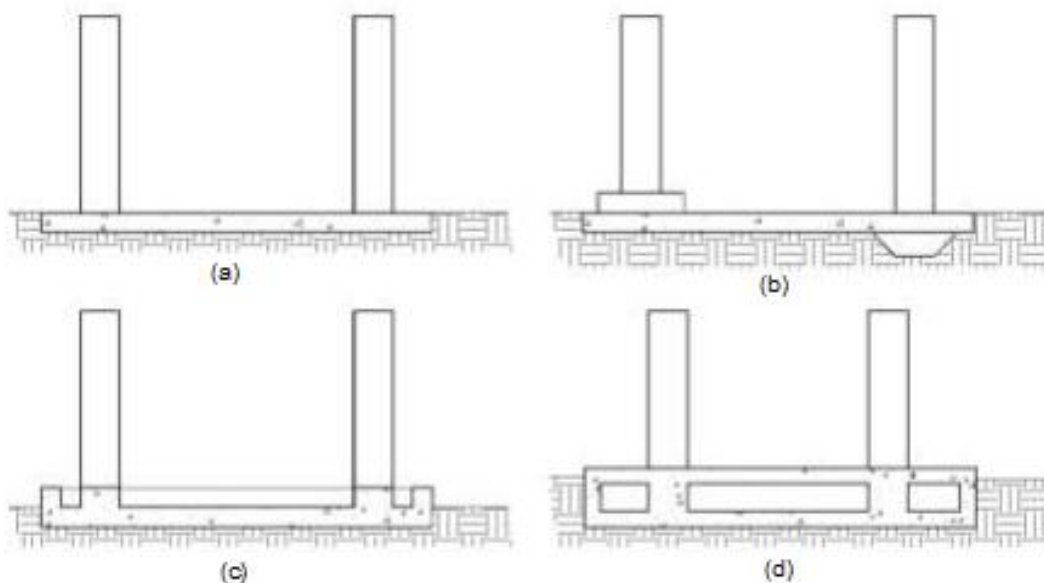
A fundação do tipo radier pode ser resistida pelas cargas dos pilares em situações que o nível da água do lençol freático esteja próximo a superfície, com isso acaba se tornando inviável o uso de outro tipo de fundação, sendo o radier o modelo mais viável para esse caso.

Outro caso pode acontecer quando o topo do solo seja propenso a elevados recalques. As tensões de contato adentram no solo para grandes profundidades ou possui grande veemência na superfície, onde esses dois fatores podem causar um acréscimo no recalque (DORIA, 2007).

Velloso e Lopes (2010) classificam quatro tipos de radier (Figura 3) de acordo com seu formato, sendo esses os principais:

- Liso;
- Com pedestais;
- Nervurado;
- Em caixão.

Figura 3 – Tipos de radiers: (a) lisos; (b) com pedestais; (c) nervurados; (d) em caixão



Fonte: Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

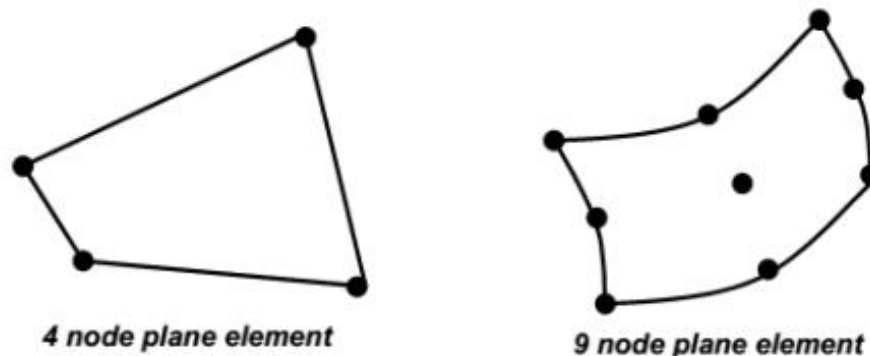
O dimensionamento de radier pode ser analisado de duas maneiras, por meio de análise computacional com a utilização de software, ou de acordo com procedimento recomendado pela norma (VILELA, 2016).

3.2 METODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

O MEF consiste em um método numérico aproximado para análise de diversos fenômenos físicos que ocorrem em meios contínuos, podendo ser descritos através de equações diferenciais parciais de acordo com determinadas condições de contorno (Problemas de Valor de Contorno), e com condições iniciais (para problemas variáveis no tempo). O MEF é bastante genérico, e pode ser aplicado na solução de inúmeros problemas da engenharia (SOUZA, 2005).

Vários tipos de elementos finitos já foram desenvolvidos. Estes apresentam formas geométricas diversificadas, por exemplo, triangular, quadrilateral, cúbico, entre outros (Figura 4).

Figura 4 – Formato de elementos finitos

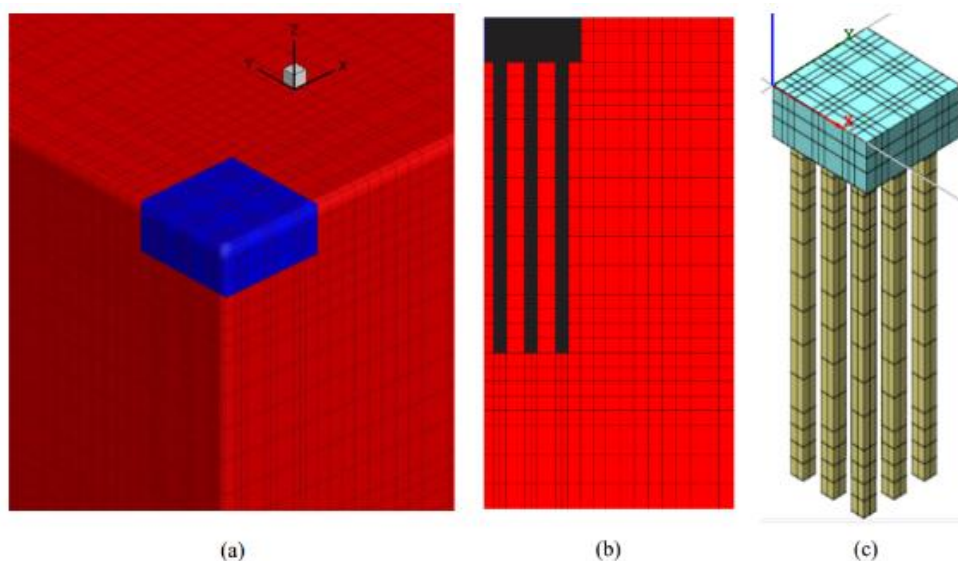


Fonte: Adaptada de Clough e Wilson (1999).

