

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E ANÁLISE  
DE REDISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM  
PILARES DEVIDO A RECALQUES**

**ALEXANDRE PIMENTA RIBEIRO PONTES DE  
ALMEIDA  
DANIEL VIEIRA CARNEIRO DE MENDONÇA  
EDUARDO VIEIRA BRANDÃO**

GOIÂNIA  
2014

ALEXANDRE P. R. P. DE ALMEIDA

DANIEL V.C. DE MENDONÇA

EDUARDO V. BRANDÃO

**INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E ANÁLISE DE  
REDISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM PILARES  
DEVIDO A RECALQUES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Goiás para obtenção do título de  
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Martines Sales

GOIÂNIA  
2014

ALEXANDRE P. R. P. DE ALMEIDA

DANIEL V.C. DE MENDONÇA

EDUARDO V. BRANDÃO

INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E ANÁLISE DE REDISTRIBUIÇÃO DE CARGAS  
EM PILARES DEVIDO A RECALQUES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Martines Sales

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Prof. Dr. Maurício Martines Salles  
Universidade Federal de Goiás

---

Prof. Dr. Gilson de F. N. Gitirana Jr.  
Universidade Federal de Goiás

---

Prof. Dr. Renato Resende Angelim  
Universidade Federal de Goiás

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

---

Orientador

Em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo fazer uma análise do efeito estrutural gerado pelo recalque da fundação e também estudar a redistribuição de esforços em pilares ocasionada por este evento. Foi verificada a necessidade desta análise devido à atual condição da concepção dos projetos estruturais e de fundação onde não se consideraram a relação de interdependência existente entre estes elementos juntamente com o solo onde a carga é aplicada. Esta situação configura uma adoção de parâmetros irreais de distribuição de carga e conseqüentemente de aplicação de carga no solo e medição de recalques.

Para isto foi realizada a análise de um modelo estrutural real em execução na cidade de Goiânia com objetivo de obter, por meio de retroanálise, parâmetros para estudo dos efeitos gerados na estrutura pelos recalques de fundação medidos em obra. Para as análises propostas foi utilizado, como ferramenta auxiliar de cálculo, o software AltoQiEberick e desenvolvida uma planilha eletrônica no software Microsoft Excel, que por si só, fez a estimativa de recalques e interações entre sapatas, e em conjunto com o AltoQiEberick, fizeram a análise da interação solo-estrutura e da redistribuição de cargas nos pilares. Por fim foram discutidas perspectivas de reanálise estrutural baseada em recalques estimados e a funcionalidade dos fatores de segurança aplicados às fundações.

Os resultados deste trabalho mostram a importância da consideração da interação solo estrutura e seus efeitos nos elementos estruturais e de fundação. Foi verificada a migração de cargas entre os elementos estruturais e, por meio destes valores, analisados os padrões de migração de carregamento conforme a disposição geométrica dos elementos estruturais, carga aplicada e demais particularidades encontradas no projeto estrutural analisado.

**Palavras chave:** Fundação, Interação Solo-estrutura, Recalque.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1- Fundação Rasa - Sapata (VELLOSO; LOPES, 1998).....  | 18 |
| Figura 2.2 – Perfil do recalque elástico e pressão de contato na argila: (a) fundação flexível; (b) fundação rígida e na areia: (c) fundação flexível; (d) fundação rígida. (DAS, 2007) ..... | 22 |
| Figura 2.3 - Dimensões da carga retangular e ponto de análise (POULOS; DAVIS, 1974)....   | 24 |
| Figura 2.4 - Valores de K em função de m e n – modificada pelo autor (BOWLES, 1988)....   | 26 |
| Figura 2.5 - Recalque em um elemento fora da área de carregamento .....   | 27 |
| Figura 2.6 - Partes Constituintes de uma Edificação (GUSMÃO, 1994).....   | 28 |
| Figura 3.1 – Locação dos elementos de fundação .....  | 32 |
| Figura 3.2 – Disposição dos elementos utilizados para verificação da planilha .....   | 35 |
| Figura 3.3 – Sapata S15.....  | 37 |
| Figura 3.4 – S16 em S 15 .....  | 38 |
| Figura 3.5 – S22 em S 15 .....  | 39 |
| Figura 4.1 - Carga vertical inicial e final da torre antes e após as iterações.....   | 48 |
| Figura 4.2 - Valores de variações de cargas média para os pilares da torre.....   | 49 |
| Figura 4.3 - Valores de variações de cargas na fundação para os pilares P2 da torre .....   | 50 |
| Figura 4.4 - Variação de esforços média para os pilares P10 e P15.....  | 51 |
| Figura 4.5 – Mapa de cortes na torre .....  | 52 |
| Figura 4.6 - Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte A-A .....   | 53 |

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.7 – Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte A-A .....          | 53 |
| Figura 4.8 - Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte A-A .....    | 53 |
| Figura 4.9 – Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte A-A .....          | 53 |
| Figura 4.10 - Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte A-A .....   | 53 |
| Figura 4.11 – Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte A-A .....         | 53 |
| Figura 4.12 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte A - A ..... | 54 |
| Figura 4.13 – Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte A-A .....         | 54 |
| Figura 4.14 - Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte B-B.....    | 54 |
| Figura 4.15 – Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte B-B.....          | 54 |
| Figura 4.16 - Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte B-B.....    | 54 |
| Figura 4.17 – Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte B-B.....          | 54 |
| Figura 4.18 - Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte B-B.....    | 55 |
| Figura 4.19 – Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte B-B.....          | 55 |
| Figura 4.20 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte B-B.....    | 55 |
| Figura 4.21 – Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte B-B.....          | 55 |
| Figura 4.22 - Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte C-C.....    | 55 |
| Figura 4.23 – Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte C-C.....          | 55 |
| Figura 4.24 - Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte C-C.....    | 56 |
| Figura 4.25 – Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte C-C.....          | 56 |
| Figura 4.26 - Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte C-C.....    | 56 |
| Figura 4.27 – Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte C-C.....          | 56 |

---

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.28 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte C-C.....  | 56 |
| Figura 4.29 - Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte C-C .....       | 56 |
| Figura 4.30 - Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte D-D ..... | 57 |
| Figura 4.31 – Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte D-D .....       | 57 |
| Figura 4.32 - Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte D-D ..... | 57 |
| Figura 4.33 – Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte D-D .....       | 57 |
| Figura 4.34 - Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte D-D ..... | 57 |
| Figura 4.35 – Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte D-D .....       | 57 |
| Figura 4.36 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte D-D ..... | 58 |
| Figura 4.37 – Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte D-D .....       | 58 |
| Figura 4.38 – Zoneamento de alívio e acréscimo de carga .....      | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 - Fatores de segurança globais mínimos segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) .....          | 19 |
| Tabela 2.2 - – Efeitos da Interação Solo-Estrutura em Edifícios (GUSMÃO; FILHO; MAIA, 2000)..... | 29 |
| Tabela 3.1 – Dados dos elementos utilizados para verificação da planilha .....                   | 35 |
| Tabela 3.2 – $N_{spt}$ do solo verificado .....  | 36 |
| Tabela 3.3 – $N_{spt}$ considerado .....   | 36 |
| Tabela 3.4 – Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S15 .....                         | 37 |
| Tabela 3.5 – Fatores de Influência de Tensões devido ao carregamento de S16 em S15 .....         | 38 |
| Tabela 3.6 - Recalques devido ao carregamento de S16 em S15 .....                                | 39 |
| Tabela 3.7 – Fatores de Influência de Tensões devido ao carregamento de S22 em S15 .....         | 40 |
| Tabela 3.8 – Recalques devido ao carregamento de S22 em S15 .....                                | 40 |
| Tabela 3.9 – Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S16 .....                         | 41 |
| Tabela 3.10 – Recalque devido ao carregamento de S15 em S16.....                                 | 41 |
| Tabela 3.11 – Recalque devido ao carregamento de S22 em S16.....                                 | 42 |
| Tabela 3.12 – Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S22.....                         | 42 |
| Tabela 3.13 – Recalque devido ao carregamento de S15 em S22 .....                                | 43 |
| Tabela 3.14 – Recalque devido ao carregamento de S16 em S22.....                                 | 43 |
| Tabela 3.15 – Valores calculados .....   | 44 |



---

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.16 – Valores fornecidos pela planilha .....  | 44 |
| Tabela 3.17 – Combinações Críticas .....  | 46 |
| Tabela 4.1 - Valores de variações de cargas médias para os pilares da torre .....                       | 49 |
| Tabela 4.2 - Valores de variação de esforços na fundação em cada iteração para o pilar P2 da torre..... | 50 |
| Tabela A. 1 – Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 1 .....                         | 64 |
| Tabela A. 2 – Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 1 .....                                       | 65 |
| Tabela A. 3 – Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 1 .....                                       | 66 |
| Tabela A. 4 – Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 1 .....      | 68 |
| Tabela B. 1 – Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 2 .....                         | 70 |
| Tabela B. 2 – Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 2.....  | 71 |
| Tabela B. 3 – Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 2.....  | 72 |
| Tabela B. 4 – Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 2 .....      | 74 |
| Tabela C. 1 – Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 3 .....                         | 76 |
| Tabela C. 2 – Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 3.....  | 77 |
| Tabela C. 3 – Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 3.....  | 78 |
| Tabela C. 4 – Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 3 .....      | 80 |
| Tabela D. 1 – Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 4 .....                         | 82 |
| Tabela D. 2 - Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 4 .....                                       | 83 |

---

---

|   |    |
|---|----|
| Tabela D. 3 – Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 4 ..... | 84 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabela D. 4 – Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 4 ..... | 86 |
|--|----|

## LISTA DE SÍMBOLOS

$F_s$ : Fator de segurança

$\sigma_z$ : tensão vertical induzida em uma profundidade  $z$

$\sigma_0$ : Tensão inicial na base

$K$ : Fator de Influência de Tensões

$b$ : Menor lado da base retangular

$l$ : Maior lado da base retangular

$\Delta Z$ : Espessura da subcamada

$z$ : Profundidade do ponto a ser medido

$m$  e  $n$ : parâmetros para cálculo de recalque induzido considerando os lados  $b$  e  $l$  da sapata

$\rho$ : Recalque elástico

$E$ : Módulo de Elasticidade do Solo

$F$ : Força Solicitante

$k$ : Coeficiente de Rigidez

$L_x$  e  $L_y$ : dimensões da sapata nos sentidos horizontal e vertical

$x$  e  $y$ : posição geométrica da sapata nas direções horizontal e vertical

$G_1$ : Peso Próprio (Software AltoQiEberick)

$G_2$ : Carga Adicional (Software AltoQiEberick)

$S$ : Solo (Software AltoQiEberick)

$Q$ : Carga Acidental (Software AltoQiEberick)

A: Água (Software AltoQiEberick)

V1: Vento X+ (Software AltoQiEberick)

V2: Vento X- (Software AltoQiEberick)

V3: Vento Y+ (Software AltoQiEberick)

V4: Vento Y- (Software AltoQiEberick)

$d_i$ : porcentagem de variação de carga na iteração  $i$

$P_i$ : carga analisada na iteração  $i$

$P_{i-1}$ : carga analisada na iteração  $i-1$

P1 a P59: Nomenclatura dos pilares

S1 a S59: Nomenclatura das sapatas

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>               | <b>15</b> |
| <b>1.2. OBJETIVOS .....</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                            | <b>17</b> |
| <b>2.1. FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS .....</b>                         | <b>18</b> |
| <b>2.2. RECALQUE DE FUNDAÇÕES .....</b>                          | <b>19</b> |
| <b>2.3.1 Recalque Elástico .....</b>                             | <b>21</b> |
| <b>2.3.2 Rigidez dos Elementos de Fundação .....</b>             | <b>22</b> |
| <b>2.3.3 Cálculo de Recalque em Elementos Retangulares .....</b> | <b>22</b> |
| <b>2.3. INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA .....</b>                       | <b>28</b> |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                              | <b>30</b> |
| <b>3.1. METODOLOGIA DA PLANILHA .....</b>                        | <b>32</b> |
| <b>3.1.1 1ª Etapa – Entrada de Dados .....</b>                   | <b>33</b> |
| <b>3.1.2 2ª Etapa - Cálculos .....</b>                           | <b>34</b> |
| <b>3.1.3 3ª Etapa – Saída de Dados .....</b>                     | <b>34</b> |
| <b>3.2. VERIFICAÇÃO DA PLANILHA .....</b>                        | <b>35</b> |
| <b>3.2.1 Metodologia e Dados .....</b>                           | <b>35</b> |
| <b>3.2.2 Resultados e Análise .....</b>                          | <b>37</b> |
| <b>3.3. COMBINAÇÕES CRÍTICAS .....</b>                           | <b>44</b> |

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>     | <b>47</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES .....</b>      | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                   | <b>63</b> |
| <b>APÊNDICE A – ITERAÇÕES VENTO 1.....</b> | <b>64</b> |
| <b>APÊNDICE B – ITERAÇÕES VENTO 2.....</b> | <b>70</b> |
| <b>APÊNDICE C – ITERAÇÕES VENTO 3.....</b> | <b>76</b> |
| <b>APÊNDICE D – ITERAÇÕES VENTO 4.....</b> | <b>82</b> |

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Em uma edificação, os elementos de fundação são responsáveis por receber todos os carregamentos suportados pela estrutura e transmiti-los ao solo sobre o qual está apoiado. O conjunto estrutural é dividido em superestrutura, constituído de pilares, vigas e lajes, onde são considerados os carregamentos diversos a que a edificação poderá ser submetida em sua utilização e infraestrutura constituída pela fundação, que recebe as somatórias destes carregamentos. O solo, em sua natureza, é um elemento que por característica apresenta deformabilidade quando é submetido a carregamentos, gerando desta forma deslocamentos na fundação, que por sua vez interage com a estrutura configurando uma relação de interdependência entre o solo, os elementos de fundação e a superestrutura. Esta relação é chamada de interação solo-estrutura.

Neste contexto a superestrutura supõe que os apoios são indeslocáveis, desconsiderando a deformabilidade já citada e a infraestrutura desconsidera os coeficientes de rigidez local e global da estrutura, não sendo englobadas interações entre solo e estrutura e seus efeitos no conjunto da edificação. Esta situação configura a adoção de parâmetros de deslocamento incoerentes com os reais.

Deste modo, tem-se que uma determinada estrutura que não seria viável tecnicamente de ser realizada pelos recalques previstos do modo convencional, poderia ser concebida em uma segunda análise levando em conta os efeitos da interação solo-estrutura considerando a redistribuição dos esforços e a tendência de suavização dos recalques no conjunto.

Outro importante aspecto a se ressaltar é o fato de que ao se desconsiderar os efeitos já mostrados, os coeficientes de segurança admitidos tanto para a infraestrutura quanto para a superestrutura não estão sendo atendidos, pois algumas regiões serão mais solicitadas do que o previsto e outras menos solicitadas e tais imprecisões não foram considerados nas hipóteses de cálculo.

Assim, o presente trabalho visa analisar o modelo de interação solo-estrutura de edifícios assentados sobre sapatas.

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo geral do trabalho é estudar a redistribuição de cargas e recalques considerando não a interação solo-estrutura.

Os objetivos específicos do trabalho são: desenvolver uma planilha eletrônica no Microsoft Excel que calcule os recalques das diversas sapatas considerando a interação entre os elementos de fundação, analisar o modelo estrutural do edifício em estudo desenvolvido no software AltoQiEberick para que sejam obtidas informações de redistribuição de carga em solicitações diversas, sendo observados possíveis agravantes da estrutura de uma edificação.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Quando se dimensiona uma estrutura, juntamente com os critérios de segurança à ruptura, são verificados critérios de deformações limites. Estes também devem ser satisfeitos para o comportamento adequado das fundações. Em geral os critérios de deformações é que condicionam a solução (FABRÍCIO; ROSSIGNOLO, 2002).

É compreensível que se admita que para concepção de uma edificação é necessário, em primeiro lugar, ser providenciado uma base ou alicerce para ela se apoiar. Desta forma a fundação e a estrutura não podem existir uma sem a outra, sendo consideradas interdependentes. Acontece que fundações (ou infra-estruturas) são coisas que não subsistem por si sós, são sempre fundações de alguma coisa (superestruturas) (NETO; VARGAS, 1998).

É natural que quando se aplica carga a um solo ocorram deformações. É necessário que estas deformações sejam previstas e consideradas nos projetos de fundação e estruturas. Esta previsão é bem complexa, sendo que considerações equivocadas podem tornar inviável a implementação de um projeto, seja por falta de limites de segurança ou por implantação de uma estrutura extremamente conservadora, no que tange os limites de segurança, e conseqüentemente demasiadamente cara.

A Engenharia de Fundações é definida como a arte de aplicar, economicamente, cargas ao terreno, de modo a evitar grandes deformações (SIMONS; MENZIES, 1981).

Para melhor dimensionamento deste elemento são estabelecidos parâmetros mínimos de funcionalidade. De acordo com Velloso e Lopes (1998) os requisitos básicos que um projeto de fundações devem atender são:

- Deformações aceitáveis sob as condições de trabalho;
- Segurança adequada ao colapso dos elementos de fundação (estabilidade “externa”);
- Segurança adequada ao colapso dos elementos estruturais (estabilidade “interna”).

## 2.1. FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Para cada disposição estrutural, solicitação de carga e tipo de solo existe um tipo de fundação mais adequada dentre as opções existentes. As fundações superficiais, sempre que possível, devem ser utilizadas por serem de mais fácil implantação e, na maioria dos casos, mais baratas.

As sapatas e os blocos de fundação são os tipos de elementos de fundação com maior simplicidade e, quando viável tecnicamente, são os mais econômicos (VELLOSO; LOPES, 1998).

**Fundação superficial (rasa ou direta) é definida segundo a NBR 6122:**

Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas (ABNT, 2010).

Sapata, conforme a Figura 2.1 é definida segundo a NBR 6122:

Elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. Pode possuir espessura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal (ABNT, 2010).

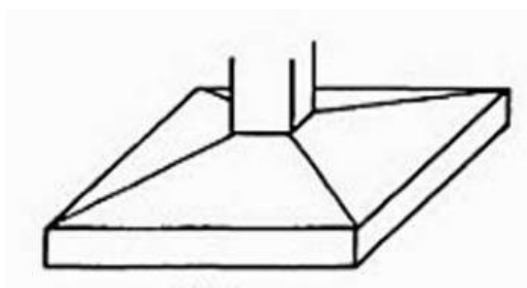


Figura 2.1-Fundação Rasa - Sapata (VELLOSO; LOPES, 1998).

Para fundações rasas o fator de segurança global mínimo segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) é 3,0, como visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Fatores de segurança globais mínimos segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010)

| Condição  | Fator de Segurança |
|---|--------------------|
| Capacidade de carga de fundações superficiais                 | 3,0                |
| Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga | 2,0                |
| Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga | 1,6                |

Devido as incertezas geradas na avaliação dos parâmetros básicos oriundas de sua natureza não homogênea e anisotrópica, em geral, um fator de segurança  $F_s$ , de cerca de 3 ou mais, é aplicado à capacidade de carga última do solo para a obtenção do valor admissível de capacidade de carga. De acordo com Das (2007) um  $F_s$  de 3 ou mais não é considerado muito conservativo.