Um elemento finito pode ser descrito como uma pequena parte da estrutura, a palavra finito refere-se a uma parte infinitesimal da estrutura como um todo. Cada elemento finito apresenta um campo de deslocamento nodal que pode ser definido ou aproximado por equações polinomiais de grau maior que um (COOK, 2002).

Os elementos são conectados nós a nós e o agrupamento de vários elementos finitos é denominado de malha. A malha de elementos finitos é responsável por discretizar a estrutura. Como descrito na Figura 5.

Figura 5 – Malha de elementos finitos de $\frac{1}{4}$ de um bloco sobre estacas. (a) bloco imerso no domínio de solo; (b) corte transversal que passa por uma linha de estacas; (c) bloco sobre estacas



Fonte: Sousa (2014).

A precisão do método depende da quantidade de elementos e consequentemente do número de nós, do tamanho e do tipo dos elementos presentes na malha. Um dos aspectos mais importantes do MEF diz respeito a sua convergência. Pode-se demonstrar que em uma malha refinada pode levar a solução exata do problema mesmo sabendo que se trata de um método aproximado, isto é, a medida que o tamanho dos elementos finitos tende a zero, e consequentemente, a quantidade de nós tende ao infinito, logo a solução obtida converge para a solução exata do problema (SOUSA, 2014).

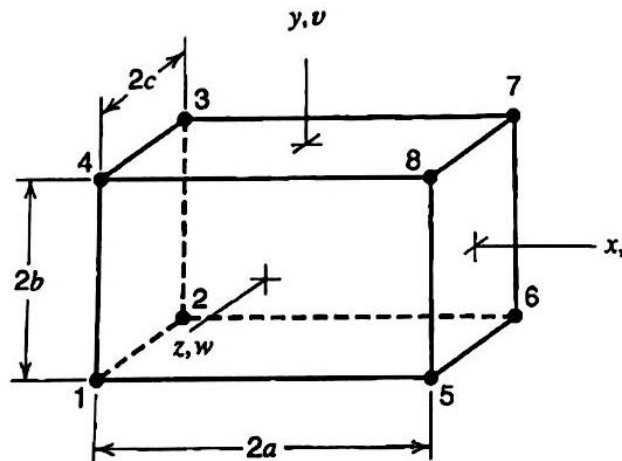
Quanto menor for o tamanho e maior for o número de elementos em uma determinada malha mais precisos serão os resultados da análise, entretanto cabe lembrar que o tempo de processamento de casos com malhas muito refinada pode ser oneroso. Por este motivo tende-se a refinar a malha em certas regiões (geralmente próximo aos carregamentos) e deixá-la mais grosseiras em outras (SOUSA, 2014).

Devido ao desenvolvimento da tecnologia de computadores, bem como métodos computacionais, os problemas de elementos finitos tridimensionais, que são os mais complexos, podem ser analisados em computadores pessoais como notebooks e desktops. Além disso, existem vários programas de elementos finitos disponíveis para a análise de problemas complicados que envolvam a interação solo-estrutura (VÁSQUEZ; WANG; ISENHOWER, 2006).

3.2.1 Elemento finito retangular solido (B8)

Elementos sólidos retangulares, são extensões diretas de elementos planos retangulares. A Figura 6 demonstra o elemento solido de oito nos, onde o descolamento x e descrito pelo campo de deslocamento polinomial.

Figura 6 – Graus de liberdade do elemento B8



Fonte: Cook (2002).

Esse campo de deslocamento está descrito através da equação polinomial (Eq. 1).

$$u = a_1 + a_2x + a_3y + a_4z + a_5xy + a_6yz + a_7zx + a_8xyz \quad \text{Eq. 1}$$

Expressões similares são usadas para deslocamentos v e w , para um total de 24 pontos no elemento. Em termos de funções de forma, o campo de deslocamento do elemento é descrito pela Eq. 2.

$$\{\mathbf{u}\} = [\mathbf{N}]\{\mathbf{d}\} \quad \text{Eq. 2}$$

A partir da Eq. 2 que as funções de forma individuais N tomam forma, de acordo com a Eq 3.

$$\frac{(a \mp x)(b \mp y)(c \mp z)}{8abc} \quad \text{Eq. 3}$$

A matriz que relaciona os campos de deslocamentos u e v com as deformações longitudinais e transversais do elemento finito. Conforme Eq. 4.

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & \dots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ \vdots \\ u_8 \\ v_8 \\ w_8 \end{Bmatrix} \quad \text{Eq. 4}$$

A Eq. 4 pode ser escrita de forma reduzida de acordo com a equação 5.

$$\{\varepsilon\} = [B]\{d\} \quad \text{Eq. 5}$$

B é definido como a matriz que relaciona os campos de deslocamentos u e v com as deformações longitudinais e transversais do elemento finito. Conforme Eq.6.

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & 0 & N_2 & 0 & 0 & N_3 & \dots \end{bmatrix} \quad \text{Eq.6}$$

A matriz constitutiva do elemento é definida pela Eq. 6. Esta equação relaciona a influência do material na análise, que são expressas pelo módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν). Conforme descrito na Eq. 7.

$$[E] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-2\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 7}$$

Tendo as equações define-se que a matriz de rigidez do elemento B8 é dado pela Eq. 8.

$$[k] = \int_{-c}^c \int_{-b}^b \int_{-a}^a [B]^T [E] [B] dx dy dz \quad \text{Eq.8}$$

3.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

No projeto de fundação radier o ideal é fazer com que a resultante das cargas vinda da estrutura passe o mais próximo possível do centro de gravidade do elemento, para que possa combater o recalque excessivo. Tendo em vista que a distribuição de tensões no solo quando uniforme diminui a incidência de recalques diferenciais excessivos que ocasionam inclinações na estrutura (MONTTOYA, 1987).

Montoya (1987) ressalta que em qualquer ocasião a resultante deve estar dentro do permitido da zona de segurança do radier, em situações que essa condição não for atendida, deverá haver um estudo sobre as distribuições das tensões sobre o radier, avaliando assim os recalques e determinando as inclinações que ocorrerá na edificação. Em todo caso o recalque máximo do radier não deve ultrapassar 5 centímetros caso esteja apoiado em solo arenoso ou 7,5 centímetros se apoiado em solo argiloso.

Há várias maneiras para se fazer o dimensionamento da fundação em radier, podem ser de acordo com o problema em questão por forma de tratamento matemático, ou de acordo com parâmetro de rigidez. Porém o mais importante a ser analisado são os conceitos para cada tipo de elemento (VELLOSO e LOPES, 2010).

3.3.1 Método estático

3.3.1.1 Radier rígido

A distribuição da pressão varia linearmente sob o radier é denominado modelo de cálculo com variação linear de pressões. Quando essas distribuições são uniformes o cálculo é de acordo com a área de influência dos pilares. Métodos esses que são indicados para o dimensionamento dos esforços internos na fundação, em que leva em consideração o equilíbrio da reação e das forças atuantes, contudo não é possível avaliar a distribuição dos recalques (DORIA, 2007).

3.3.1.1.1 Cálculo com variação linear de pressões

As pressões de contato nesse cálculo são determinadas de acordo com a resultante das cargas da estrutura. Método é utilizado em elementos que apresentam rigidez elevada, como em casos de radier em caixão e nervurados (DÓRIA, 2007).

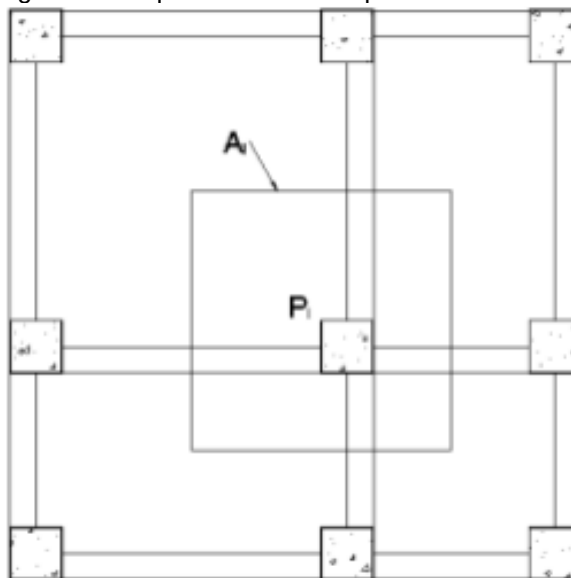
3.3.1.1.2 Cálculo pela área de influência dos pilares

O cálculo pela área de influência em a distribuição das pressões são uniformes, se dá através do cálculo do momento e força cortante, contudo ambos são determinados de acordo com a pressão média, porém não se tem certeza quanto a variação, com isso é considerado uma boa pratica construtiva, o uso de armadura tanto da face superior quanto inferior, que pela sua simplicidade o método vem sendo cada vez mais usado. Há também suas limitações, em que neste método o recalque não é levado em consideração, e, caso ocorra, terá uma redistribuição das pressões fazendo com que ocorra solicitações não calculadas, tanto na superestrutura e também na fundação (VILELA, 2016).

O método é aplicado em radier com rigidez de media a baixa, de acordo com seguinte método:

- Determinação da área de influência dos pilares (Figura 7).

Figura 7 - Esquema de cálculo para área de influência dos pilares



Fonte: Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

- Cálculo da pressão média nessa área (Eq. 20).

$$q_i = \frac{Q_i}{A_i} \quad \text{Eq. 20}$$

onde

Q_i = força no pilar i ;

A_i = área de influência do pilar i .

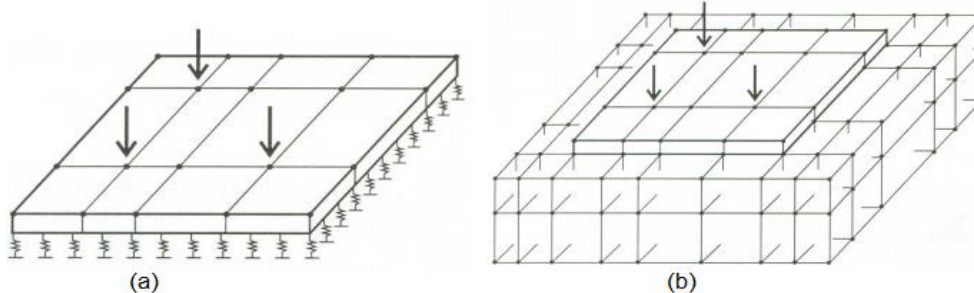
- Determinar a pressão média que está atuando nos painéis.
- Calcular como em uma laje, os esforços nas vigas e lajes e as reações nos pilares, e caso estas reações forem diferentes das cargas, deve-se redefinir as pressões nos painéis.