## 2.2. RECALQUE DE FUNDAÇÕES

Recalques são deformações devidos aos carregamentos verticais na superfícies do terreno ou em cotas próximas à superfície (PINTO, 2006).

É conhecido que, qualquer que seja a estrutura, o solo sobre o qual ela está apoiada sofrerá, por menor que seja, algum tipo de recalque, ao menos que as fundações sejam assentadas sobre rocha sã. Os recalques, tanto os diferenciais quanto os totais, quando não previsto e não considerados, pode gerar danos à estrutura em construção ou para estruturas já consolidadas em sua proximidade e edifícios altos poderão se inclinar (SIMONS; MENZIES, 1981).

É plausível que a situação mais comum de se observar um recalque é quando se aplica carga a um determinado maciço de solo. Porém diversos fatores podem gerar recalques ou contribuir em recalques obtidos pela aplicação de carga.

A deformação de um elemento de solo é uma função de uma variação nas pressões efetivas e não nas tensões totais. Para Simons e Menzies (1981) algumas das causas de deformação de uma estrutura são as seguintes:

- Aplicação de cargas estruturais;
- Rebaixamento do nível d'água;
- Colapso da estrutura do solo devido ao encharcamento;
- Inchamento de solos expansivos;

Para Das (2007) um aumento da tensão causado pela construção de fundações ou outras cargas comprime as camadas de solo. A compressão é causada pelos deslocamentos de partículas de solo e pela expulsão de água ou do ar dos espaços vazios.

Em princípio, a situação ideal para construção de uma edificação é de não se ter nenhum recalque. Porém, como já visto, todo carregamento sobre solo é suscetível a recalque sendo que torna-se necessário conhecer os danos gerados por este fenômeno nas estruturas. Segundo Simons e Menzies (1981) é importante distinguir entre:

- Recalque total, que pode causar danos às funções da estrutura;
- Recalque diferencial, resultante do desaprumo, perceptível em prédios altos;
- Recalque diferencial, devido à distorção por cisalhamento que pode provocar danos estruturais.

Fabício e Rossignolo (2002) definem recalque diferencial como à diferença entre os recalques de dois pontos quaisquer da fundação e recalque total como ao recalque final a que estará sujeito um determinado ponto ou elemento da fundação.

Os recalques totais sofridos em estruturas podem ser divididos em três categorias:

- **Recalque elástico** (ou recalque imediato), causado pela deformação elástica do solo seco e de solos úmidos e saturados sem qualquer alteração do teor de umidade. Os cálculos do recalque elástico geralmente têm como base equações derivadas da teoria da elasticidade.
- **Recalque por adensamento primário**, resultado de uma alteração volumétrica em solos coesivos saturados por causa da expulsão da água que ocupa os espaços vazios.
- **Recalque por compressão secundária**, observado em solos coesivos saturados e resultado do ajuste viscoso do tecido do solo. É uma forma adicional de compressão que ocorre sob tensão efetiva constante (DAS, 2007).

Para evitar maiores transtornos, a capacidade de carga da fundação e recalques são previstos e considerados em projeto. Desta forma estabelecem-se limites para recalques e análise de perda de capacidade de carga do solo.

O recalque admissível de uma estrutura depende de vários fatores como: o tipo de estrutura, a sua altura, a sua rigidez, fundação e localização, e a magnitude, velocidade e distribuição do recalque. (SIMONS; MENZIES, 1981)

De acordo com Simons e Menzies (1981), em um projeto de fundações, existem dois critérios que devem ser considerados separadamente:

- Deve haver um coeficiente adequado de segurança à ruptura por perda da capacidade de carga do solo;
- Os recalques, particularmente os recalques diferenciais, devem ser mantidos dentro dos limites razoáveis.

Skempton e MacDonald (1955) sugeriram os seguintes limites de projeto para recalques máximos:

- Fundações isoladas em argila 65 mm
- Fundações isoladas em areia 40 mm
- Fundações em radier em argila 65 a 100 mm
- Fundações em radier em areia 40 a 65 mm

### 2.3.1 Recalque Elástico

O recalque elástico ou imediato ocorre logo após a aplicação de carga no solo, sem que se altere seu teor de umidade. Para Das (2007) a magnitude do recalque do contato dependerá da flexibilidade da fundação e do tipo de material no qual está apoiada.

As relações para se determinar o aumento da tensão (que resulta no recalque elástico) devido aplicação da linha de carga, da faixa de carga, da carga de talude, da carga circular e da carga retangular tiveram as seguintes condições adotadas: carga aplicada na superfície do solo, a área carregada é flexível e o meio do solo é homogêneo, elástico, isotrópico e se estende a uma grande profundidade (DAS, 2007).



Elasticidade, que é justificada pelo fato de não se dispor ainda de alternativas melhores e dessa teoria fornecer avaliações satisfatórias em relação ao comportamento de obras (PINTO, 2006).

Muitas formulações surgiram para o cálculo das tensões em um ponto a uma determinada profundidade, provenientes de um carregamento uniformemente distribuído, após as equações deduzidas por Boussinesq (1885), cuja teoria era limitada a forças verticais e pontuais.

Neste trabalho, será apresentada e utilizada as equações de Holl (1940 *apud* POULOS; DAVIS, 1974), que permitiam o cálculo das tensões induzidas para os pontos situados na vertical, passando por um vértice de uma placa retangular uniformemente carregada.

### 2.3.3.1. Equações de Holl (1940)

Segundo Holl (1940 *apud* POULOS; DAVIS, 1974) a tensão vertical induzida em uma profundidade  $z$ , no canto de um elemento retangular de fundação, com as dimensões conforme as da Figura 2.3 pode ser expressa pela equação (2.1):

$$\sigma_z = \frac{\sigma_0}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{lb}{zR_3} + \frac{lbz}{R_3} \left( \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right] \quad (2.1)$$

Onde:

$$R_1 = (l^2 + z^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$R_2 = (b^2 + z^2)^{1/2} \quad (2.3)$$

$$R_3 = (l^2 + b^2 + z^2)^{1/2} \quad (2.4)$$

Da Equação 2.1, pode-se determinar o coeficiente  $K$ , expresso na equação (2.5) e (2.6):

$$K = \frac{\sigma_z}{\sigma_0} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{1}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{lb}{zR_3} + \frac{lbz}{R_3} \left( \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right] \quad (2.6)$$

Onde:

$\sigma_0$ : Tensão inicial na base;

$K$ : Fator de Influência de Tensões;

$b$ : Menor lado da base retangular;

$l$ : Maior lado da base retangular;

$z$ : Profundidade do ponto a ser medido.

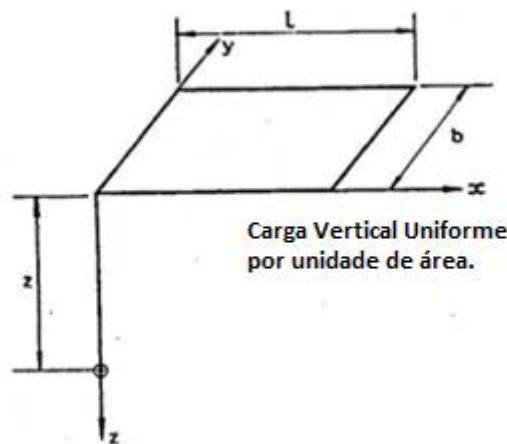


Figura 2.3 - Dimensões da carga retangular e ponto de análise (POULOS; DAVIS, 1974)

### 2.3.3.2. Solução de Fadum (1948)

Considerando o solo como elástico e admitindo o carregamento uniformemente distribuído em uma área retangular, pode-se fazer a divisão de uma camada de solo em “n” parcelas menores de espessuras variadas, calculando-se a tensão induzida no canto de cada



camada. Para a obtenção do Fator de Influência de Tensões “K” são calculados os parâmetros m e n, por meio das Equações 2.7 e 2.8, respectivamente (TEIXEIRA; GODOY, 1998).

$$m = \frac{b}{z} \quad (2.7)$$

$$n = \frac{1}{z} \quad (2.8)$$

Substituindo (2.2), (2.3) e (2.4) em (2.6) e em seguida substituindo (2.7) e (2.8) em (2.6) obtém-se a equação 2.9.

$$K = \frac{1}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{m \cdot n}{(m^2 + n^2 + 1)^{0,5}} + \frac{m \cdot n}{(m^2 + n^2 + 1)^{0,5}} \times \left( \frac{1}{(1 + m^2)} + \frac{1}{(1 + n^2)} \right) \right] \quad (2.9)$$

Que por sua vez, representa o ábaco da Figura 2.4:

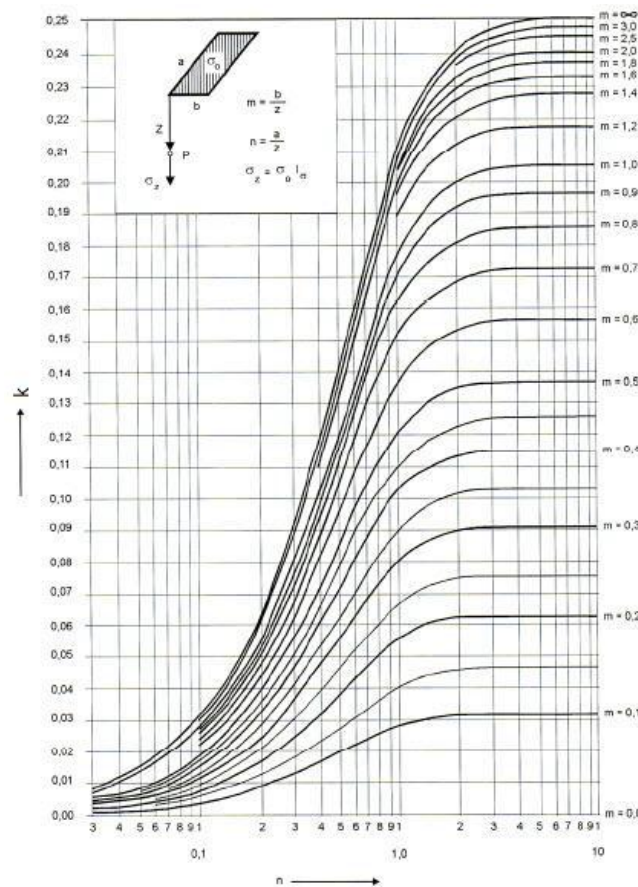


Figura 2.4 - Valores de K em função de m e n – modificada pelo autor (BOWLES, 1988)

Como a Solução de Fadum e as equações de Holl determinam a tensão induzida no canto da carga retangular, para a obtenção da tensão induzida no centro da carga, é feita a divisão do retângulo em quatro retângulos iguais, onde um dos cantos de cada divisão coincide com o centro do retângulo inicial. Portanto o Fator de Influência de Tensões para o centro da carga inicial é igual a quatro vezes o Fator de Influência para cada subdivisão retangular, obtendo, assim, o Fator de Influência Equivalente.

Ao obter o Fator de Influência de Tensões Equivalente, por meio da equação 2.9 ou pelo ábaco (Figura 2.4), e já conhecendo tensão inicial na base, o módulo de elasticidade do solo, e as espessuras de cada subdivisão da camada sob a fundação é possível obter o recalque parcial no centro de cada subcamada por meio da equação 2.10.

$$\rho = \frac{4K\sigma_0\Delta Z}{E} \quad (2.10)$$

Onde:

- $\rho$ :Recalque elástico
- $\Delta Z$ :Espessura da subcamada
- $E$ : Módulo de Elasticidade do Solo

O Recalque total da fundação retangular é igual ao somatório dos recalques parciais de cada subcamada. O solo sofre tensão induzida devido a um carregamento, até atingir uma camada impenetrável (rocha, por exemplo).

### 2.3.3.3. Interação entre Sapatas

A Solução de Fadum possibilita o cálculo do recalque de uma fundação provocada pelo próprio carregamento, mas ela pode se estender e determinar a contribuição (acrécimo de tensões induzidas) desse carregamento em elementos vizinhos.

Para o cálculo desse acréscimo de tensões proveniente de uma área fora do centro em questão, procede-se utilizando o princípio da sobreposição, determinando-se os fatores de influência das tensões de retângulo em que os vértices se situam sobre o ponto e fazendo a sua somatória algébrica, conforme exemplo da Figura 2.5 (TEIXEIRA; GODOY, 1998) e obtendo a equação (2.11).

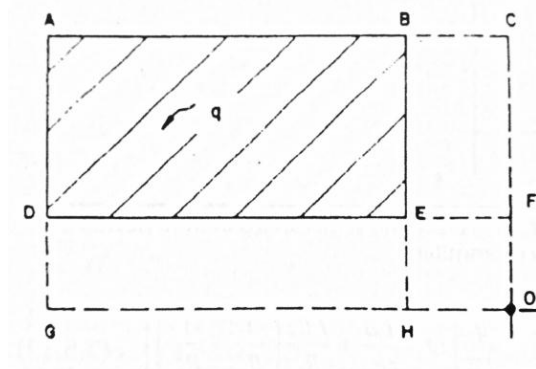


Figura 2.5 - Recalque em um elemento fora da área de carregamento

$$K_{ABDE} = K_{ACGO} - K_{BCHO} - K_{DFGO} + K_{EFHO} \quad (2.11)$$

### 2.3. INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Uma edificação pode ser dividida em três partes: superestrutura, infraestrutura e o solo que recebe o carregamento (terreno de fundação), como pode ser visto na Figura 2.6. Ao longo de sua vida, estas três partes sofrem interações entre si dentro da edificação em um mecanismo chamado interação solo-estrutura (GUSMÃO, 1994).

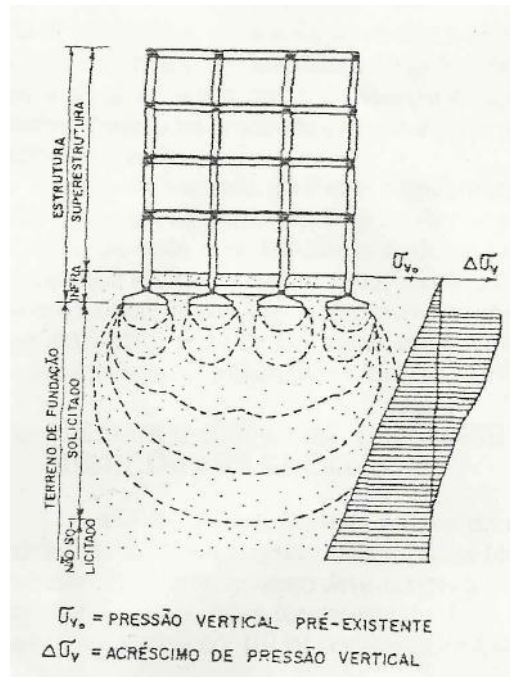


Figura 2.6 - Partes Constituintes de uma Edificação (GUSMÃO, 1994)

Em um projeto estrutural tradicional é assumido a hipótese de que os apoios são indesejáveis, sendo assim o recalque é considerado como inexistente. E esta hipótese é levada para o dimensionamento dos elementos estruturais e o cálculo dos elementos fundação. Por outro lado, em um projeto de fundações tradicional é levado em consideração apenas as propriedades geotécnicas do terreno e as cargas obtidas do projeto estrutural, sendo desconsiderado, assim, a rigidez da estrutura. Com isto, cria-se uma espécie de barreira entre o terreno de fundação e a estrutura. As consequências dessas hipóteses podem ser vistas na Tabela 2.2 (GUSMÃO; FILHO; MAIA, 2000).

Tabela 2.2 - – Efeitos da Interação Solo-Estrutura em Edifícios (GUSMÃO; FILHO; MAIA, 2000).

| HIPÓTESE  | CONSEQUÊNCIAS   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Apoios são considerados indeslocáveis.</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redistribuição de cargas e esforços nos elementos estruturais, especialmente vigas e pilares.</li> <li>Alívio de carga nos pilares mais carregados e sobrecarga nos pilares menos carregados.</li> <li>Pode haver danos nos elementos estruturais.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Apoios podem recalcar de maneira independente uns dos outros.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>A ligação entre os elementos estruturais confere à estrutura uma rigidez, que restringe os recalques diferenciais.</li> <li>A deformada de recalque medida é mais suave que a estimada convencionalmente.</li> <li>Há uma tendência de uniformização dos recalques.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>O carregamento do prédio só ocorre no final da construção.</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>À medida que a estrutura vai sendo construída, vai havendo um aumento do seu carregamento, e dos recalques absolutos.</li> <li>Há, no entanto, um aumento da rigidez da estrutura, que faz com que haja uma tendência de uniformização dos recalques.</li> <li>Há uma altura limite correspondente aos cinco primeiros pavimentos, em que praticamente não há mais aumento da rigidez para fins de uniformização dos recalques.</li> </ul> |

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do trabalho são apresentadas a seguir. Primeiramente foi feito a previsão de recalque considerando a situação de projeto tradicional, que calcula as cargas e os apoios na fundação como sendo indeslocáveis. Isto foi feito através do método clássico que utiliza a Teoria da Elasticidade aplicada aos solos e também a interação entre as sapatas provocando tensões induzidas e, conseqüentemente, recalques induzidos umas nas outras como é mostrado no item 2.3. Em seguida foi calculado a rigidez de cada elemento de fundação através da divisão entre a força solicitante no elemento, fornecida pelo Relatório de Esforços na Fundação, gerado pelo software AltoQiEberick e o recalque previsto do elemento, como mostra a equação 3.1. Para o cálculo do Recalque em cada elemento, assim como a interação entre sapatas e a determinação da rigidez de cada elemento de fundação, foi feito uma planilha no programa Microsoft Excel.

$$k = \frac{F}{\rho} \quad (3.1)$$

Onde:

- $\rho$ : Recalque
- F: Força Solicitante
- k: Coeficiente de Rigidez

Com os coeficientes de Rigidez calculados, foi alterado o sistema estrutural do edifício em análise no software AltoQiEberick, modificando a condição de apoio da base dos pilares nas fundações de engastados (indeslocáveis), para deslocáveis (no sentido do recalque), com coeficiente de rigidez variando para cada pilar, conforme a equação 3.1. Com o software AltoQiEberick já alimentado com os coeficientes de rigidez, foi feito um novo processamento da Estrutura (Análise Estática Linear), gerando dessa maneira, uma redistribuição de cargas e esforços nos elementos de fundação. Com isso, foi gerado um novo relatório de esforços na fundação pelo software AltoQiEberick, que foi utilizado para alimentar novamente a planilha de cálculo de recalques no Microsoft Excel, seguindo os

passos já citados. Esse processo foi repetido, sendo que cada repetição é definida como iteração.