3.3.2 Método dos elementos finitos

Este método consiste no emprego de funções aproximadas para representar o campo de deslocamentos em cada elemento. A continuidade do meio é garantida impondo-se condições de compatibilidade de deslocamentos e rotações nos nós dos elementos adjacentes (VELLOSO e LOPES, 2010)

O radier é discretizado em elementos de placa sobre apoios elásticos que representam a rigidez do solo (Figura 8a). Uma outra estratégia de modelagem do sistema, mais complexa, consiste em representar o radier por elementos de placa e representar o solo por elementos sólidos (Figura 8b). Neste modelo pode-se levar em conta a heterogeneidade do solo.

Figura 8 – Modelos para análise de radier pelo MEF: (a) Elementos de placa sobre solo elástico e (b) Elementos de placa sobre elementos sólidos



Fonte: Adaptada de Velloso e Lopes (2010).

3.4 TENSÃO ADIMISSÍVEL DO SOLO

De acordo com a NBR 6122 (2010), dependendo das características do solo e do terreno em análise, pode haver a necessidade de dividir a área em regiões representativas de solo. Sendo assim, diferentemente de determinar as características como tensão admissível do solo como um todo, pode ser que existam diferentes valores de tensão admissível para cada região representativa.

Segundo Ribeiro (2017) para o cálculo da tensão admissível (σ_{adm}) de projeto, seja ela para a obra ou para as regiões representativas, deve aplicar o fator de segurança (FS), de acordo com o método utilizado, sobre a tensão média encontrada (σ_r), de acordo com a Eq. 23:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{F_S} \quad \text{Eq. 23}$$

Ribeiro (2017) destaca que é importante, logo após a determinação da tensão admissível, é necessário garantir que essa tensão não ocasionará recalques maiores do que o recalque admissível p_a . Caso essa afirmação não seja verdadeira, a tensão admissível deve ser aquela responsável por provocar o recalque admissível.

3.4.1 Métodos semi-empíricos

Segundo a NBR 6122 (2010), os métodos semi-empíricos permitem determinar o valor de capacidade de carga de uma fundação direta por meio dos valores do índice de resistência a penetração (N_{SPT}) do SPT ou da resistência de ponta (q_c) do CPT. Para o fator de segurança global na inexistência de prova de carga deve-se considerar o valor igual a 3,0.

3.4.1.1 Formulações baseadas no ensaio SPT

Segundo Schnaid (2000), o SPT é considerado o instrumento de investigação mais conhecido, usado e economicamente mais viável do mundo. Possibilitando o reconhecimento do aspecto de solos coesivos e de rochas brandas e também identificação da densidade de solos granulares. Porém cita-se os seguintes pontos que podem interferir na qualidade de resultado do ensaio SPT:

- a técnica de escavação, como o método de estabilização;
- equipamentos como martelo, hastes e o amostrador;
- procedimento de ensaio, como identificação dos efeitos no solo causados pela resistência à penetração.

No Brasil, segundo Cintra et al. (2011), para obter a tensão admissível do solo em fundações diretas e considerando um intervalo $5 \leq N_{SPT} \leq 20$, pode-se aplicar a Eq 24. Sendo o resultado final da formulação dado em MegaPascal.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} \quad \text{Eq. 24}$$

Há outras formulações para o cálculo da tensão admissível (σ_{adm}); uma delas é relacionada ao método da tensão admissível com o uso do ensaio SPT pelo cálculo do módulo de reação do subleito (solo) proposta por Morrison (1993). Neste método, deve-se obter a média dos valores de SPT com intervalo entre $5 \leq N_{SPT} \leq 20$, dentro do bulbo de tensões e a tensão admissível será dada pela Eq. 25:

$$\sigma_{adm} = 0,20 \cdot N_{SPT} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right) \quad \text{Eq. 25}$$

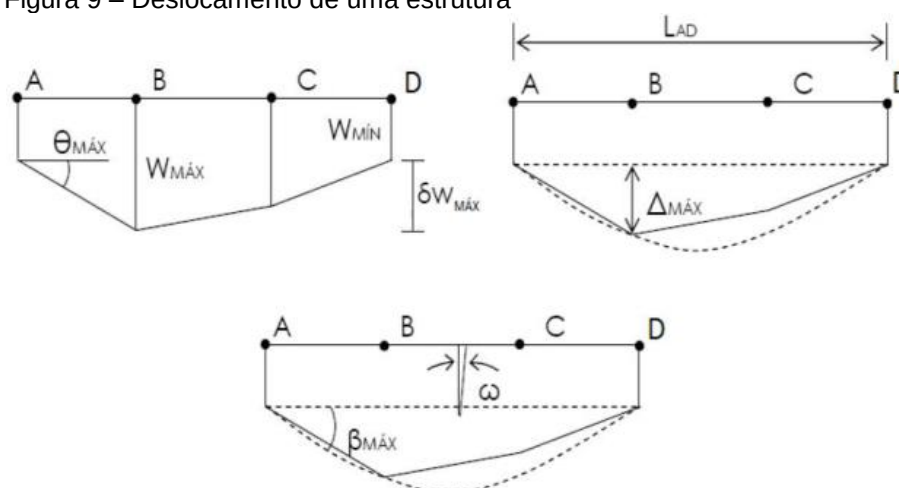
Esta equação apresenta resultados semelhantes a Eq. 24 e tem sido utilizada internacionalmente em diversos programas de análises estrutural para elementos de fundações, apresentando resultados confiáveis.

3.5 RECALQUE ADMISSIVEL EM FUNDAÇÕES RASAS

O recalque é o valor do deslocamento da fundação devido às cargas verticais existentes (Figura 9). Os recalques podem ser divididos em:

- total (S): representa o máximo deslocamento existente num certo ponto;
- diferencial (δ): diferença de recalques entre dois pontos quaisquer;
- recalque diferencial específico ou distorção angular (β): razão entre o recalque diferencial e a distância os dois pontos escolhidos;
- desaprumo(ω): recalque específico diferencial entre dois pontos extremos da fundação.

Figura 9 – Deslocamento de uma estrutura



Fonte: Adaptado da NBR 6122 (2010).