Tabela 3- Etapas de calculo de uma iteração solo estrutura

| 1a Etapa (Entrada de Dados) |             |                   | 2a Etapa (Cálculos) |                | 3a Etapa (Saída de Dados)               |
|-----------------------------|-------------|-------------------|---------------------|----------------|---|
| Solo                        | Nspt        | $\sigma_0$ (solo) | Parâmetros          | m              | Resumo dos Recalques de Cada Elemento   |
|                             |             | E                 |                     | n              |   |
|                             | Subcamadas  |                   |                     | K              |   |
| Elementos                   | Dimensão    |                   | Recalque            | $P_{PRÓPRIO}$  | Coeficiente de Rigidez de cada Elemento |
|                             | Localização |                   |                     | $P_{INDUZIDO}$ |   |
|                             | Carga       |                   |                     | $\rho_{TOT}$   |   |

A cada iteração foi calculada e registrada a variação de esforços nos elementos de fundação, em valor percentual, levando-se em conta a relação entre o atual valor do esforço e o valor registrado anteriormente. Esse processo foi repetido até que ocorra diferenças mínimas da taxa de variação de esforços, sendo que esta, conforme o esperado deverá tender à zero, ou seja, as variações de esforços nos elementos de fundação e variações de recalques esperadas para as próximas iterações fossem mínimas. Assim, o processo iterativo foi interrompido e o recalque obtido foi o recalque final considerando os efeitos de interação solo-estrutura.

No presente trabalho foi utilizado como objeto de análise do modelo de interação solo-estrutura um edifício residencial localizado no Setor Marista, nesta capital. O edifício conta com 34 pavimentos e 2 subsolos para estacionamento. A fundação é do tipo rasa composta por sapatas e radiers, conforme Figura 3.1.

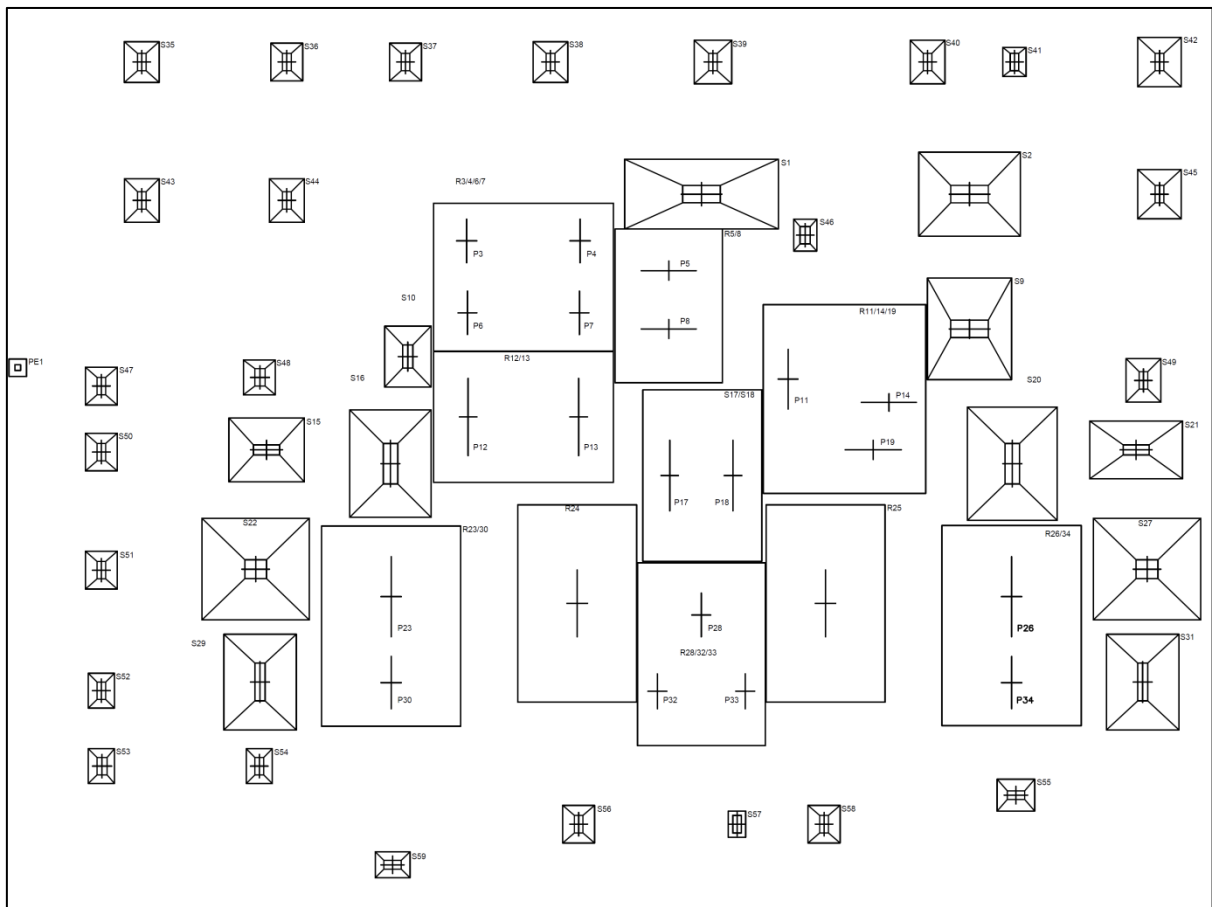


Figura 3.1– Localização dos elementos de fundação

### 3.1. METODOLOGIA DA PLANILHA

Para o cálculo do Coeficiente de Rigidez, é necessário ter a força solicitante e o recalque total do elemento em análise assim como mostra a equação 3.1. Para esse cálculo, foi desenvolvida uma planilha eletrônica no programa Microsoft Excel com o intuito de automatizar os cálculos dos coeficientes de rigidez, que por sua vez, é uma importante etapa para a análise da interação solo estrutura.

A planilha funciona basicamente em três etapas, onde a primeira etapa consiste na alimentação da planilha, dependente do operador. A segunda etapa consiste na resolução de todos os cálculos, e a terceira e última, é onde o operador retira todos os dados pertinentes



provenientes da segunda etapa para alimentar o software AltoQiEberick para as iterações subsequentes.

### 3.1.1 1ª Etapa – Entrada de dados

Neste momento, foi feita a alimentação da planilha, inserindo todos os dados das sondagens executadas nos diferentes pontos, isto é, os valores de  $N_{spt}$  (Número de golpes de penetração do Ensaio SPT – Sondagem à Percussão) encontrados por metro de escavação em cada um dos furos executados e a quantidade e espessura de cada subcamada para o cálculo do recalque, conforme o item 2.3.3.2. Tendo feito isso, foram feitos novos perfis de resistência de solos hipotéticos, fazendo combinações entre os ensaios executados.

Como a teoria utilizada requer o parâmetro  $E$  (módulo de elasticidade do solo), este foi estimado empiricamente através da equação 3.2 (MAGALHÃES, 2005) e este resultado é obtido na unidade MPa. Esta equação é fruto de um trabalho empírico que avaliava os diferentes comportamentos dos solos em diferentes regiões do país, sendo apenas aceita para o estado de Goiás.

Vale-se destacar que os ensaios foram feitos próximo ao final de um período chuvoso, portanto o nível d'água estava extremamente elevado e todos os cálculos e adoções foram feitos para essa situação.

Com todos os dados de solo inseridos, foi feita a inserção em uma nova aba, de todos os dados pertinentes aos elementos de fundação, isso é: sua dimensão, sua localização, profundidade e carga. Com a posição das sapatas e das sondagens, é feita a seleção pelo operador de qual sondagem/combinação de sondagem mais se adequa para cada fundação.

$$E = 3,5 \times N_{spt} \quad (3.2)$$

Onde:

- $E$ : Módulo de Elasticidade do Solo
- $N_{spt}$ : Número de golpes de penetração do Ensaio SPT

### 3.1.2 2ª Etapa - Cálculos

É nessa etapa que todos os cálculos são realizados, partindo das informações contidas na seção de entrada de dados. Foi feita uma aba para cada sapata que calcula, conforme as Equações 2.6 e 2.7 os parâmetros “m” e “n” e a partir daí, pela equação 2.8 é feito o cálculo de K. Com esse parâmetro calculado e com a tensão inicial na base “ $\sigma_0$ ” proveniente dos dados de entrada, é feita o cálculo da tensão induzida no centro de cada subcamada, e a partir daí, o recalque total, fazendo a somatório dos recalques de cada subcamada que são calculados conforme a equação 2.9, obtendo dessa forma o recalque devido ao carregamento próprio.

Na aba de cada sapata, além de ser feito o cálculo do Recalque devido às tensões induzidas pelo carregamento próprio, é feito também o cálculo do acréscimo de tensão e consequentemente de recalque devido aos elementos vizinhos. Para a realização do mesmo, é necessário a posição de todos os elementos (são considerados vizinhos, aqueles cuja distância do seu centro ao centro do elemento em análise seja inferior a cinco vezes o seu lado de menor dimensão), assim como os outros dados fornecidos na Etapa 1. Para o cálculo do recalque devido a interação entre Sapatas, foi utilizada a metodologia apresentada em 2.3.3.3, que se assemelha ao cálculo do recalque devido ao carregamento do próprio elemento, mas que necessita as considerações apresentadas na Figura 2.5.

### 3.1.3 3ª Etapa – Saída de dados

Como o edifício em análise apresenta 47 elementos de fundação, divididos entre sapatas isoladas e radiers, foram necessárias 47 abas para o cálculo do recalque total em todas. Para facilitar a retirada de dados e cálculos dos coeficientes de rigidez, nessa etapa foi feita uma nova aba, que com uma matriz 47x47, recebe todos os recalques (próprios e provenientes das interações entre sapatas) e informa o recalque total de cada elemento, e com esse recalque total e com a Equação 3.1 é feito o cálculo do coeficiente de rigidez de cada elemento.

## 3.2. VERIFICAÇÃO DA PLANILHA

### 3.2.1 Metodologia e dados

Para verificação da correta funcionalidade da planilha que será utilizada nos estudos do presente trabalho, foi proposta uma situação prática onde foram dispostas 3 sapatas com características distintas. Em um primeiro momento foram calculados, manualmente com auxílio do ábaco da Figura 2.4, os recalques com as devidas contribuições de sapatas adjacentes para posterior comparação dos resultados obtidos pela planilha desenvolvida. A disposição dos elementos foi conforme a indicada na Figura 3.2.

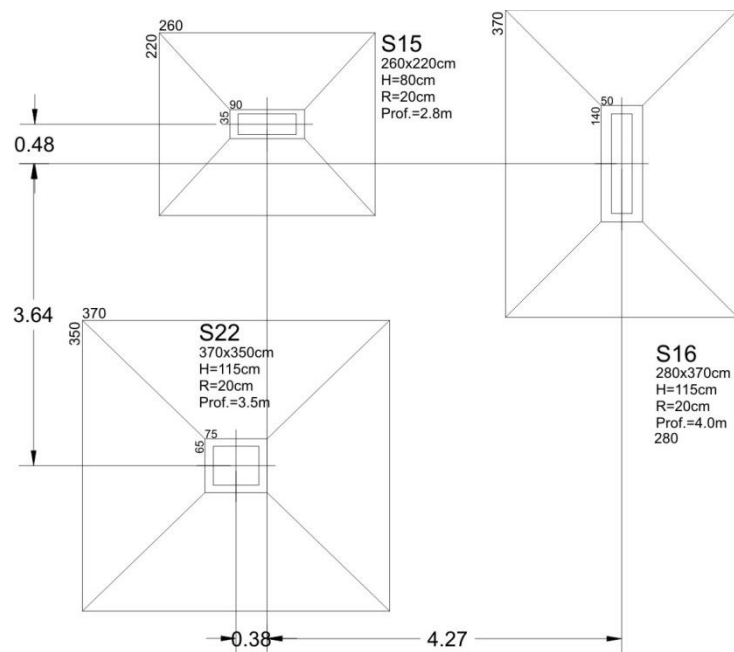


Figura 3.2– Disposição dos elementos utilizados para verificação da planilha

Suas dimensões, profundidades de assentamento, cargas verticais e tensão inicial na base foram conforme os apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.4– Dados dos elementos utilizados para verificação da planilha

| Sapata | Lx (m) | Ly(m) | x (m) | y (m)  | z <sub>0</sub> (m) | P (tf) | σ <sub>0</sub> (kPa) |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------------------|--------|----------------------|
| S15    | 2,6    | 2,2   | 5,695 | 14,300 | 5,0                | 297    | 519,23               |
| S16    | 2,8    | 3,7   | 9,965 | 13,825 | 5,0                | 536    | 517,37               |

|     |     |     |       |        |     |     |        |
|-----|-----|-----|-------|--------|-----|-----|--------|
| S22 | 3,7 | 3,5 | 5,320 | 10,190 | 5,0 | 643 | 496,53 |
|-----|-----|-----|-------|--------|-----|-----|--------|

Foi considerado que as sapatas foram assentadas a uma profundidade de 5 m e que o Nspt utilizado foi conforme os apresentados na Tabela 3.2, considerando camadas de 1m de espessura a profundidade inicial de cota -5 metros.

Tabela 3.5– Nspt do solo verificado

| Profundidade (m) | -5 | -6 | -7 | -8 | -9 | -10 | -11 | -12 | -13 | -14 | -15 | -16 | -17 |
|------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nspt             | 17 | 17 | 31 | 35 | 39 | 38  | 34  | 44  | 58  | 59  | 55  | 51  | 57  |

Nas camadas que devido à maior espessura tiveram mais de um Nspt associado à mesma, foi considerada a média entre os valores considerando o limite máximo de Nspt igual a 40 golpes e o módulo E foi estimado segundo a equação 3.2. Os resultados obtidos estão conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.6– Nspt considerado

| Camada | Nspt | E (Mpa) | $\Delta z_i$ (m) | $Z_i$ (m) |
|--------|------|---------|------------------|-----------|
| 1      | 17   | 59,5    | 0,5              | 0,25      |
| 2      | 17   | 59,5    | 0,5              | 0,75      |
| 3      | 17   | 59,5    | 1                | 1,5       |
| 4      | 31   | 108,5   | 1                | 2,5       |
| 5      | 37   | 129,5   | 2                | 4         |
| 6      | 37   | 129,5   | 3                | 6,5       |
| 7      | 40   | 140     | 3                | 9,5       |
| 8      | 40   | 140     | 5                | 13,5      |
| 9      | 40   | 140     | 5                | 18,5      |

Onde:

- $\Delta z_i$  (m): Espessura da camada analisada
- $Z_i$  (m): Profundidade do ponto central da camada analisada em relação à superfície do terreno

### 3.2.2 Resultados e análise

#### 3.2.2.1. Sapata S15

Primeiramente para a sapata S15 (Figura 3.3), foi feito o cálculo do recalque devido ao carregamento próprio.

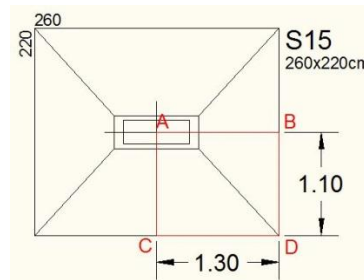


Figura 3.3– Sapata S15

Para esse cálculo, foi utilizada a Solução de Fadum, apresentada em 2.3.3.2. Os resultados obtidos foram conforme os apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.7– Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S15

| m                 | n    | $K_{ABCD}$ | K     | $\Delta\sigma(\text{kPa})$ | $\rho$ (mm) |
|-------------------|------|------------|-------|----------------------------|-------------|
| 4,40              | 5,20 | 0,25       | 0,992 | 515,08                     | 4,33        |
| 1,47              | 1,73 | 0,22       | 0,872 | 452,77                     | 3,80        |
| 0,73              | 0,87 | 0,15       | 0,58  | 301,15                     | 5,06        |
| 0,44              | 0,52 | 0,08       | 0,312 | 162,00                     | 1,49        |
| 0,28              | 0,33 | 0,04       | 0,152 | 78,92                      | 1,22        |
| 0,17              | 0,20 | 0,02       | 0,06  | 31,15                      | 0,72        |
| 0,12              | 0,14 | 0,01       | 0,032 | 16,62                      | 0,36        |
| 0,08              | 0,10 | 0          | 0,016 | 8,31                       | 0,30        |
| 0,06              | 0,07 | 0          | 0,012 | 6,23                       | 0,22        |
| $\rho$ total (mm) |      |            |       |                            | 17,50       |

Feito o cálculo do recalque devido ao carregamento próprio, foi feita a análise da interação entre sapatas, conforme a seção 2.3.3.3. A disposição e áreas pertinentes para a influência do elemento S16 em S15, foram conforme os apresentados na Figura 3.4.

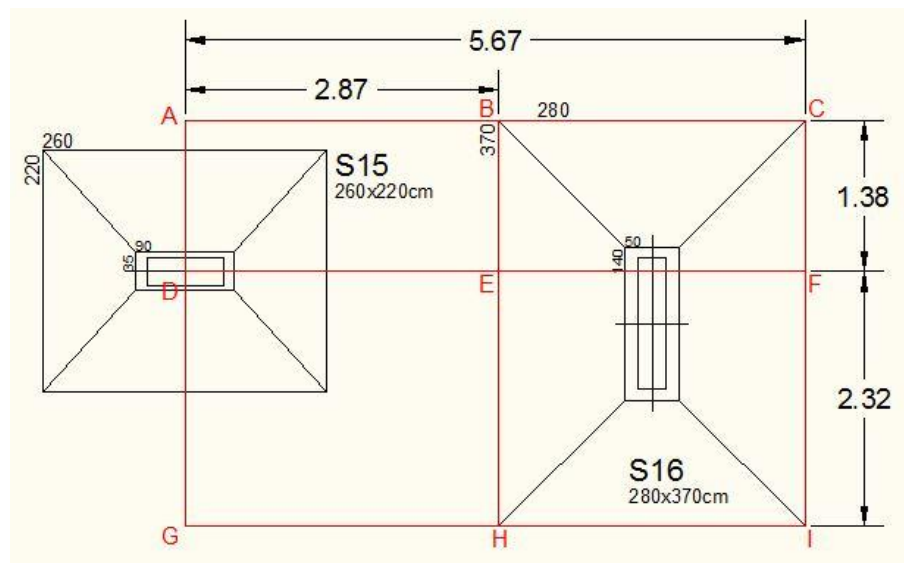


Figura 3.4– S16 em S 15

Os resultados obtidos foram conforme os apresentados nas Tabelas 3.5 e 3.6.

Tabela 3.8– Fatores de Influência de Tensões devido ao carregamento de S16 em S15

| $m_{ACDF}$ | $n_{ACDF}$ | $K_{ACDF}$ | $m_{DFGI}$ | $n_{DFGI}$ | $K_{DFGI}$ |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 5,52       | 22,68      | 0,249      | 9,32       | 22,68      | 0,25       |
| 1,84       | 7,56       | 0,236      | 3,11       | 7,56       | 0,247      |
| 0,92       | 3,78       | 0,197      | 1,55       | 3,78       | 0,229      |
| 0,55       | 2,27       | 0,145      | 0,93       | 2,27       | 0,195      |
| 0,35       | 1,42       | 0,097      | 0,58       | 1,42       | 0,144      |
| 0,21       | 0,87       | 0,054      | 0,36       | 0,87       | 0,088      |
| 0,15       | 0,60       | 0,033      | 0,25       | 0,60       | 0,053      |
| 0,10       | 0,42       | 0,018      | 0,17       | 0,42       | 0,029      |
| 0,07       | 0,31       | 0,009      | 0,13       | 0,31       | 0,017      |
| $m_{ABDE}$ | $n_{ABDE}$ | $K_{ABDE}$ | $m_{DEGH}$ | $n_{DEGH}$ | $K_{DEGH}$ |
| 5,52       | 11,48      | -0,249     | 9,32       | 11,48      | -0,25      |
| 1,84       | 3,83       | -0,226     | 3,11       | 3,83       | -0,245     |
| 0,92       | 1,91       | -0,192     | 1,55       | 1,91       | -0,222     |
| 0,55       | 1,15       | -0,133     | 0,93       | 1,15       | -0,178     |
| 0,35       | 0,72       | -0,075     | 0,58       | 0,72       | -0,116     |
| 0,21       | 0,44       | -0,035     | 0,36       | 0,44       | -0,029     |
| 0,15       | 0,30       | -0,02      | 0,25       | 0,30       | -0,054     |
| 0,10       | 0,21       | -0,009     | 0,17       | 0,21       | -0,016     |
| 0,07       | 0,16       | -0,008     | 0,13       | 0,16       | -0,01      |

Tabela 3.9- Recalques devido ao carregamento de S16 em S15

| $K_{BCHI}$        | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------------------|----------------------|-------------|
| 0,000             | 0,00                 | 0,00        |
| 0,012             | 6,21                 | 0,05        |
| 0,012             | 6,21                 | 0,10        |
| 0,029             | 15,00                | 0,14        |
| 0,050             | 25,87                | 0,40        |
| 0,078             | 40,36                | 0,93        |
| 0,012             | 6,21                 | 0,13        |
| 0,022             | 11,38                | 0,41        |
| 0,008             | 4,14                 | 0,15        |
| $\rho$ total (mm) |                      | 2,32        |

Da mesma forma, foi feita a análise da influência de S22 em S15. A disposição foi conforme a apresentada na Figura 3.5 e os resultados nas Tabelas 3.7 e 3.8.

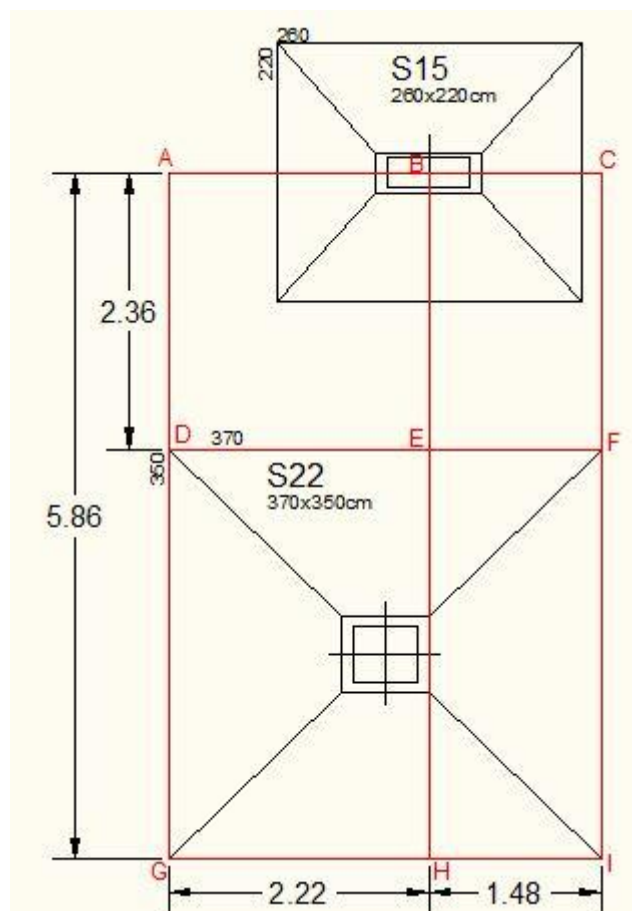


Figura 3.5– S22 em S 15

Tabela 3.10– Fatores de Influência de Tensões devido ao carregamento de S22 em S15

| $m_{ABGH}$ | $n_{ABGH}$ | $K_{ABGH}$ | $m_{BCHI}$ | $n_{BCHI}$ | $K_{BCHI}$ |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 23,44      | 8,92       | 0,250      | 23,44      | 5,92       | 0,249      |
| 7,81       | 2,97       | 0,246      | 7,81       | 1,97       | 0,239      |
| 3,91       | 1,49       | 0,228      | 3,91       | 0,99       | 0,203      |
| 2,34       | 0,89       | 0,192      | 2,34       | 0,59       | 0,153      |
| 1,47       | 0,56       | 0,141      | 1,47       | 0,37       | 0,102      |
| 0,90       | 0,34       | 0,085      | 0,90       | 0,23       | 0,06       |
| 0,62       | 0,23       | 0,05       | 0,62       | 0,16       | 0,035      |
| 0,43       | 0,17       | 0,03       | 0,43       | 0,11       | 0,02       |
| 0,32       | 0,12       | 0,017      | 0,32       | 0,08       | 0,011      |
| $m_{ABDE}$ | $n_{ABDE}$ | $K_{ABDE}$ | $m_{BCEF}$ | $n_{BCEF}$ | $K_{BCEF}$ |
| 9,44       | 8,92       | -0,25      | 9,44       | 5,92       | -0,249     |
| 3,15       | 2,97       | -0,244     | 3,15       | 1,97       | -0,236     |
| 1,57       | 1,49       | -0,216     | 1,57       | 0,99       | -0,193     |
| 0,94       | 0,89       | -0,164     | 0,94       | 0,59       | -0,131     |
| 0,59       | 0,56       | -0,091     | 0,59       | 0,37       | -0,074     |
| 0,36       | 0,34       | -0,048     | 0,36       | 0,23       | -0,034     |
| 0,25       | 0,23       | -0,025     | 0,25       | 0,16       | -0,018     |
| 0,17       | 0,17       | -0,013     | 0,17       | 0,11       | -0,009     |
| 0,13       | 0,12       | -0,007     | 0,13       | 0,08       | -0,005     |

Tabela 3.11– Recalques devido ao carregamento de S22 em S15

| $K_{ACGI}$        | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------------------|----------------------|-------------|
| 0,000             | 0,00                 | 0,00        |
| 0,005             | 2,48                 | 0,02        |
| 0,022             | 10,92                | 0,18        |
| 0,050             | 24,83                | 0,23        |
| 0,078             | 38,73                | 0,60        |
| 0,063             | 31,28                | 0,72        |
| 0,042             | 20,85                | 0,45        |
| 0,028             | 13,90                | 0,50        |
| 0,016             | 7,94                 | 0,28        |
| $\rho$ total (mm) |                      | 2,98        |



### 3.2.2.2. Sapata S16

De maneira análoga a apresentada em 3.2.2.1, foram feitos os cálculos para a Sapata S16. Os resultados obtidos foram conforme os apresentados nas Tabelas 3.9, 3.10 e 3.11.

Tabela 3.12– Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S16

| k                 | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------------------|----------------------|-------------|
| 0,249             | 515,42               | 4,33        |
| 0,233             | 482,56               | 4,06        |
| 0,181             | 374,37               | 6,29        |
| 0,114             | 236,83               | 2,18        |
| 0,06              | 123,14               | 1,90        |
| 0,026             | 54,80                | 1,27        |
| 0,013             | 26,59                | 0,57        |
| 0,007             | 13,66                | 0,49        |
| 0,004             | 8,69                 | 0,31        |
| $\rho$ total (mm) |                      | 21,40       |

Tabela 3.13– Recalque devido ao carregamento de S15 em S16

| $K_1$             | $K_2$ | $K_3$  | $K_4$  | $\Sigma K$ | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------------------|-------|--------|--------|------------|----------------------|-------------|
| 0,249             | 0,242 | -0,249 | -0,244 | 0,000      | 0,00                 | 0,00        |
| 0,240             | 0,188 | -0,239 | -0,188 | 0,001      | 0,52                 | 0,00        |
| 0,207             | 0,119 | -0,203 | -0,117 | 0,006      | 3,12                 | 0,05        |
| 0,159             | 0,075 | -0,147 | -0,07  | 0,017      | 8,83                 | 0,08        |
| 0,106             | 0,047 | -0,088 | -0,039 | 0,026      | 13,50                | 0,21        |
| 0,061             | 0,028 | -0,043 | -0,021 | 0,025      | 12,98                | 0,30        |
| 0,036             | 0,016 | -0,023 | -0,009 | 0,020      | 10,38                | 0,22        |
| 0,021             | 0,009 | -0,012 | -0,005 | 0,013      | 6,75                 | 0,24        |
| 0,012             | 0,004 | -0,007 | -0,003 | 0,006      | 3,12                 | 0,11        |
| $\rho$ total (mm) |       |        |        |            |                      | 1,22        |

Tabela 3.14– Recalque devido ao carregamento de S22 em S16

| $K_1$ | $K_2$ | $K_3$  | $K_4$  | $\Sigma K$        | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------|-------|--------|--------|-------------------|----------------------|-------------|
| 0,250 | 0,250 | -0,25  | -0,25  | 0,000             | 0,00                 | 0,00        |
| 0,249 | 0,244 | -0,243 | 0,247  | 0,001             | 0,50                 | 0,00        |
| 0,246 | 0,219 | -0,212 | -0,235 | 0,004             | 1,99                 | 0,03        |
| 0,238 | 0,177 | -0,159 | -0,208 | 0,012             | 5,96                 | 0,05        |
| 0,212 | 0,126 | -0,098 | -0,159 | 0,025             | 12,41                | 0,19        |
| 0,161 | 0,077 | -0,048 | -0,1   | 0,032             | 15,89                | 0,37        |
| 0,111 | 0,035 | -0,024 | -0,059 | 0,041             | 20,36                | 0,44        |
| 0,068 | 0,027 | -0,013 | -0,034 | 0,020             | 9,93                 | 0,35        |
| 0,041 | 0,017 | -0,008 | -0,019 | 0,013             | 6,45                 | 0,23        |
|       |       |        |        | $\rho$ total (mm) |                      | 1,67        |

### 3.2.2.3. Sapata S22

De maneira análoga a apresentada em 3.2.2.1 e 3.2.2.2, foram feitos os cálculos para a Sapata S22. Os resultados obtidos foram conforme os apresentados nas Tabelas 3.12, 3.13 e 3.14.

Tabela 3.15– Recalque devido ao carregamento próprio da Sapata S22

| k                 | $\Delta\sigma$ (kPa) | $\rho$ (mm) |
|-------------------|----------------------|-------------|
| 0,248             | 492,56               | 4,14        |
| 0,237             | 470,71               | 3,96        |
| 0,205             | 407,15               | 6,84        |
| 0,134             | 266,14               | 2,45        |
| 0,071             | 141,01               | 2,18        |
| 0,032             | 62,92                | 1,46        |
| 0,015             | 29,79                | 0,64        |
| 0,008             | 15,89                | 0,57        |
| 0,005             | 9,93                 | 0,35        |
| $\rho$ total (mm) |                      | 22,59       |

Tabela 3.16– Recalque devido ao carregamento de S15 em S22

| K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | K <sub>4</sub> | ΣK    | Δσ    | ρ    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|------|
| 0,248          | 0,249          | -0,248         | -0,249         | 0,000 | 0,00  | 0,00 |
| 0,219          | 0,242          | -0,218         | -0,241         | 0,002 | 1,04  | 0,01 |
| 0,159          | 0,211          | -0,156         | -0,207         | 0,007 | 3,64  | 0,06 |
| 0,106          | 0,164          | -0,099         | -0,153         | 0,018 | 9,35  | 0,09 |
| 0,066          | 0,112          | -0,055         | -0,094         | 0,029 | 15,06 | 0,23 |
| 0,036          | 0,064          | -0,026         | -0,047         | 0,027 | 14,02 | 0,33 |
| 0,021          | 0,037          | -0,014         | -0,025         | 0,019 | 9,87  | 0,21 |
| 0,012          | 0,020          | -0,007         | -0,012         | 0,013 | 6,75  | 0,24 |
| 0,006          | 0,011          | -0,004         | -0,007         | 0,006 | 3,12  | 0,11 |
| ρ total (mm)   |                |                |                |       |       | 1,28 |

Tabela 3.17– Recalque devido ao carregamento de S16 em S22

| K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | K <sub>4</sub> | ΣK    | Δσ    | ρ     |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|
| 0,250          | 0,249          | -0,25          | -0,249         | 0,000 | 0,00  | 0,000 |
| 0,249          | 0,242          | -0,248         | -0,241         | 0,002 | 0,09  | 0,008 |
| 0,246          | 0,213          | -0,24          | -0,216         | 0,003 | 1,43  | 0,025 |
| 0,237          | 0,160          | -0,217         | -0,171         | 0,009 | 4,46  | 0,041 |
| 0,211          | 0,102          | -0,174         | -0,121         | 0,019 | 8,94  | 0,138 |
| 0,159          | 0,052          | -0,112         | -0,07          | 0,029 | 14,40 | 0,334 |
| 0,119          | 0,025          | -0,068         | -0,042         | 0,036 | 16,68 | 0,362 |
| 0,067          | 0,006          | -0,039         | -0,024         | 0,012 | 4,97  | 0,177 |
| 0,040          | 0,008          | -0,023         | -0,014         | 0,011 | 3,46  | 0,195 |
| ρ total (mm)   |                |                |                |       |       | 1,28  |

#### 3.2.2.4. Validação da Planilha

Para validar a planilha, foi feita a mesma análise realizada nessa seção na mesma, inserindo os dados da Tabela 3.1 como dados de entrada.

Os resultados obtidos nas seções 3.2.2.1, 3.2.2.2 e 3.2.2.3 foram conforme os apresentados na Tabela 3.15 e os calculados pela planilha na Tabela 3.16

Tabela 3.18– Valores calculados

|     | Recalque próprio (mm) | Recalques induzidos(mm) |      | Recalque total(mm) |
|-----|-----------------------|-------------------------|------|--------------------|
| S15 | 17,50                 | 2,32                    | 2,98 | 22,80              |
| S16 | 21,40                 | 1,22                    | 1,67 | 24,29              |
| S22 | 22,59                 | 1,28                    | 1,28 | 25,15              |

Tabela 3.19 – Valores fornecidos pela planilha

|     | Recalque próprio (mm) | Recalques induzidos(mm) |      | Recalque total(mm) |
|-----|-----------------------|-------------------------|------|--------------------|
| S15 | 17,40                 | 2,17                    | 2,87 | 22,45              |
| S16 | 21,44                 | 1,23                    | 1,63 | 24,30              |
| S22 | 22,38                 | 1,28                    | 1,34 | 25,00              |

Comparando os recalques Totais da Tabela 3.15 com a Tabela 3.16, da para se notar uma diferença máxima de 1,54%, o que é justificável pelos constantes arredondamentos que foram feitos no cálculo realizado à mão, o que deixa perfeitamente válida e confiável os resultados obtidos pela planilha de cálculo de recalques.

### 3.3. COMBINAÇÕES CRÍTICAS

Assim como toda metodologia de análise estrutural, o software AltoQiEberick também faz a análise de várias combinações possíveis e utiliza para o dimensionamento de cada elemento, aquela considerada crítica, isto é, a mais desfavorável possível e que consequentemente necessitaria de um elemento mais robusto, com maiores quantidades de armadura.

De maneira análoga ao dimensionamento estrutural, para analisar a interação solo-estrutura, deve-se levar em conta os diferentes comportamentos que a estrutura sofre em função dos diferentes e possíveis efeitos externos que ela possa receber durante sua vida útil. Entretanto, não se pode considerar a combinação crítica para cada elemento, como é feita no dimensionamento estrutural, pois como é feita uma análise de toda estrutura trabalhando ao mesmo tempo, deve-se levar em conta apenas combinação crítica para todo o edifício como um todo.

Como já foi dito neste capítulo, o software AltoQi Eberick tem a opção de fornecer o Relatório de Esforços na Fundação para a estrutura em análise, e esse relatório dependendo da seleção do operador pode fornecer os esforços para até 37 combinações diferentes. Ao fazer essa análise do primeiro relatório gerado (pilares engastados na fundação) foi constatado que o que mais influencia na diferença entre as combinações é a direção e o sentido do vento, que alteram completamente os momentos de cada elemento e variam também os esforços verticais.

Com isso, para ser feita uma análise mais completa, deve-se analisar não apenas uma combinação crítica para todo o edifício, mas sim uma combinação crítica para cada direção e sentido de vento, ou melhor, considerando os eixos X e Y, serão feitas quatro análises, pegando as combinações críticas para os ventos nos sentidos X+, X-, Y+ e Y-, sendo estes os eixos definidos pelo software AltoQiEberick.

Os agentes considerados para as 37 combinações para o cálculo dos esforços nas fundações são:

- Peso Próprio (G1);
- Carga Adicional (G2);
- Solo (S);
- Carga Acidental (Q);
- Água (A);
- Vento X+ (V1);
- Vento X- (V2);
- Vento Y+ (V3);
- Vento Y- (V4).

Por se tratar de esforços na fundação, não é considerado os efeitos do desaprumo do edifício.

Dentre todas as 37 combinações geradas pelo software AltoQi Eberick, as combinações consideradas críticas que ocorreram com maior recorrência nos elementos e gerou um maior carregamento em toda a fundação do edifício, para cada vento, e por sua vez foram as analisadas neste trabalho conforme as apresentadas na Tabela 3.17.

Tabela 3.20– Combinações Críticas

| Direção/Sentido | X+ (V1)                       | X- (V2)                       | Y+ (V3)                       | Y- (V4)                       |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Comb. Crítica   | $G1 + G2 + S + Q + A + 0,6V1$ | $G1 + G2 + S + Q + A + 0,6V2$ | $G1 + G2 + S + Q + A + 0,6V3$ | $G1 + G2 + S + Q + A + 0,6V4$ |

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão da análise e resultados, ao se referir a alguns espaços específicos definidos no projeto e procedimentos de cálculos, foram consideradas duas divisões principais na região total da edificação: torre e área externa.

A torre é a região compreendida pelo edifício e com seus pilares e pavimentos e a área externa a região compreendida pelas lajes dos pavimentos de estacionamento e pilares externos à torre. Nesta mesma compreensão os pilares da torre foram divididos em dois grupos: os da periferia da torre e os do centro da torre.

Primeiramente, a planilha de cálculo de recalques forneceu o primeiro conjunto de previsão de recalques nos elementos de fundação (situação engastada) e com as cargas críticas definidas, calculou-se os primeiros coeficientes de rigidez e então o modelo estrutural do edifício no AltoQi Eberick foi configurado para ter seus elementos de fundação com estes coeficientes. Após o processamento dos dados foi obtido os resultados da primeira iteração.