O maior deslocamento que a estrutura pode ter, atendendo as condições mínimas de segurança e trabalhabilidade, sem a ocorrência de danos, é denominado recalque máximo admissível. Cada tipo de solo reflete diferentes tipos de recalques, em que o recalque com velocidade menor seja característico do adensamento de solos argilosos saturados, já recalques rápidos característicos de solos arenosos (RIBEIRO, 2017).

Skempton e Macdonald's (1955) recomendam, a partir de suas observações, os seguintes valores de recalque admissível, sendo que os valores entre parênteses refletem os intervalos de recalques recomendados, como mostrado na Tabela 2:

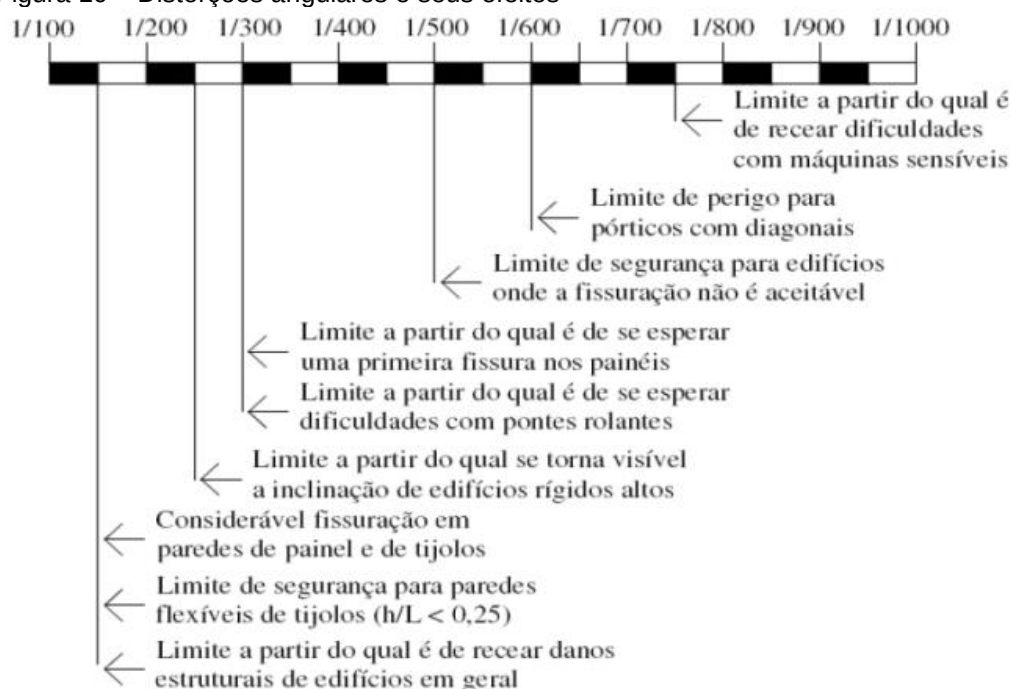
Tabela 2 – Recalque máximo admissível

TIPO DE RECALQUE	FUNDAÇÕES ISOLADAS		RADIERS
Distorção angular (β)		1/300	
Recalque diferencial máximo (δ)			
Argilas (mm)		45 - (35)	
Areias (mm)		35 - (25)	
Recalque total (S)			
Argilas (mm)	75 - (60)		75 a 125 (60 a 100)
Areias (mm)	50 - (35)		50 a 75 - (35 a 60)

Fonte: Skempton e Macdonald's (1955).

De acordo com Bjerrum (1963), é possível relacionar os danos observados com limites totais e diferenciais de areias e argilas, estabelecendo-se limites de distorção angular, como mostra a Figura 10:

Figura 10 – Distorções angulares e seus efeitos



Fonte: Bjerrum (1963).

De acordo com a Figura 10 percebe-se que o limite para obras prediais onde não se permite fissuramento, tem-se que $\beta = 1/500$, sendo mais cauteloso, e admitindo apenas início do fissuramento em alvenarias tem-se que $\beta = 1/300$, logo tem-se os seguintes recalques admissíveis, demonstrados na admissíveis. Tabela 3:

Tabela 3 – Recalques diferenciais admissíveis

TIPO DE SOLO	DISTORÇÃO ANGULAR	RECALQUE TOTAL (S)	RECALQUE DIFERENCIAL (δ) - mm	TIPO DE ESTRUTURA
Areia	1/500	25	25	-
Argila		25	30	Flexível
		25	50	Rígida
Areia	1/300	45	45	
Argila		45	65	Flexível
		45	100	Rígida

Fonte: Bjerrum (1963).

Burtland et al. (1977) consideram valores de recalque admissível em estruturas usuais conforme as considerações:

- para areias: $\delta = 25$ mm e $S = 40$ mm (sapatas isoladas), $S = 65$ mm (radier)

- para argilas $\delta = 40$ mm e $S = 65$ mm (sapatas isoladas), $S = 65$ mm a 100 mm (radier).

3.6 VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA)

Com o grande avanço da tecnologia da computação, os cálculos iterativos para fazer o dimensionamento de elementos estruturais passaram a ser automatizados.

Leon, Przasnyski e Seal (1996) ressaltam que as planilhas eletrônicas se tornaram amplamente importantes para que se possa modelar problemas gerenciais e realizar pesquisas operacionais. Ainda citam que o Excel tornou uma ferramenta essencial por conta do seu custo e facilidade para o usuário.

Muitos destes problemas podem ser feitos por meio de planilhas eletrônicas, como as do Microsoft Excel, que por meio de uma linguagem de programação permite ao usuário mais opções de controle e edição denominada VBA.

O VBA é uma ferramenta que veio do VB (Visual Basic) linguagem esta que tem por base a linguagem BASIC, que é uma linguagem de alto nível. VBA foi desenvolvido para estar presente em aplicações do Microsoft Office, como: Excel, PowerPoint, Word entre outras (DREUX e AZEVEDO, 2009).

O VBA é uma ferramenta que veio do VB (Visual Basic) linguagem esta que tem por base a linguagem BASIC, que é uma linguagem de alto nível. VBA foi desenvolvido para estar presente em aplicações do Microsoft Office, como: Excel, PowerPoint, Word entre outras (DREUX e AZEVEDO, 2009).

Macro são as rotinas de programação do VBA que segundo Microsoft (2017), é uma ação ou conjunto delas que podem ser executadas de acordo com a necessidade do usuário, quantas vezes necessitar. Exemplo de uma rotina de programação e demonstrada na Figura 11 .

Figura 11 - Rotinas de programação

```

If Vs / Vr2 <= 0.67 Then

    If 0.6 * d <= 30 Then
        smax = 0.6 * d
    Else
        smax = 30
    End If

ElseIf Vs / Vr2 > 0.67 Then

    If 0.6 * d <= 20 Then
        smax = 0.6 * d
    Else
        smax = 20
    End If

End If

If s > smax Then
    s = smax
Else
    s = WorksheetFunction.RoundDown(s, 0)
End If

'verificação para cargas maximas e minimas

Vrmax = (2 * Asw / ssl) * 0.9 * d * fyw + Vc
Vrmin = (2 * Asw / ssl) * 0.9 * d * fyw

Asmin = 2 * Asw / ssl

Cells(20, 7) = WorksheetFunction.RoundDown(s, 0)

```

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

Walkenbach (2013) cita ainda que macro é um pequeno programa também chamado de Rotina em que contém inúmeras instruções a ser realizados no Excel, rotinas essas que são classificadas como: Sub-rotina, Função ou Procedimento de evento. Essas funções têm função de facilitar as atividades que se tornam repetitivas ou um conjunto de tarefas mais complexas. A execução do programa pode ser composta por uma lista de vários comandos capaz de reproduzir todos os comandos programados simultaneamente.

Para os profissionais da engenharia é de grande importância o uso de planilhas eletrônicas, para organização e manipulação dos dados do projeto. A capacidade do engenheiro pode ser incentivada pela aplicação de conceitos e práticas que envolvam programação, capacidade está relacionada aos conhecimentos matemáticos. Com o uso de planilhas traz ao profissional certos conceitos e práticas que contribuem para a melhoria de competências a ele encarregadas.

4 METODOLOGIA

Para que possa atingir o objetivo principal do trabalho será realizado o desenvolvimento de um programa em elementos finitos capaz de dimensionar um elemento de fundação rasa do tipo radier.

O programa será desenvolvido com a ferramenta VBA (Visual Basics for Applications), através do VBE (Visual Basic Editor) que terá uma interface clara e objetiva para que facilite o uso ao usuário. A Figura 12 ilustra a interface preliminar do programa.

Figura 12 - Interface de inserção de dados

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

Na interface mostrada na Figura 12 serão fornecidas informações como a geometria construtiva da edificação, isto é, largura e comprimento; dentre as opções de carregamento pode-se escolher entre carregamentos concentrados ou distribuídos; os parâmetros de projeto são fornecidos através da inserção de dados característicos do solo como tensão admissível do solo, módulo de elasticidade do solo e limitação de recalque e por último os parâmetros estruturais como módulo de elasticidade do concreto, resistência característica do concreto e coeficiente de Poisson.

Completando os elementos que compõe a interfase inicial encontram-se dois campos de inserção de dados. Nestes campos serão inseridos arquivos de extensão .xls como mostrado na

Figura 13 e Figura 14. No primeiro arquivo de entrada de dados serão fornecidos a locação dos carregamentos em relação ao radier, é importante atentar que a forma como os dados são agrupados deve seguir o modelo descrito na

Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de arquivo de dados

	A	B	C	D	E	F
1	Nome do Carregamento	Coordenada X Inicial	Coordenada X Final	Coordenada Y Inicial	Coordenada Y Final	Tipos de Carregamento
2	Carga 1	1	1	1	10	Distribuido
3	Carga 2	1		3		Concentrado
4	Carga 3	3		3		Concentrado
5	Carga 4	5	10	5	5	Distribuido
6	Carga 5	7	14	7	7	Distribuido
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

Para o correto preenchimento do arquivo de entrada de dados (Figura 13) o usuário deve fornecer os dados da seguinte forma:

- Coluna A – Nome do Carregamento;
- Coluna B – Coordenada inicial do carregamento no eixo horizontal;
- Coluna C – Coordenada final do carregamento no eixo horizontal;
- Coluna D – Coordenada inicial do carregamento no eixo vertical;
- Coluna E – Coordenada final do carregamento no eixo vertical;
- Coluna F – Tipos de carregamento.

Na diferenciação entre os carregamentos concentrados e distribuídos o usuário deve fazer o preenchimento somente das coordenadas iniciais quando se referir a cargas concentradas como momentos e forças. Para carregamentos distribuídos é imprescindível que as coordenadas iniciais e finais sejam fornecidas.

No segundo arquivo o usuário deve fornecer a magnitude dos carregamentos, como o programa aceita carregamentos distribuído e concentrados os campos de preenchimento devem ser usados de forma que a identificação desses carregamentos seja feita de forma automática pelo programa. Ao inserir cargas do tipo concentradas os campos referentes ao carregamento distribuído devem permanecer vazio. Sendo o processo de preenchimento dos carregamentos distribuídos parecidos com o dos concentrados. Na Figura 14 é mostrado como as cargas são inseridas no programa.