Foram necessárias 6 iterações para que a variação de carga nos elementos de fundação tendesse a zero, sendo esta tendência o critério de parada, ou seja,  $d_i = 0$ . Para que as iterações fossem consideradas como concluídas, foi feito a medição da porcentagem de variação de carga entre uma iteração e outra, como mostra a equação 4.1.

$$d_i = \frac{(P_i - P_{i-1})}{P_i} \times 100\% \quad (4.1)$$

Onde:

- $d_i$ : porcentagem de variação de carga na iteração  $i$
- $P_i$ : carga analisada na iteração  $i$
- $P_{i-1}$ : carga analisada na iteração  $i-1$

A primeira verificação realizada após a execução das iterações foi que parte da carga vertical presente na somatória de carregamento de todos os pilares da torre, após a interação solo estrutura, migra para a área externa seguindo um padrão aproximado para cada

vento, conforme a Figura 4.1, sendo que a migração média foi de 2,30% de carga vertical, correspondendo a aproximadamente 436,5 toneladas, em média.

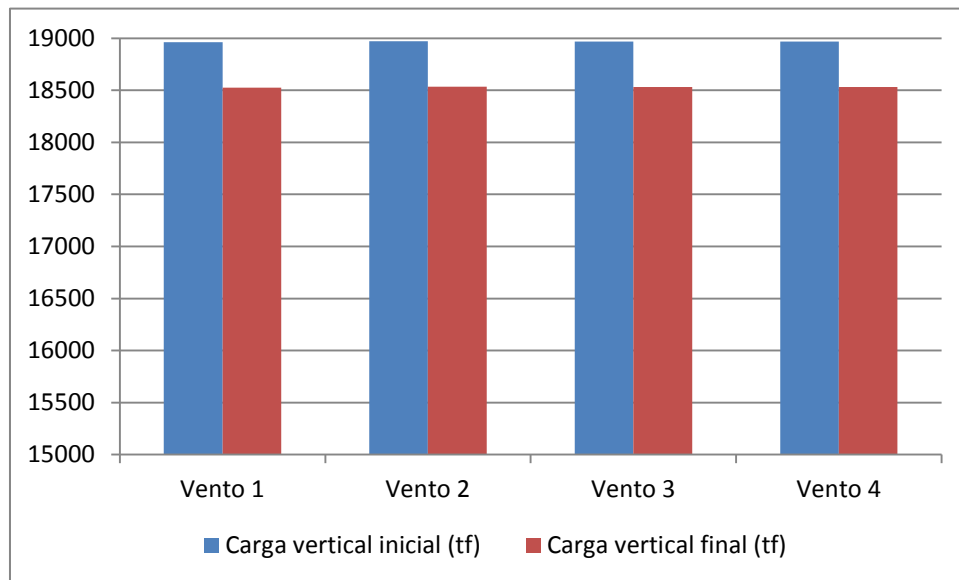


Figura 4.1- Carga vertical total inicial e final da torre antes e após as iterações

Outra verificação realizada foi que o padrão de variação de esforços na fundação ocorreu de forma semelhante para as quatro combinações de cargas analisadas. A única diferença considerável foi a carga inicial em cada pilar, sendo esta situação já esperada, pois dependendo do sentido de atuação de cada carga de vento pode-se mudar os esforços em determinadas fundações em função de sua posição geométrica. Porém a variação obedeceu a um padrão.

Para observação desta situação foi feita uma média das variações de cargas na fundação em todos os pilares da torre, em cada iteração. A variação percentual positiva, indica carregamento e a negativa indica descarregamento. Os dados são apresentados na Tabela 4.1 e Figura 4.2.



Tabela 4.1- Valores de variações de cargas médias para todos os pilares da torre

| Iteração | Vento 1 | Vento 2 | Vento 3 | Vento 4 |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| 1        | 2.04%   | 2.08%   | 2.06%   | 2.07%   |
| 2        | 0.39%   | 0.34%   | 0.38%   | 0.36%   |
| 3        | 0.17%   | 0.13%   | 0.16%   | 0.14%   |
| 4        | 0.12%   | 0.09%   | 0.11%   | 0.10%   |
| 5        | 0.09%   | 0.08%   | 0.08%   | 0.08%   |
| 6        | 0.07%   | 0.06%   | 0.07%   | 0.06%   |

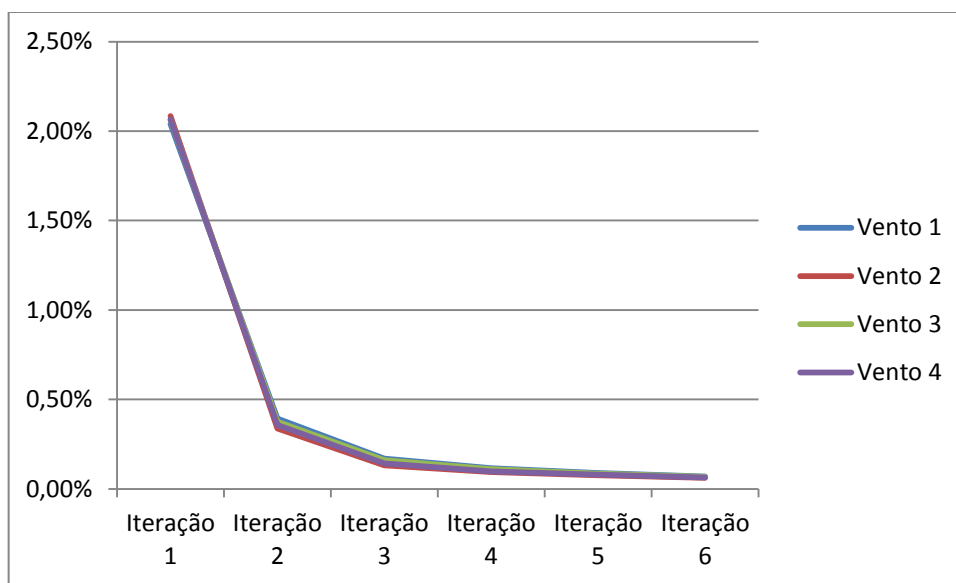


Figura 4.2- Valores de variações de cargas média para os pilares da torre

Como dito anteriormente, observa-se nesta situação de valores médios que a variação, para todos os ventos, obedece a um padrão.

Na sequência foi analisado particularmente o pilar que mais apresentou diferença no padrão de variação de carga. Dentre os pilares da torre o que mais apresentou diferença neste padrão foi o P2, sendo que na primeira iteração observou-se carregamento e nas iterações subsequentes observou-se descarregamento, como demonstrado na Tabela 4.2 e Figura 4.3.

Tabela 4.2- Valores de variação de esforços na fundação em cada iteração para o pilar P2 da torre

| Iteração | Vento 1 | Vento 2 | Vento 3 | Vento 4 |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| 1        | 3.04%   | 7.45%   | 5.09%   | 5.21%   |
| 2        | -2.21%  | -1.10%  | -1.71%  | -1.64%  |
| 3        | -1.20%  | -0.86%  | -1.06%  | -1.00%  |
| 4        | -0.51%  | -0.38%  | -0.45%  | -0.43%  |
| 5        | -0.18%  | -0.13%  | -0.16%  | -0.15%  |
| 6        | -0.05%  | -0.02%  | -0.04%  | -0.03%  |

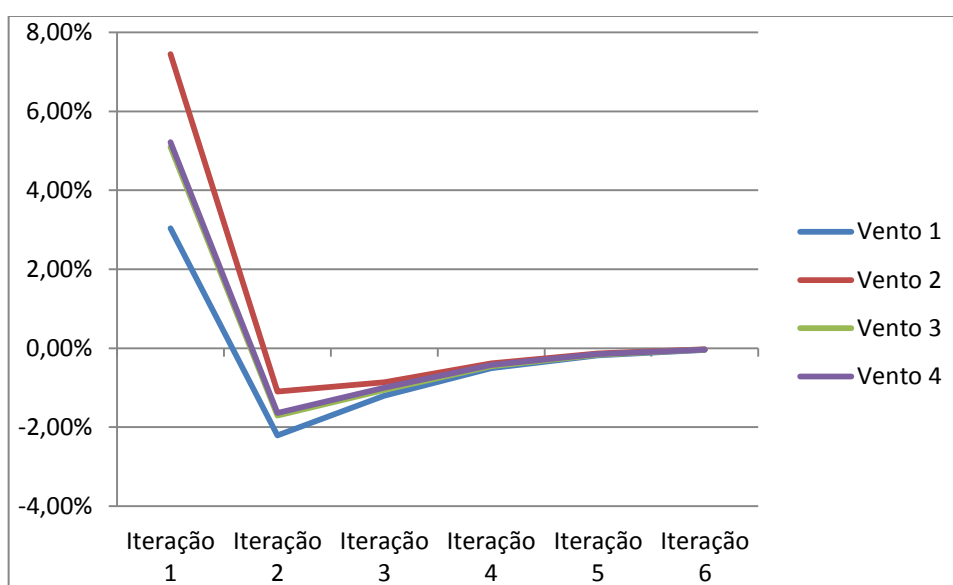


Figura 4.3- Valores de variações de cargas na fundação para os pilares P2 da torre

Mesmo o pilar P2 apresentando uma diferença inicial entre o Vento 1 e o Vento 2 de 4,41%, nas taxas de variação de esforço em sua fundação na primeira iteração, é verificado um padrão de minimização da taxa de variação das cargas, sendo que nas iterações subsequentes esta diferença é reduzida até ser praticamente zerada.

Desta forma conclui-se que não existem situações específicas a serem consideradas na taxa de variação de cargas em cada iteração, em relação às diferentes combinações de cargas de vento, sendo que este padrão é mantido para estas combinações, ou seja, as redistribuições de cargas e recalques são muito semelhantes para as combinações de esforços críticas das quatro cargas de vento.

Uma situação particular encontrada foi a demora de minimização da diferença de carga do pilar P10, esta demora foi constatada de forma semelhante nas quatro combinações críticas. A média das quatro combinações na sexta iteração atingiu o valor de 2,26% na variação de carga, enquanto os demais pilares já estavam bem próximos de 0% já na iteração anterior.

No exemplo ilustrado pela Figura 4.4, é verificado que o pilar P15 chega próximo de zerar sua variação de forma mais rápida que o pilar P10, sendo que os percentuais de diferença adotados referem-se a média entre as quatro combinações de vento analisadas. Isto pode ter ocorrido devido ao fato do pilar P10, e a sapata correspondente a ele, estarem localizados na periferia próxima a duas sapatas bem carregadas: S5/8 e S12/13. Este posicionamento geométrico pode ocasionar migração excessiva de carga para o pilar P10, em cada iteração, sendo que a sapata correspondente a ele recebe esforço de magnitude bem inferior às sapatas S5/8 e S12/13.

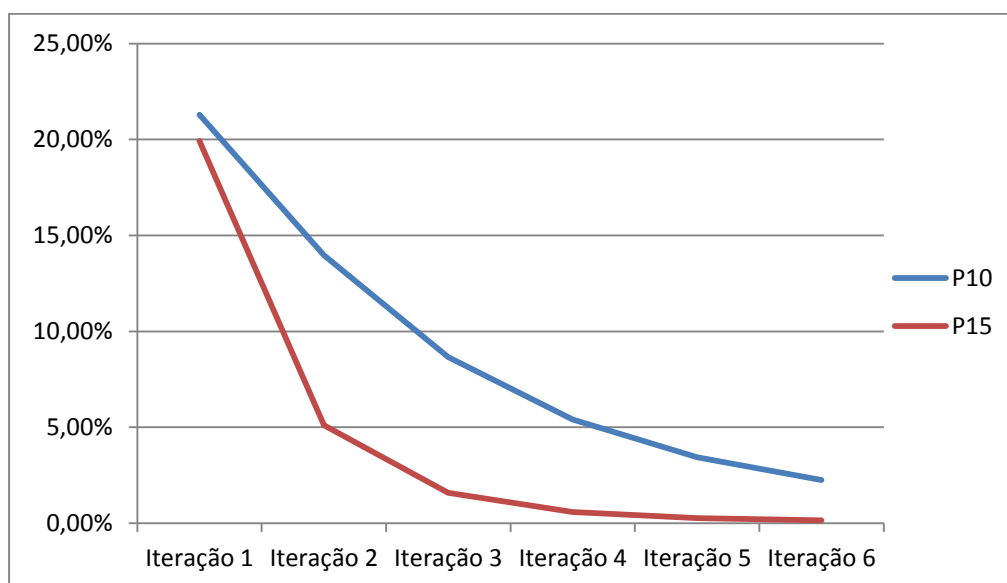


Figura 4.4- Variação de esforços média para os pilares P10 e P15

Também para exemplificar esta influência foram extraídos da planilha de recalque, vento 3, situação engastada, os dados referentes a recalque próprio e recalque induzido na sapata S10. Verificou-se que do total de 28,81 mm de recalque sofrido, apenas 7,31 mm correspondem ao recalque devido ao carregamento próprio da sapata, configurando que 74,6% do recalque sofrido correspondem à influência de outras sapatas, principalmente

dos elementos maiores à sua volta. Assim, um pequeno alívio das sapatas carregadas do seu entorno pode significar uma grande influência de carga na sapata com carregamento de menor magnitude.

Para análise dos perfis de redistribuição de cargas e recalque na torre foram propostos os cortes da Figura 4.5, que compara a situação engastada (Recalque inicial) com a situação após a consideração da interação solo-estrutura (Recalque final).

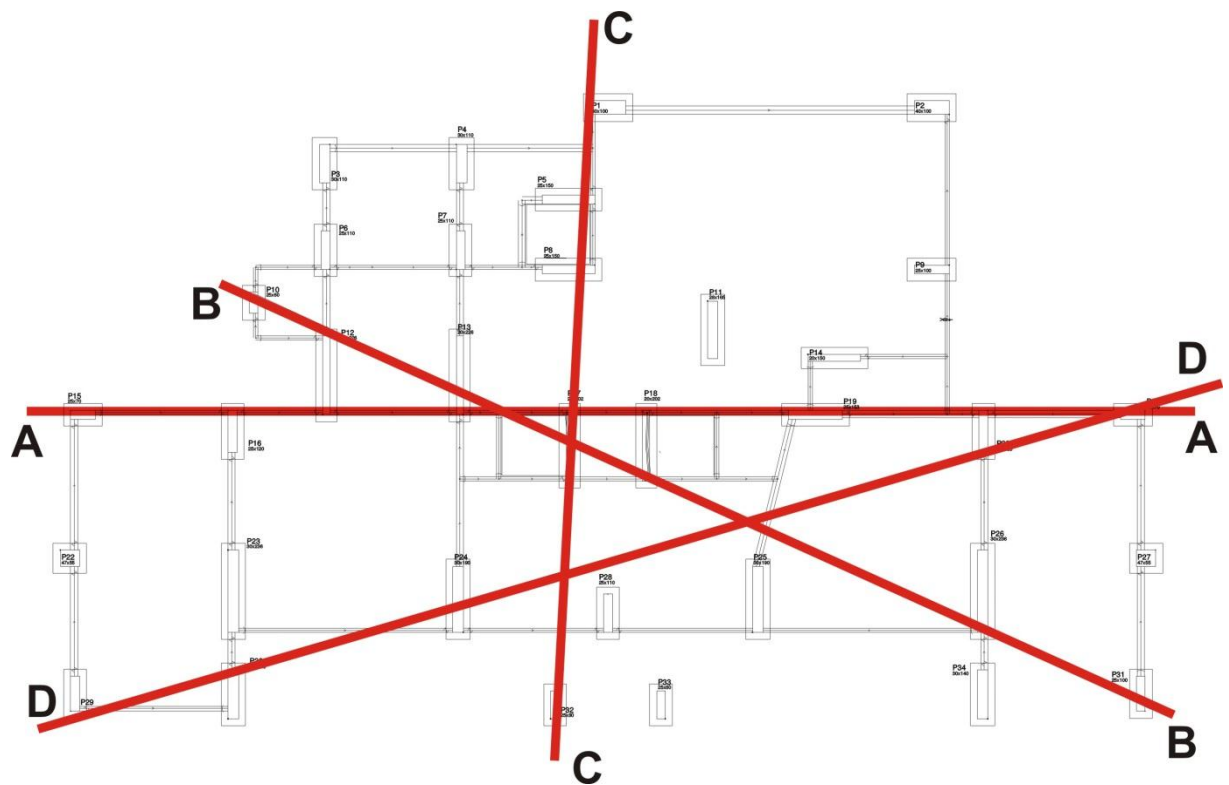


Figura 4.5– Mapa de cortes na torre

Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 4.6 à 4.37.

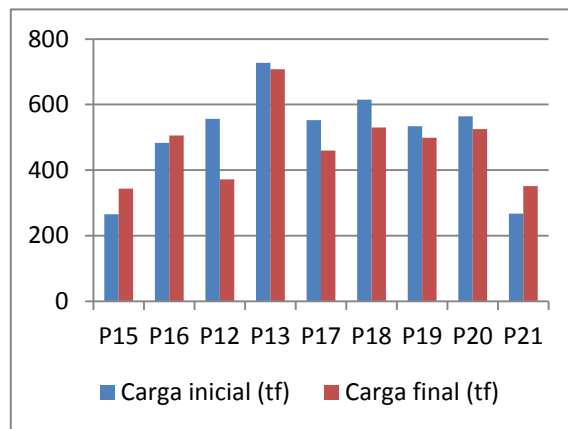


Figura 4.6- Redistribuição de cargas – Vento 1 –  
Corte A-A

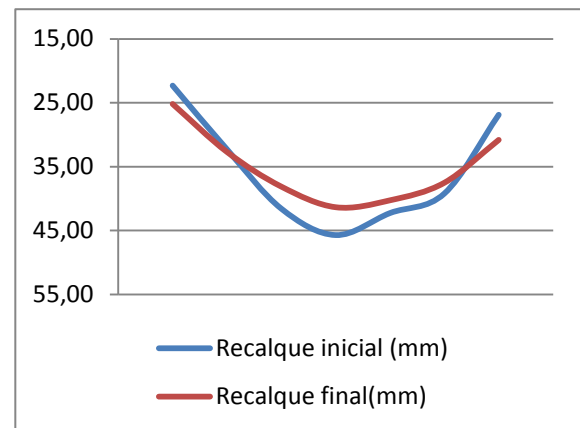


Figura 4.7– Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte A-A

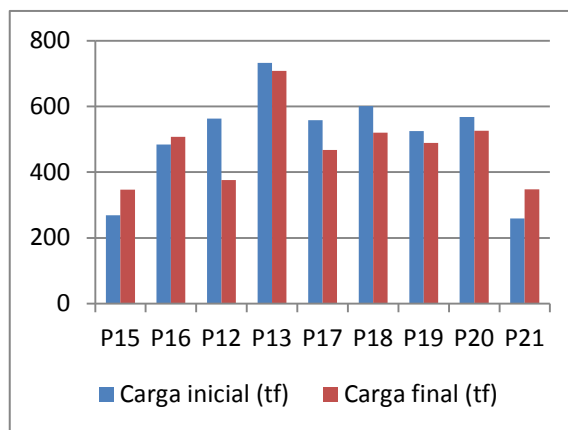


Figura 4.8- Redistribuição de cargas – Vento 2 –  
Corte A-A

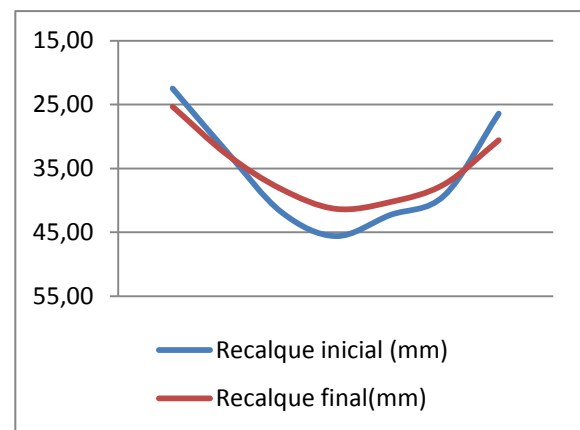


Figura 4.9– Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte A-A

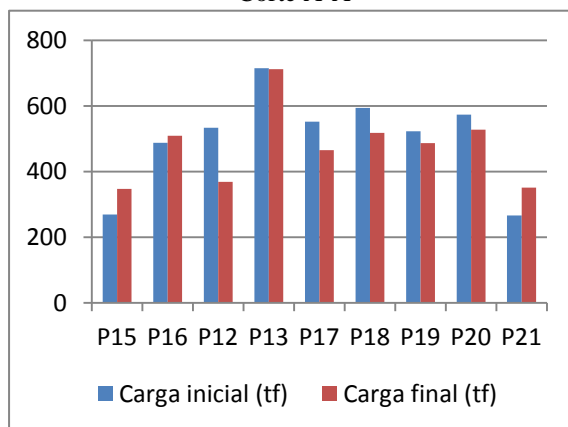


Figura 4.10 - Redistribuição de cargas – Vento 3 –  
Corte A-A

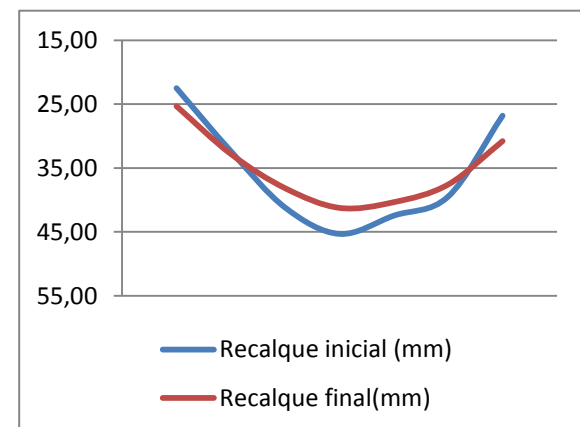


Figura 4.11 – Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte A-A

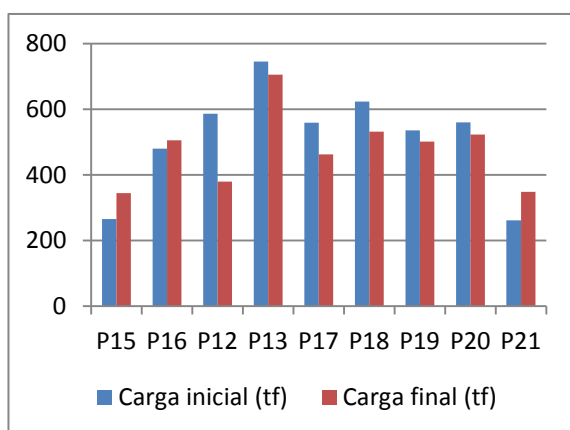


Figura 4.12 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte A - A

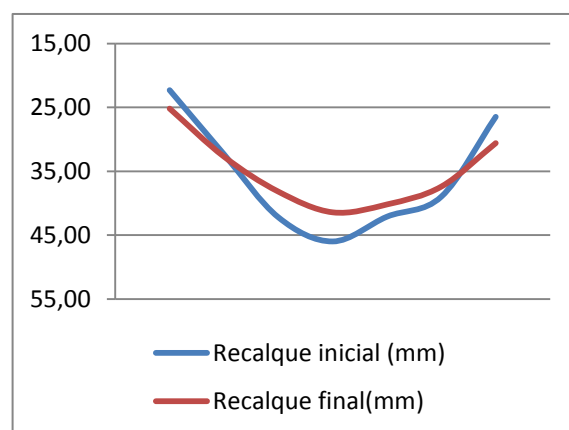


Figura 4.13– Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte A- A

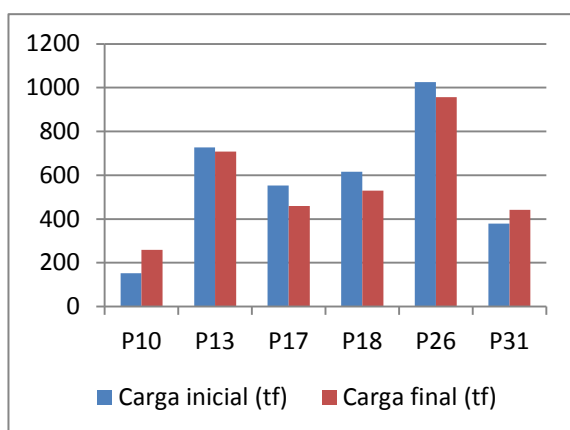


Figura 4.14- Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte B-B

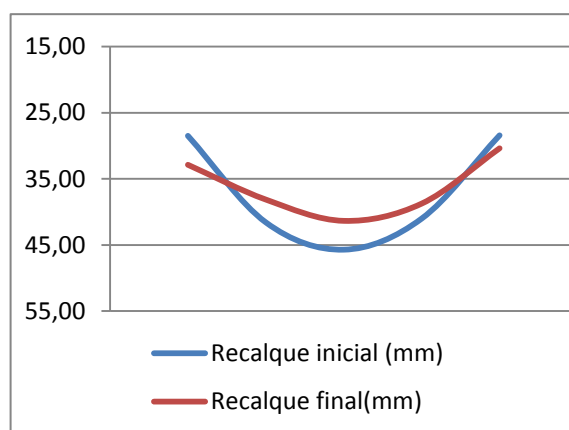


Figura 4.15– Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte B- B

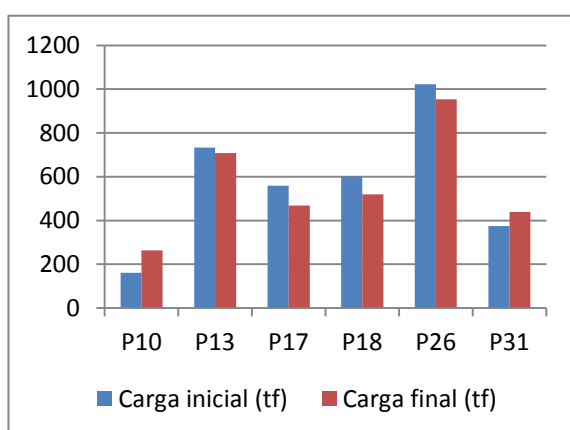


Figura 4.16- Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte B-B

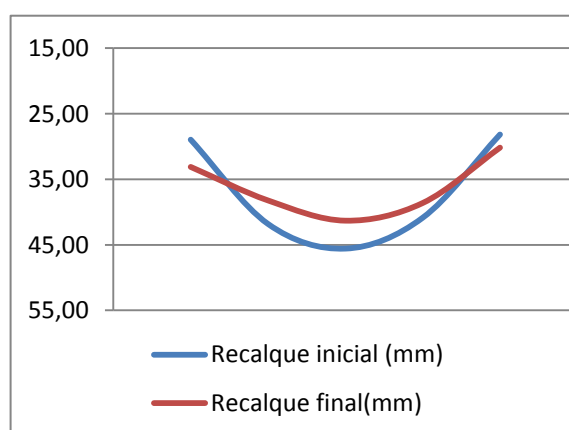


Figura 4.17– Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte B- B

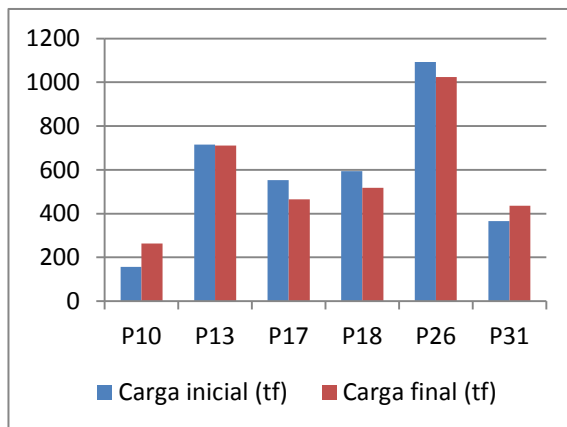


Figura 4.18 - Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte B-B

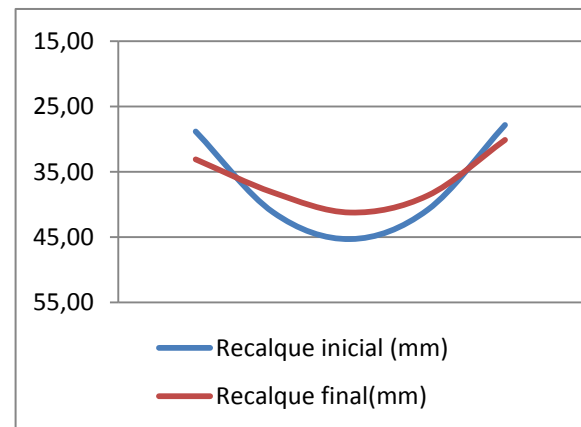


Figura 4.19– Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte B-B

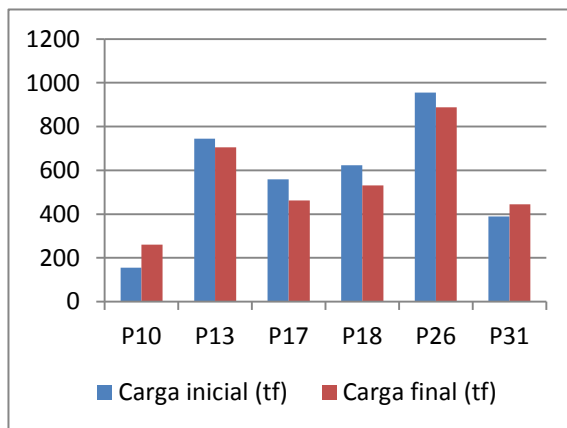


Figura 4.20- Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte B-B

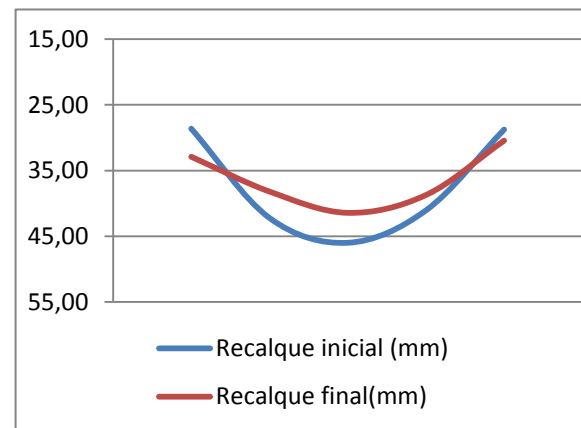


Figura 4.21– Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte B-B

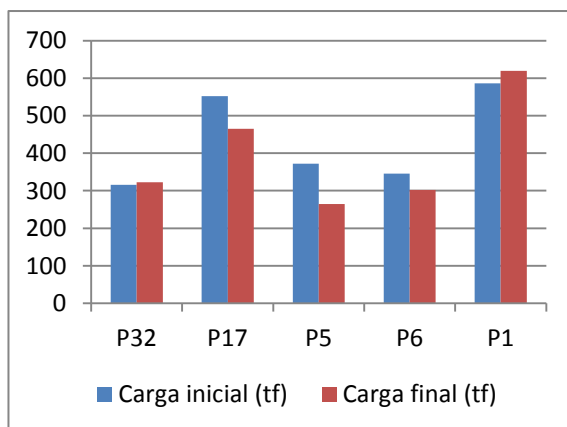


Figura 4.22 - Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte C-C

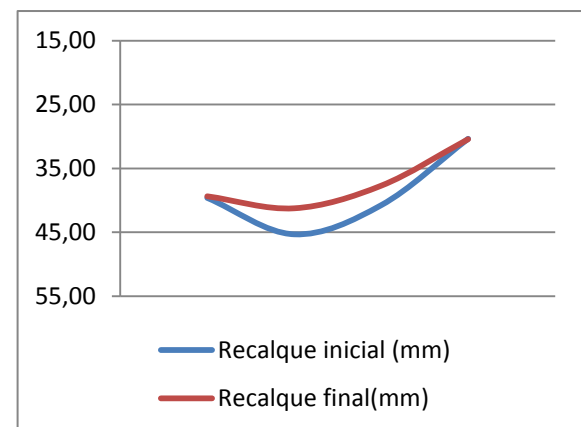


Figura 4.23– Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte C-C

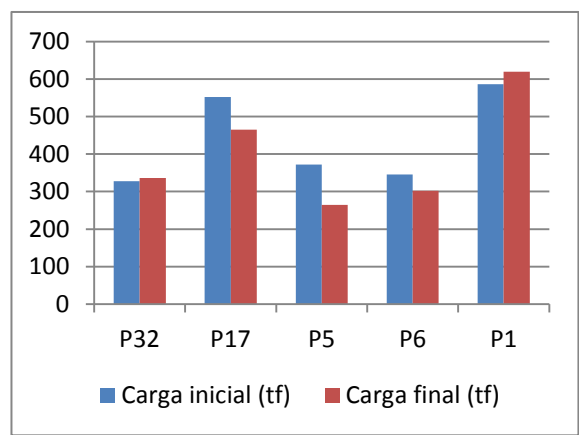


Figura 4.24- Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte C-C

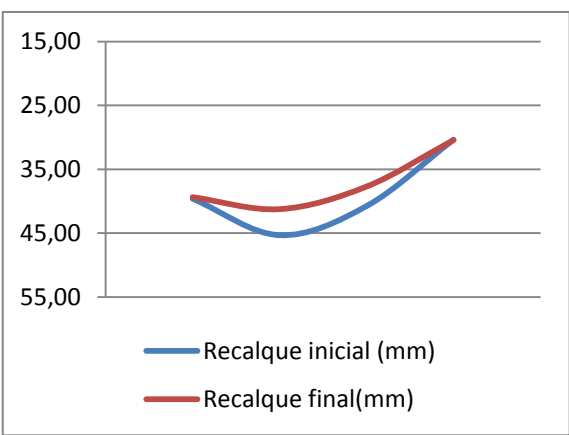


Figura 4.25– Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte C-C

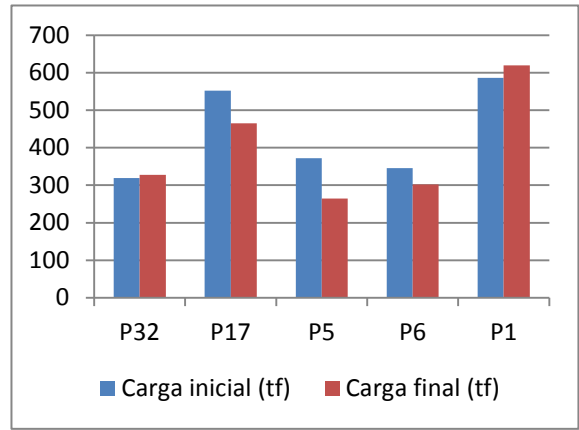


Figura 4.26- Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte C-C

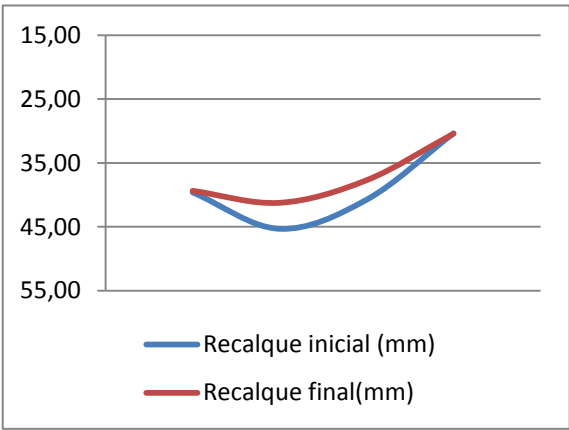


Figura 4.27– Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte C-C

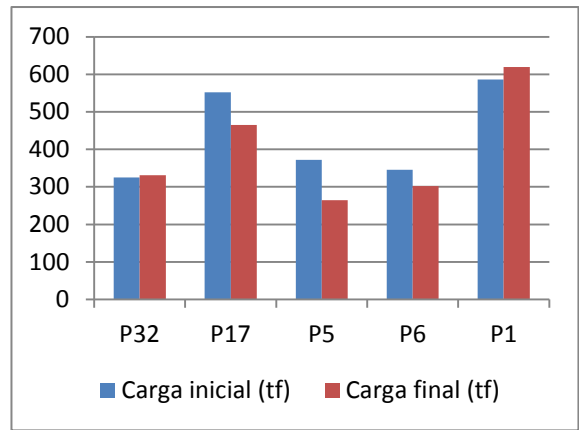


Figura 4.28 - Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte C-C

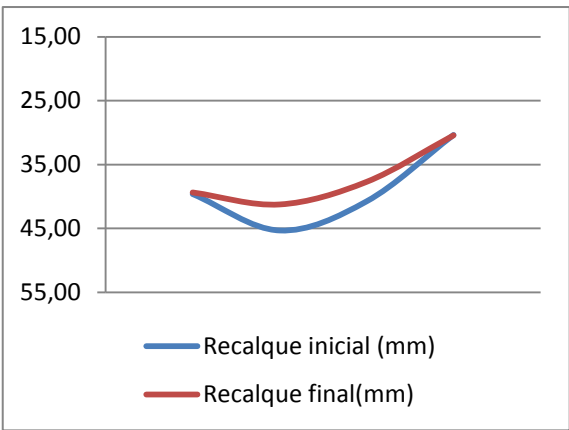


Figura 4.29 - Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte C-C



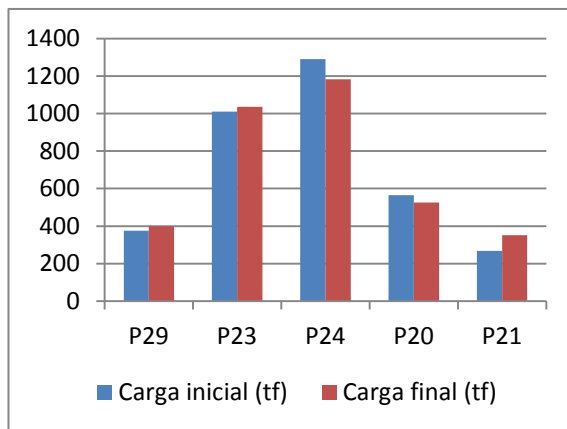


Figura 4.30- Redistribuição de cargas – Vento 1 – Corte D-D

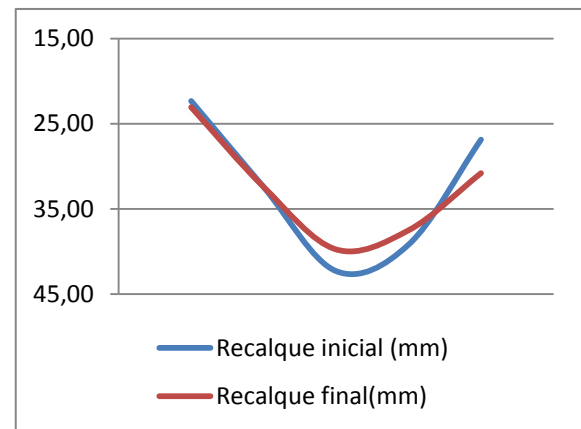


Figura 4.31– Perfil de Recalque – Vento 1 – Corte D-D

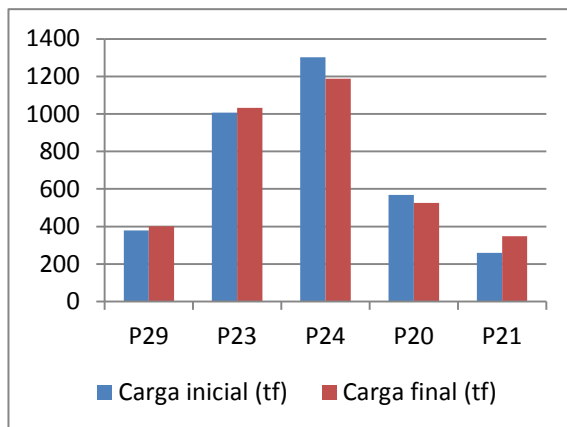


Figura 4.32- Redistribuição de cargas – Vento 2 – Corte D-D

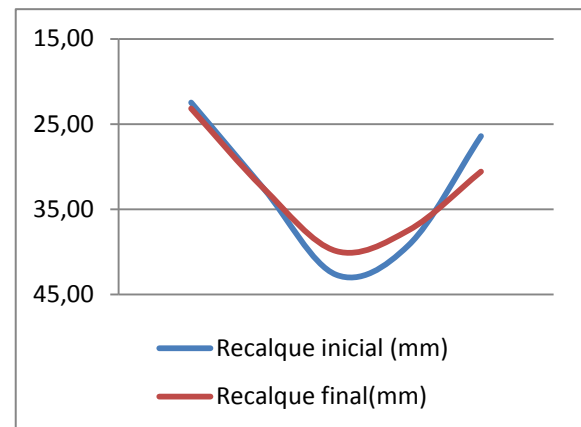


Figura 4.33– Perfil de Recalque – Vento 2 – Corte D-D

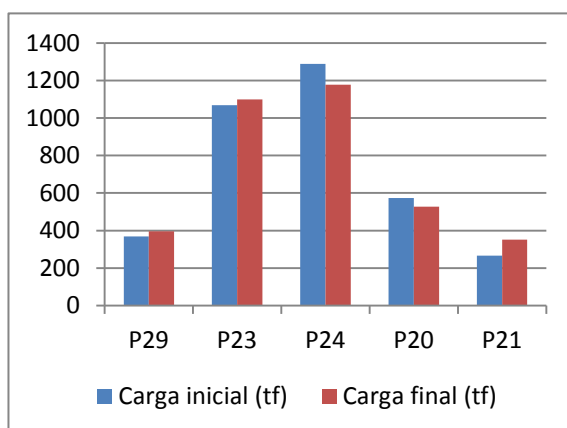


Figura 4.34- Redistribuição de cargas – Vento 3 – Corte D-D

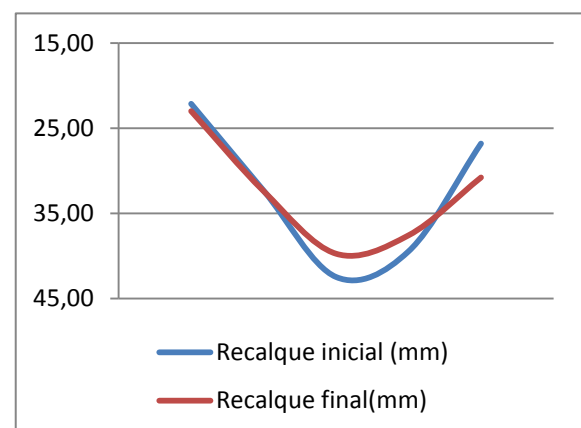


Figura 4.35– Perfil de Recalque – Vento 3 – Corte D-D

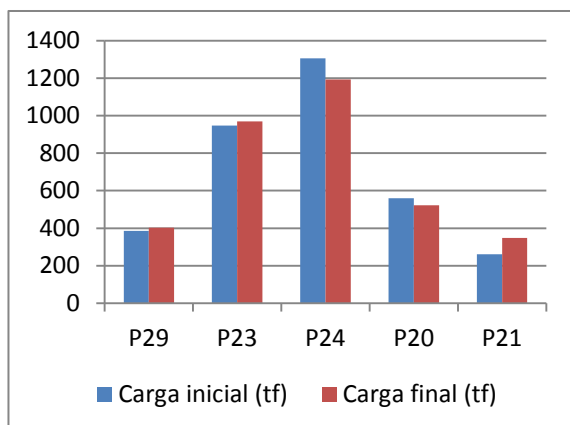


Figura 4.36- Redistribuição de cargas – Vento 4 – Corte D-D

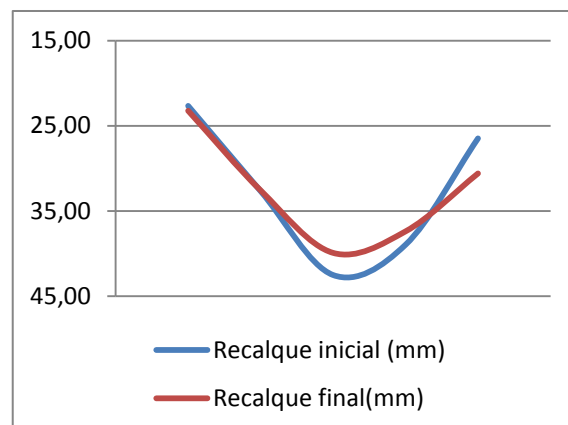


Figura 4.37– Perfil de Recalque – Vento 4 – Corte D-D

É observada uma tendência de alívio de carga no centro da torre, demarcadas em azul na Figura 4.38, sendo que as demais áreas sofreram acréscimo de carga ou se mantiveram constantes. Assim, os perfis de recalques se apresentaram com uma atenuação da linha de recalque quando comparado o recalque final com o inicial.

Na torre, alguns perfis de recalques não obedeceram uma tendência de suavização do recalque final mais presente na maioria dos casos, entretanto todos esses perfis suavizaram. Alguns elementos da área externa não sofreram aumento de carga, isso pode ter ocorrido devido à disposição geométrica dos elementos estruturais e características locais do solo. Se este fosse um modelo ideal, onde os elementos estruturais e cargas estivessem distribuídos simetricamente e o solo homogêneo seria esperado tanto na situação da torre quanto na da área externa, após a análise da interação solo estrutura, uma migração de carga simétrica do centro para a periferia da torre e área externa, bem como uma suavização uniforme dos recalques.

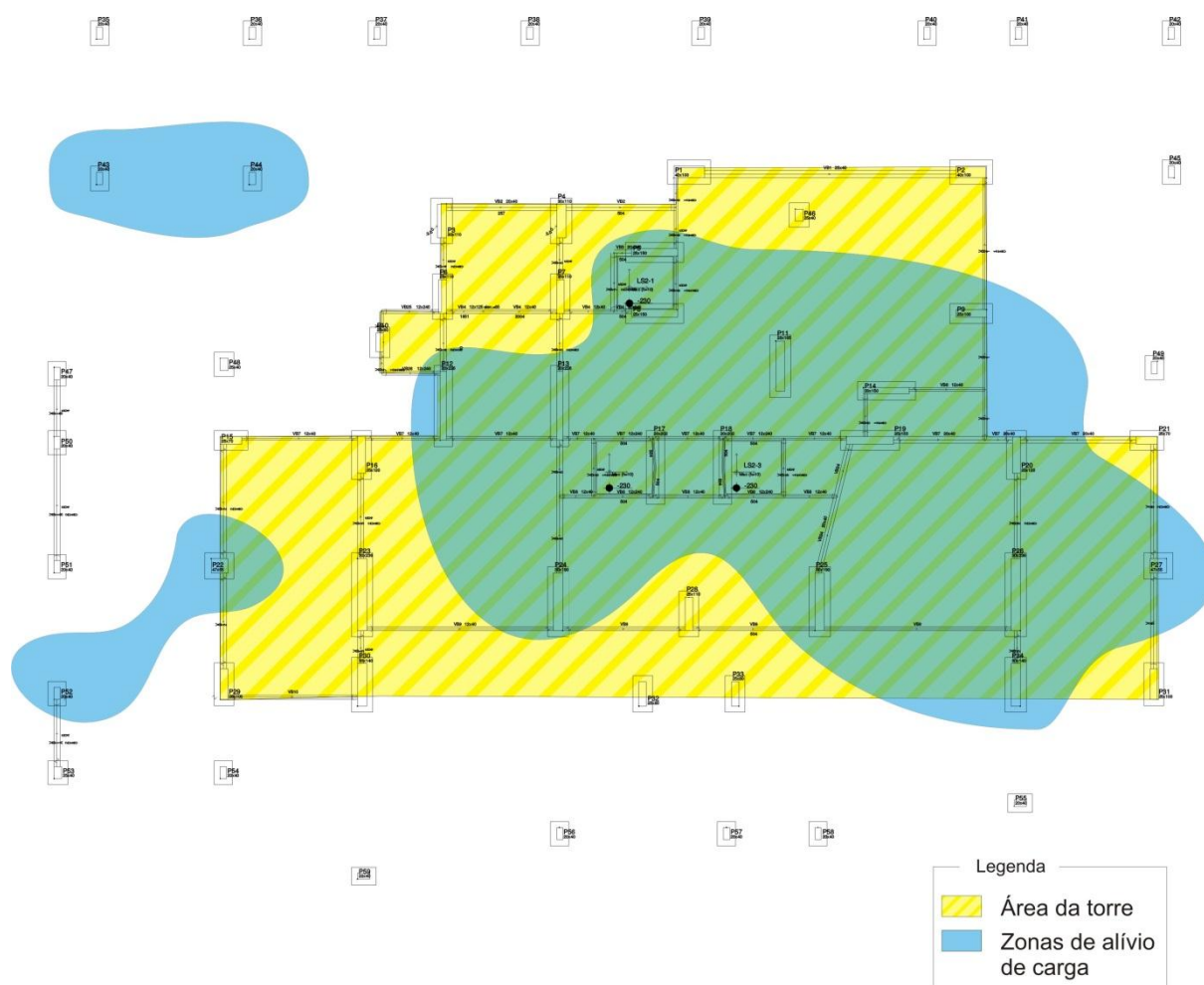


Figura 4.38 – Zoneamento de alívio e acréscimo de carga



#### Legenda

- Área que delimita grupo de sapatas que recebem carregamento da torre
- Sapatas com alívio de carga

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Neste trabalho foi mostrado a importância da consideração dos efeitos da interação solo estrutura. O estudo foi composto por uma revisão da literatura sobre o conceito de fundação e de fundações rasas, o método de previsão de recalque atual para fundações rasas, e os efeitos da interação solo estrutura. Em seguida foram mostrados os resultados de uma análise de uma estrutura com a consideração dos efeitos da interação solo-estrutura, podendo deste modo mostrar sua importância.

A análise do modelo estrutural com a consideração da interação solo estrutura confirmou a suavização das linhas de recalques e as migrações de cargas, sobrecarregando a periferia e aliviando os pilares centrais.

Tradicionalmente, com a consideração de projeto estrutural que os apoios no solo são engastados e, assim, indeslocáveis, geram cargas irreais nos apoios. Deste modo, os pilares bem como os elementos de fundação, não estão sendo dimensionados da melhor forma possível, pois não levam em consideração estas cargas alteradas.

Quanto aos coeficientes de segurança, pode-se afirmar que eles não estão sendo bem atendidos, pois como as cargas consideradas são diferentes das reais, então a segurança prevista com os coeficientes atuais não é a imaginada.

Após a análise das cargas da periferia da torre e área externa ao edifício, pode-se concluir que estas regiões são as que sofrem mais com os efeitos da interação solo estrutura. Quando a área externa ao edifício é conectada com ele, esta pode sofrer com recalques demasiadamente elevados e, assim, inviabilizar tecnicamente o projeto. Como geralmente não é feito a previsão de recalques, estes problemas só são encontrados no campo, após a execução da obra, surgindo um grande problema executivo que poderia ter sido evitado facilmente. Como sugestão de cálculo, para os modelos tradicionais, tem-se em criar juntas de dilatação entre o edifício e sua área externa.

Como mostrado no exemplo do Pilar 10, em pilares localizados na região de periferia da torre e próximos a elementos de fundação com elevadas cargas, pode-se reforçar estruturalmente estes pilares com uma maior área de aço, para garantir sua segurança. Pois,

estes pilares geralmente sofrem mais influência dos seus vizinhos, então seus recalques serão altos, aumentando consideravelmente a carga suportada pelo pilar deste elemento.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar uma comparação de uma estrutura finalizada com o modelo estrutural analisado após a consideração da interação solo estrutura, também pode-se simular outros mecanismos de redistribuição de cargas, como a falha de alguns elementos de fundação ou até mesmo as tensões previstas de uma parte do solo não serem as reais.