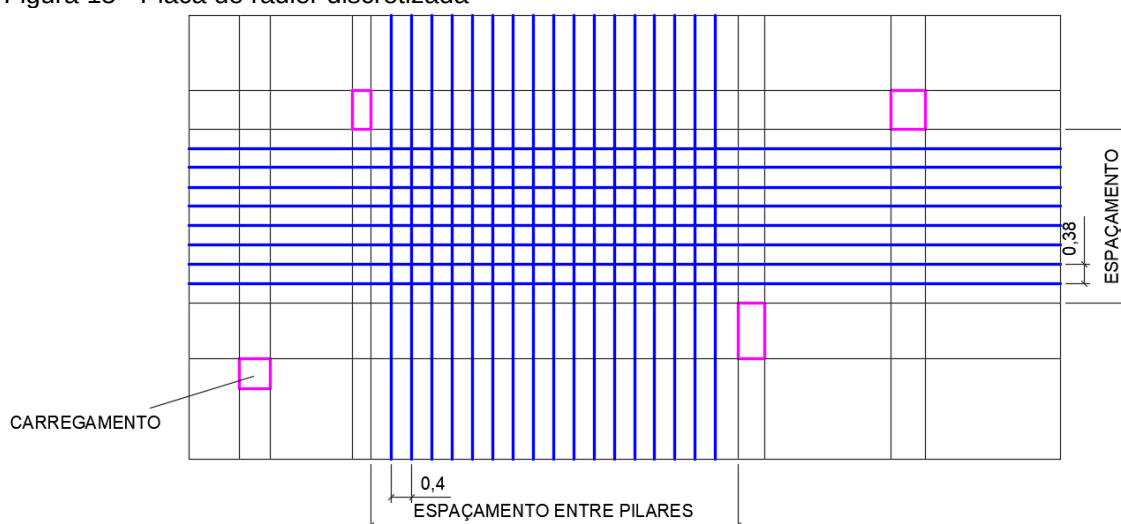
Figura 14 - Exemplo de arquivo de cargas.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nome do Carregamento	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Carga Distribuida Inicial	Carga Distribuida Final
2	Carga 1					50	50
3	Carga 2	30	60	65	45		
4	Carga 3	35	150	100	56		
5	Carga 4					30	0
6	Carga 5					30	80
7							
8							
9							
10							
11							

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

Ao acionar o botão calcular mostrado na interface descrita na Figura 12 a área do radier será determinada a partir das dimensões da edificação que serem fornecidas através dos dados geométricos, a área do radier será discretizada com espaçamento máximo já inserido no programa, pois uma malha mais refinada tem-se uma maior aproximação com a realidade. O espaçamento máximo entre pilares será de 40 cm, podendo este valor ser menor de acordo com as características geométricas ou se o usuário definir.

Figura 15 - Placa de radier discretizada



Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

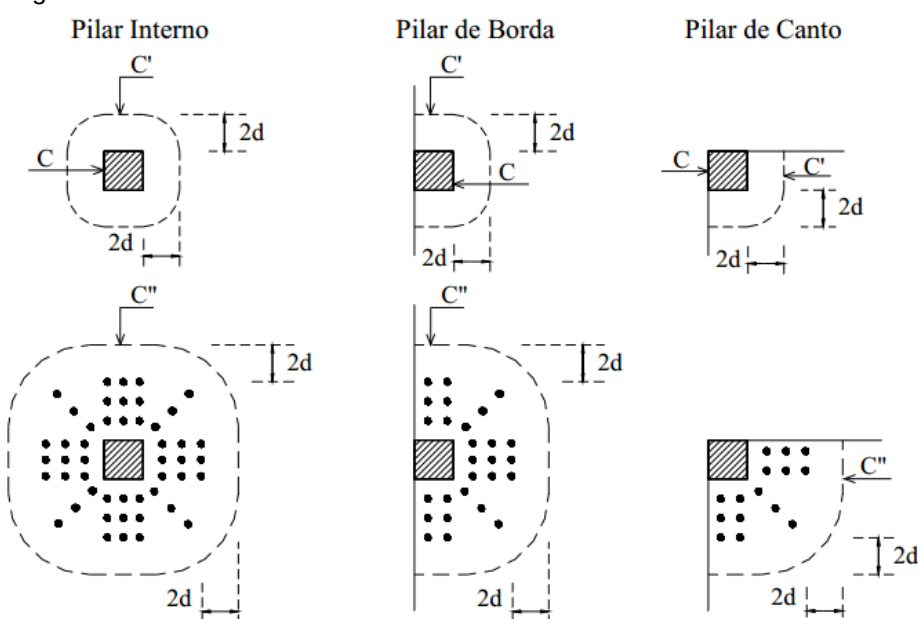
Após isso serão atribuídos dados de materiais a cada elemento finito. Esses dados são módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Logo após esse procedimento, será montada a matriz de rigidez global da estrutura. A matriz de rigidez global da estrutura é montada pelas somas das matrizes de rigidez de cada elemento.

Depois de ter a matriz de rigidez global da estrutura serão calculados as deformações, tensões e recalques impostos pelas cargas advindas da solicitação da estrutura. Após a determinação do vetor de deslocamento, responsável pelo cálculo do recalque serão feitas as determinações das distorções angulares e recalques diferenciais.

Por se tratar de uma placa flexível a verificação de puncionamento torna-se necessária. Caso a espessura da placa e o f_{ck} do concreto não sejam capazes de combater este efeito o uso de armaduras especiais serão adicionadas para combater o efeito de puncionamento.

A armadura que será adicionada serão pinos de aço posicionados perpendicularmente ao plano da placa. (Figura 16).

Figura 16 – Perímetros críticos



Fonte: Lima e Pinheiro (2007).

As análises serão feitas em todos os pontos do radier, que em um segundo momento será calculado o dimensionamento da armadura, caso todas as análises sejam satisfatórias.

Após feito todas as análises e com o elemento já dimensionado, o projeto será exportado para o AutoCad, onde estarão descritas as plantas de forma e o detalhamento das armaduras positiva e negativas.

O último passo do trabalho, será a análise de todos os dados obtidos para que se tenha a validação do programa, através de comparações de resultados já existentes, por meio do programa Sap2000 que é consolidado no mercado.