## REFERÊNCIAS

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6122**: Projeto de execução de fundações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.
- BOUSSINESQ, M. J. **Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques**. França. Université de Lille, v. 1, 1885, p 721.
- BOWLES, J. E. **Foundation Analysis and Design**. McGraw-Hill Book Company Limited. Inglaterra, 1988.
- DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 6ª edição americana. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- FABRÍCIO, M. M.; ROSSIGNOLO, J. A. **Fundações**, 2002. Disponível em: [http://www.profwillian.com/sistemas/Apostila\\_Fundacoes.pdf](http://www.profwillian.com/sistemas/Apostila_Fundacoes.pdf), acesso em 15/11/2013, às 15:00h.
- GUSMÃO, A. D. Aspectos Relevantes da Interação Solo-Estrutura em Edificações. **Solos e Rochas**. São Paulo, v 1, 1994, p 47 - 55.
- GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; MAIA, G. B. **Medições de Recalque de um Prédio em Recife**. In: Simpósio sobre Interação Solo-Estrutura em Edifícios, 2000, São Carlos - SP. **Anais...** São Carlos, 2000. v. CD-ROM.
- MAGALHÃES, P. H. L. (2005). **Avaliação dos Métodos de Capacidade de Carga e Recalque de Estacas Hélice Contínua via Provas de Carga**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-141/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 243p.
- NETO, A. D. F. N.; VARGAS, M.; **História das Fundações**. In: Vários autores. **Fundações: teoria e prática**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998, p 17-50.
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. **Elastic Solutions for Soil and Rock mechanics**. The University of Sydney. Sydney, 1974.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- SIMONS, N. E.; MENZIES, B. K. **Introdução à Engenharia de Fundações**. Tradução de Luciano J. Moraes Jr. e Esther Horovitz de Beermann; revisão técnica de João Luís Escosteguy Merino. – Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1981.
- SKEMPTON, A. W.; MACDONALD, D. H. **The allowable settlement of buildings**. Proc. I. C. E., Vol. 5, Nº 3, Pt. 3, 1956.
- TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. **Concepção de Obras de Fundações**. In: Vários autores. **Fundações: teoria e prática**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998, p 227-264.
- VELLOSO, D.; LOPES, F. R. **Concepção de Obras de Fundações**. In: Vários autores. **Fundações: teoria e prática**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1998, p 211-226.

## APÊNDICE A – Iterações Vento 1

Tabela A. 1– Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 1

| Sapatas   | Situação inicial |              |                   | Iteração 1 |              |                   |
|-----------|------------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf)       | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 561,73           | 29,74        | 0%                | 593,17     | 29,95        | 5,6%              |
| S2        | 515,04           | 28,94        | 0%                | 530,69     | 29,43        | 3,0%              |
| R3/4/6/7  | 1499             | 37,31        | 0%                | 1508,5     | 36,90        | 0,6%              |
| R5/8      | 954,42           | 40,79        | 0%                | 884,49     | 38,78        | -7,3%             |
| S9        | 484,52           | 36,51        | 0%                | 484        | 36,05        | -0,1%             |
| S10       | 151,97           | 28,48        | 0%                | 185,46     | 29,66        | 22,0%             |
| R11/14/19 | 1776             | 42,25        | 0%                | 1705,9     | 40,64        | -3,9%             |
| R12/13    | 1283,9           | 41,57        | 0%                | 1173,1     | 39,46        | -8,6%             |
| S15       | 265,25           | 22,31        | 0%                | 318,64     | 24,26        | 20,1%             |
| S16       | 483,28           | 32,28        | 0%                | 497,38     | 32,46        | 2,9%              |
| S17/S18   | 1168             | 45,70        | 0%                | 1050,9     | 42,76        | -10,0%            |
| S20       | 564,1            | 39,20        | 0%                | 548,87     | 38,43        | -2,7%             |
| S21       | 267,88           | 26,87        | 0%                | 331,64     | 29,85        | 23,8%             |
| S22       | 589,74           | 25,72        | 0%                | 566,88     | 25,44        | -3,9%             |
| R23/30    | 1550,3           | 32,43        | 0%                | 1580,5     | 32,55        | 2,0%              |
| R24       | 1290,5           | 42,30        | 0%                | 1219,2     | 40,55        | -5,5%             |
| R25       | 1339,2           | 43,08        | 0%                | 1282,2     | 41,56        | -4,3%             |
| R26/34    | 1558             | 41,00        | 0%                | 1489,6     | 39,64        | -4,4%             |
| S27       | 602,59           | 33,14        | 0%                | 588,89     | 32,80        | -2,3%             |
| R28/32/33 | 1301,7           | 39,85        | 0%                | 1317,3     | 39,16        | 1,2%              |
| S29       | 375,74           | 22,34        | 0%                | 396,55     | 23,02        | 5,5%              |
| S31       | 379,34           | 28,40        | 0%                | 421,48     | 29,84        | 11,1%             |
| S35       | 13,49            | 2,16         | 0%                | 19,26      | 2,54         | 42,8%             |
| S36       | 28,47            | 4,84         | 0%                | 35,81      | 5,35         | 25,8%             |
| S37       | 24,78            | 6,58         | 0%                | 32,06      | 7,07         | 29,4%             |
| S38       | 34,29            | 9,62         | 0%                | 40,6       | 10,07        | 18,4%             |
| S39       | 33,31            | 10,60        | 0%                | 41,4       | 11,14        | 24,3%             |
| S40       | 24,54            | 9,11         | 0%                | 31,56      | 9,79         | 28,6%             |
| S41       | 20,79            | 8,88         | 0%                | 25,1       | 9,72         | 20,7%             |
| S42       | 16,16            | 3,78         | 0%                | 34,9       | 5,52         | 116,0%            |
| S43       | 53,55            | 6,25         | 0%                | 49,91      | 6,04         | -6,8%             |
| S44       | 86,98            | 11,84        | 0%                | 85,49      | 11,74        | -1,7%             |
| S45       | 43,48            | 8,73         | 0%                | 91,34      | 12,79        | 110,1%            |



|     |       |       |    |       |       |        |
|-----|-------|-------|----|-------|-------|--------|
| S46 | 36,49 | 23,52 | 0% | 50,43 | 24,75 | 38,2%  |
| S47 | 38,93 | 7,50  | 0% | 48,05 | 8,34  | 23,4%  |
| S48 | 63,52 | 16,31 | 0% | 88,14 | 18,57 | 38,8%  |
| S49 | 30,03 | 15,78 | 0% | 55,78 | 18,90 | 85,7%  |
| S50 | 52,98 | 9,35  | 0% | 56,81 | 9,80  | 7,2%   |
| S51 | 49,57 | 9,71  | 0% | 50,49 | 9,85  | 1,9%   |
| S52 | 37,47 | 8,42  | 0% | 38,99 | 8,65  | 4,1%   |
| S53 | 32,73 | 6,55  | 0% | 39,39 | 7,13  | 20,3%  |
| S54 | 47,48 | 13,65 | 0% | 69,94 | 15,66 | 47,3%  |
| S55 | 15,15 | 12,49 | 0% | 37,16 | 14,76 | 145,3% |
| S56 | 30,83 | 12,47 | 0% | 46,04 | 13,64 | 49,3%  |
| S57 | 9,45  | 12,02 | 0% | 13,71 | 12,54 | 45,1%  |
| S58 | 28,66 | 12,36 | 0% | 44,94 | 13,62 | 56,8%  |
| S59 | 18,27 | 7,77  | 0% | 31,1  | 8,80  | 70,2%  |