5 ORÇAMENTO

Descritivo de Recursos Materiais			
ITENS	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Notebook	1	R\$ 4.350,00	R\$ 4.350,00
HD Externo	1	R\$ 240,00	R\$ 240,00
Folha A4 500 folhas	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Impressão	3	R\$ 40	R\$ 120,00
Combustível	30	R\$ 4,20	R\$ 126,00
TOTAL			R\$ 4.861,00

6 CRONOGRAMA

Tabela 4 - Cronograma

CRONOGRAMA										
Atividades	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
1º Parte										
Escolha do Tema										
Elaboração do Projeto										
Rerencial Teórico										
Apresentação do Projeto										
2º Parte										
Programação										
Validação dos dados										
Formatação do programa										
Teste de aceitação										
Análise										
Elaboração										
Apresentação										

Etapas executadas

Etapas a serem executadas

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

7 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se por meio desta pesquisa desenvolver um programa de computador capaz de gerar relatórios e plantas ligados a projeto e execução de fundação radier. Com isso tentar introduzir o programa em universidades para que acadêmicos possam utilizar da ferramenta com auxílio de fundamentos teóricos, e introduzi-lo no mercado de trabalho, facilitando assim a execução das fundações radier na construção civil.

Espera-se também fazer a publicação dos resultados obtidos em congressos ou revista especializadas na área.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2010.
- ALMEIDA, L.C. **Laje Sobre Solo para Fundação de Residências**, Dissertação de Mestrado da UNICAMP/FEC, 2001.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **Design of slabs on grade** (ACI 360R-92), 1997.
- AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura - Prática da construção civil**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.
- Bjerrum, L. (1963). Interaction between structure and soil. In: European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Wiesbaden, 1963. **Proc. European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Wiesbaden: ECSMFE, p. 135–137.
- Burland, J.B., Broms, B.B. & De Mello, V.F.B. (1977). **Behaviour of foundations and structures**. In 9th ICSMFE, Proc. 9th ICSMFE, Tokyo, 2, p.495-546.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N. & Albiero, J.H.. **“Fundações Diretas: Projeto Geotécnico”**. São Paulo/SP: OFICINA DE TEXTOS, 2011. 140p.
- CLOUGH R. W.; WILSON E. L. Early finite element research at berkeley, **Fifth U.S. National Conference on Computational Mechanics**, p. 1 – 35, 1999.
- COOK, R. D.; MALKUS, D. S.; PLESHA, M. E.; WITT, R. J. **Concepts and applications of finite element analysis**. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2002, 719 p. ISBN: 0-471-35605-0.
- DÓRIA, L. E. S.; **Projeto de estrutura de fundação em concreto tipo radier**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.
- DREUX, M. A.; AZEVEDO, F. U. B. **Macros para Excel na prática**. Elsevier editora. 1ª Edição, 2009.
- GUPTA, S. C.; **Raft foundations design and analysis with a practical approach**. New Delhi, New Age International (P) Limited, Publishers, 1997.
- IGLESIA, S. M., **Fundação da construção e a interação solo estrutura em cada tipo**. <http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/fundacao-da-construcao-e-a-interacao-solo-estrutura-em-cada-tipo/> (acessado em 20/05/2018).
- LEON, L; PRZASNYSKI, Z.; SEAL, K. C. **Spreadsheets and OR/MS models: an enduser perspective**. Interfaces. P. 92-104, 1996.
- LIMA, J. S.; PINHEIRO, L. M.; **Métodos simplificados para a verificação de punção excêntrica**. Carderno de Engenharia de Estruturas. São Carlos, 2007.

MARON, A. G.; SANTOS, A. L.; BRASIL, H. M. P.; DEMARCO, L. M.; BENARROSH, P. F. P. M.; **Utilização da fundação radier na construção civil de casas**. LIVRE – Revista de livre acesso. Rondonia, 2016.

MELLO, V. F. B. **Deformações como base fundamental de escolha de fundação**. Geotecnia, SPG, nº 12, p. 55-75, 1975.

MONTOYA, P.J.; MESEGUER, A.G; CABRÉ, F.M. **Hormigón Armado**, 8ª Edición – Barcelona, 1987. Ed. Gustavo Gili, S. A.

MORRISON, Nelson. **Interacción suelo-estructuras: semi-espacio de winkler**. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1993.

RIBEIRO, C. M.. **Estudo numérico do comportamento tensão-deslocamento de fundação do tipo radier**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

SANTANA, Osvaldo Soares de. **Fundações rasas para residências populares**. 2011. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2011.

SCHNAID, F. **Ensaio de campos e suas aplicações à engenharia de fundações**. SP, São Paulo: Oficina de textos, 2000. p. 9-38.

SKEMPTON, A. W.; MACDONALD'S, D. H. **The Allowable Settlements of Buildings**. Institution of Civil Engineers ICE Proceedings..., Eng. Divisions (HPSW), Part III, v. 5, p. 727-768, dez. 1956.

SORIANO, Humberto Lima. **Elementos Finitos – Formulação e Aplicação na Estática e Dinâmica das Estruturas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

SOUSA, M. A. P.. **Análise do efeito do comportamento não linear dos solos em radier estaqueado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

SOUZA, R. M. **O método dos elementos finitos aplicado ao problema de condução de calor**. Belém, 2005. 40p.

VÁSQUEZ, L. G.; WANG, S. T., ISENHOWER, W. M. **Estimation of the Capacity of PileRaft foundations by Three-Dimensional Non-Linear Finite Element Analysis**. GeoCongress, p. 1 – 6, 2006

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R.; **Fundações: Critérios de Projeto – Investigação de subsolo – Fundações superficiais – Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

VILELA, I. P. S.. **Análise de radiers de concreto estrutural**. Disertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.

WALKENBACH J. **Programando Excel© VBA para leigos**. Rio de Janeiro, RJ: Alta books, 2 ed., p. 2 – 30. 2013.

ANEXOS

- Currículo lattes professor orientador Me. Douglas Augusto Freitas dos Santos.
- Currículo lattes acadêmico Arthur Gonçalves Ferreira Partata.