Tabela A. 2– Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 1

| Sapatas   | Iteração 2 |              |                   | Iteração 3 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 604,07     | 30,10        | 1,8%              | 608,42     | 30,18        | 0,7%              |
| S2        | 518,96     | 28,98        | -2,2%             | 512,71     | 28,73        | -1,2%             |
| R3/4/6/7  | 1529,3     | 37,07        | 1,4%              | 1540,5     | 37,19        | 0,7%              |
| R5/8      | 861,41     | 38,21        | -2,6%             | 850,85     | 37,95        | -1,2%             |
| S9        | 483,34     | 35,87        | -0,1%             | 483,35     | 35,80        | 0,0%              |
| S10       | 212,34     | 30,81        | 14,5%             | 231,51     | 31,64        | 9,0%              |
| R11/14/19 | 1702,4     | 40,38        | -0,2%             | 1705,3     | 40,32        | 0,2%              |
| R12/13    | 1129,1     | 38,78        | -3,7%             | 1105,9     | 38,46        | -2,1%             |
| S15       | 335,22     | 24,84        | 5,2%              | 340,66     | 25,03        | 1,6%              |
| S16       | 500,94     | 32,53        | 0,7%              | 502,29     | 32,57        | 0,3%              |
| S17/S18   | 1018       | 42,00        | -3,1%             | 1004,3     | 41,69        | -1,3%             |
| S20       | 537,71     | 37,99        | -2,0%             | 531,13     | 37,73        | -1,2%             |
| S21       | 350,04     | 30,72        | 5,5%              | 353,12     | 30,87        | 0,9%              |
| S22       | 545,87     | 25,00        | -3,7%             | 537,16     | 24,82        | -1,6%             |
| R23/30    | 1581,3     | 32,44        | 0,0%              | 1582,5     | 32,40        | 0,1%              |
| R24       | 1200,5     | 40,14        | -1,5%             | 1192       | 39,96        | -0,7%             |
| R25       | 1269,3     | 41,25        | -1,0%             | 1263,2     | 41,11        | -0,5%             |
| R26/34    | 1461       | 39,05        | -1,9%             | 1450,8     | 38,83        | -0,7%             |
| S27       | 569,44     | 32,17        | -3,3%             | 560,63     | 31,87        | -1,5%             |
| R28/32/33 | 1343,4     | 39,32        | 2,0%              | 1356,7     | 39,42        | 1,0%              |

|     |        |       |       |        |       |       |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| S29 | 397,55 | 23,03 | 0,3%  | 398,06 | 23,04 | 0,1%  |
| S31 | 432,89 | 30,11 | 2,7%  | 438,12 | 30,25 | 1,2%  |
| S35 | 20,14  | 2,59  | 4,6%  | 20,33  | 2,61  | 0,9%  |
| S36 | 36,05  | 5,36  | 0,7%  | 36,05  | 5,36  | 0,0%  |
| S37 | 33,14  | 7,14  | 3,4%  | 33,48  | 7,16  | 1,0%  |
| S38 | 40,3   | 10,04 | -0,7% | 39,95  | 10,01 | -0,9% |
| S39 | 42,7   | 11,21 | 3,1%  | 43,15  | 11,24 | 1,1%  |
| S40 | 32,69  | 9,83  | 3,6%  | 33,47  | 9,87  | 2,4%  |
| S41 | 23,37  | 9,42  | -6,9% | 22,52  | 9,26  | -3,6% |
| S42 | 34,46  | 5,50  | -1,3% | 33,82  | 5,45  | -1,9% |
| S43 | 48,64  | 5,96  | -2,5% | 48,45  | 5,94  | -0,4% |
| S44 | 83,63  | 11,65 | -2,2% | 83,03  | 11,64 | -0,7% |
| S45 | 105,43 | 13,92 | 15,4% | 107,65 | 14,08 | 2,1%  |
| S46 | 62,19  | 26,04 | 23,3% | 70,39  | 26,98 | 13,2% |
| S47 | 49,85  | 8,48  | 3,7%  | 50,57  | 8,53  | 1,4%  |
| S48 | 96,15  | 19,32 | 9,1%  | 97,97  | 19,52 | 1,9%  |
| S49 | 74,64  | 20,89 | 33,8% | 84,55  | 21,87 | 13,3% |
| S50 | 55,38  | 9,70  | -2,5% | 54,56  | 9,64  | -1,5% |
| S51 | 49,51  | 9,73  | -1,9% | 49,4   | 9,70  | -0,2% |
| S52 | 37,98  | 8,54  | -2,6% | 37,52  | 8,49  | -1,2% |
| S53 | 40,55  | 7,19  | 2,9%  | 40,96  | 7,21  | 1,0%  |
| S54 | 81,28  | 16,59 | 16,2% | 86,33  | 17,00 | 6,2%  |
| S55 | 57,38  | 16,99 | 54,4% | 66,07  | 17,95 | 15,1% |
| S56 | 49,21  | 13,89 | 6,9%  | 49,74  | 13,92 | 1,1%  |
| S57 | 14,32  | 12,63 | 4,4%  | 14,46  | 12,64 | 1,0%  |
| S58 | 47,53  | 13,82 | 5,8%  | 47,17  | 13,77 | -0,8% |
| S59 | 32,93  | 8,93  | 5,9%  | 32,85  | 8,91  | -0,2% |

Tabela A. 3– Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 1

| Sapatas   | Iteração 4 |              |                   | Iteração 5 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 610,23     | 30,20        | 0,3%              | 611,29     | 30,22        | 0,2%              |
| S2        | 510,12     | 28,63        | -0,5%             | 509,18     | 28,59        | -0,2%             |
| R3/4/6/7  | 1545,7     | 37,25        | 0,3%              | 1547,9     | 37,28        | 0,1%              |
| R5/8      | 845,1      | 37,81        | -0,7%             | 841,56     | 37,72        | -0,4%             |
| S9        | 483,51     | 35,77        | 0,0%              | 483,67     | 35,76        | 0,0%              |
| S10       | 244,56     | 32,21        | 5,6%              | 253,35     | 32,60        | 3,6%              |
| R11/14/19 | 1707,3     | 40,30        | 0,1%              | 1708,1     | 40,28        | 0,0%              |

|           |        |       |       |        |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| R12/13    | 1092,6 | 38,28 | -1,2% | 1084,8 | 38,18 | -0,7% |
| S15       | 342,72 | 25,11 | 0,6%  | 343,68 | 25,16 | 0,3%  |
| S16       | 503,34 | 32,61 | 0,2%  | 504,51 | 32,65 | 0,2%  |
| S17/S18   | 997,15 | 41,52 | -0,7% | 992,68 | 41,42 | -0,4% |
| S20       | 527,74 | 37,61 | -0,6% | 526,06 | 37,54 | -0,3% |
| S21       | 352,72 | 30,86 | -0,1% | 351,97 | 30,83 | -0,2% |
| S22       | 533,8  | 24,74 | -0,6% | 532,56 | 24,72 | -0,2% |
| R23/30    | 1584,4 | 32,40 | 0,1%  | 1586,2 | 32,40 | 0,1%  |
| R24       | 1187,3 | 39,86 | -0,4% | 1184,5 | 39,80 | -0,2% |
| R25       | 1259,9 | 41,03 | -0,3% | 1258,1 | 40,98 | -0,1% |
| R26/34    | 1448,1 | 38,76 | -0,2% | 1447,6 | 38,74 | 0,0%  |
| S27       | 557,17 | 31,75 | -0,6% | 555,87 | 31,70 | -0,2% |
| R28/32/33 | 1362,6 | 39,46 | 0,4%  | 1365,1 | 39,47 | 0,2%  |
| S29       | 398,47 | 23,05 | 0,1%  | 398,75 | 23,06 | 0,1%  |
| S31       | 440,65 | 30,32 | 0,6%  | 441,78 | 30,35 | 0,3%  |
| S35       | 20,37  | 2,61  | 0,2%  | 20,38  | 2,61  | 0,0%  |
| S36       | 36,06  | 5,36  | 0,0%  | 36,07  | 5,35  | 0,0%  |
| S37       | 33,64  | 7,17  | 0,5%  | 33,73  | 7,17  | 0,3%  |
| S38       | 39,79  | 10,00 | -0,4% | 39,74  | 9,99  | -0,1% |
| S39       | 43,36  | 11,25 | 0,5%  | 43,48  | 11,25 | 0,3%  |
| S40       | 33,97  | 9,91  | 1,5%  | 34,27  | 9,93  | 0,9%  |
| S41       | 22,1   | 9,19  | -1,9% | 21,87  | 9,15  | -1,0% |
| S42       | 33,67  | 5,43  | -0,4% | 33,65  | 5,43  | -0,1% |
| S43       | 48,41  | 5,94  | -0,1% | 48,39  | 5,94  | 0,0%  |
| S44       | 82,83  | 11,65 | -0,2% | 82,76  | 11,66 | -0,1% |
| S45       | 107,86 | 14,09 | 0,2%  | 107,83 | 14,08 | 0,0%  |
| S46       | 75,35  | 27,55 | 7,0%  | 78,11  | 27,87 | 3,7%  |
| S47       | 50,92  | 8,55  | 0,7%  | 51,1   | 8,56  | 0,4%  |
| S48       | 98,16  | 19,57 | 0,2%  | 98,05  | 19,59 | -0,1% |
| S49       | 89,02  | 22,30 | 5,3%  | 90,94  | 22,47 | 2,2%  |
| S50       | 54,13  | 9,61  | -0,8% | 53,9   | 9,59  | -0,4% |
| S51       | 49,5   | 9,70  | 0,2%  | 49,6   | 9,70  | 0,2%  |
| S52       | 37,29  | 8,47  | -0,6% | 37,17  | 8,46  | -0,3% |
| S53       | 41,11  | 7,22  | 0,4%  | 41,16  | 7,22  | 0,1%  |
| S54       | 88,35  | 17,17 | 2,3%  | 89,12  | 17,24 | 0,9%  |
| S55       | 68,6   | 18,23 | 3,8%  | 69,26  | 18,31 | 1,0%  |
| S56       | 49,83  | 13,92 | 0,2%  | 49,83  | 13,92 | 0,0%  |
| S57       | 14,59  | 12,66 | 0,9%  | 14,7   | 12,67 | 0,8%  |
| S58       | 46,79  | 13,73 | -0,8% | 46,58  | 13,71 | -0,4% |
| S59       | 32,73  | 8,89  | -0,4% | 32,68  | 8,89  | -0,2% |

Tabela A. 4– Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 1

| Sapatas   | Iteração 6 |                    |                   | Variação total da carga |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
|           | Carga (tf) | Recalquefinal (mm) | Variação de carga |                         |
| S1        | 612,22     | 30,23              | 0,2%              | 9,0%                    |
| S2        | 508,95     | 28,58              | 0,0%              | -1,2%                   |
| R3/4/6/7  | 1548,9     | 37,29              | 0,1%              | 3,3%                    |
| R5/8      | 839,15     | 37,66              | -0,3%             | -12,1%                  |
| S9        | 483,8      | 35,75              | 0,0%              | -0,1%                   |
| S10       | 259,32     | 32,86              | 2,4%              | 70,6%                   |
| R11/14/19 | 1708,1     | 40,26              | 0,0%              | -3,8%                   |
| R12/13    | 1080,1     | 38,12              | -0,4%             | -15,9%                  |
| S15       | 344,23     | 25,19              | 0,2%              | 29,8%                   |
| S16       | 505,8      | 32,69              | 0,3%              | 4,7%                    |
| S17/S18   | 989,5      | 41,34              | -0,3%             | -15,3%                  |
| S20       | 525,23     | 37,51              | -0,2%             | -6,9%                   |
| S21       | 351,44     | 30,81              | -0,2%             | 31,2%                   |
| S22       | 532,12     | 24,72              | -0,1%             | -9,8%                   |
| R23/30    | 1587,7     | 32,42              | 0,1%              | 2,4%                    |
| R24       | 1182,6     | 39,76              | -0,2%             | -8,4%                   |
| R25       | 1257,1     | 40,95              | -0,1%             | -6,1%                   |
| R26/34    | 1447,6     | 38,73              | 0,0%              | -7,1%                   |
| S27       | 555,39     | 31,68              | -0,1%             | -7,8%                   |
| R28/32/33 | 1366       | 39,46              | 0,1%              | 4,9%                    |
| S29       | 398,92     | 23,07              | 0,0%              | 6,2%                    |
| S31       | 442,24     | 30,37              | 0,1%              | 16,6%                   |
| S35       | 20,38      | 2,61               | 0,0%              | 51,1%                   |
| S36       | 36,09      | 5,35               | 0,1%              | 26,8%                   |
| S37       | 33,79      | 7,17               | 0,2%              | 36,4%                   |
| S38       | 39,73      | 9,99               | 0,0%              | 15,9%                   |
| S39       | 43,54      | 11,26              | 0,1%              | 30,7%                   |
| S40       | 34,44      | 9,94               | 0,5%              | 40,3%                   |
| S41       | 21,74      | 9,12               | -0,6%             | 4,6%                    |
| S42       | 33,66      | 5,43               | 0,0%              | 108,3%                  |
| S43       | 48,38      | 5,94               | 0,0%              | -9,7%                   |
| S44       | 82,75      | 11,67              | 0,0%              | -4,9%                   |
| S45       | 107,8      | 14,07              | 0,0%              | 147,9%                  |
| S46       | 79,59      | 28,04              | 1,9%              | 118,1%                  |
| S47       | 51,21      | 8,57               | 0,2%              | 31,5%                   |
| S48       | 97,93      | 19,60              | -0,1%             | 54,2%                   |

---

|     |       |       |       |        |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| S49 | 91,77 | 22,55 | 0,9%  | 205,6% |
| S50 | 53,77 | 9,58  | -0,2% | 1,5%   |
| S51 | 49,67 | 9,71  | 0,1%  | 0,2%   |
| S52 | 37,1  | 8,45  | -0,2% | -1,0%  |
| S53 | 41,19 | 7,23  | 0,1%  | 25,8%  |
| S54 | 89,41 | 17,26 | 0,3%  | 88,3%  |
| S55 | 69,43 | 18,32 | 0,2%  | 358,3% |
| S56 | 49,81 | 13,91 | 0,0%  | 61,6%  |
| S57 | 14,78 | 12,68 | 0,5%  | 56,4%  |
| S58 | 46,47 | 13,69 | -0,2% | 62,1%  |
| S59 | 32,66 | 8,88  | -0,1% | 78,8%  |

## APÊNDICE B – Iterações Vento 2

Tabela B. 1– Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 2

| Sapatas   | Situação inicial |              |                   | Iteração 1 |              |                   |
|-----------|------------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf)       | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 607,18           | 30,77        | 0%                | 621,32     | 30,58        | 2,3%              |
| S2        | 475,85           | 27,50        | 0%                | 511,3      | 28,70        | 7,4%              |
| R3/4/6/7  | 1500,5           | 37,45        | 0%                | 1509,5     | 36,99        | 0,6%              |
| R5/8      | 938,57           | 40,66        | 0%                | 872,89     | 38,66        | -7,0%             |
| S9        | 483,75           | 36,37        | 0%                | 483,45     | 35,98        | -0,1%             |
| S10       | 160,25           | 28,95        | 0%                | 193,18     | 30,08        | 20,5%             |
| R11/14/19 | 1782,8           | 42,30        | 0%                | 1711       | 40,68        | -4,0%             |
| R12/13    | 1295,3           | 41,82        | 0%                | 1180,2     | 39,62        | -8,9%             |
| S15       | 269,08           | 22,49        | 0%                | 322,11     | 24,43        | 19,7%             |
| S16       | 483,93           | 32,41        | 0%                | 498,1      | 32,58        | 2,9%              |
| S17/S18   | 1159,2           | 45,58        | 0%                | 1046       | 42,70        | -9,8%             |
| S20       | 568,15           | 39,22        | 0%                | 551,61     | 38,44        | -2,9%             |
| S21       | 259,32           | 26,41        | 0%                | 325,25     | 29,50        | 25,4%             |
| S22       | 587,03           | 25,72        | 0%                | 565,54     | 25,47        | -3,7%             |
| R23/30    | 1556,9           | 32,56        | 0%                | 1588,1     | 32,68        | 2,0%              |
| R24       | 1302,7           | 42,68        | 0%                | 1225       | 40,76        | -6,0%             |
| R25       | 1332,1           | 43,15        | 0%                | 1274,4     | 41,55        | -4,3%             |
| R26/34    | 1552,8           | 40,87        | 0%                | 1485,6     | 39,53        | -4,3%             |
| S27       | 602,23           | 33,04        | 0%                | 587,77     | 32,70        | -2,4%             |
| R28/32/33 | 1299,9           | 39,83        | 0%                | 1318,5     | 39,17        | 1,4%              |
| S29       | 379,5            | 22,47        | 0%                | 399,65     | 23,14        | 5,3%              |
| S31       | 374,53           | 28,17        | 0%                | 417,33     | 29,63        | 11,4%             |
| S35       | 14,4             | 2,23         | 0%                | 20,16      | 2,61         | 40,0%             |
| S36       | 28,5             | 4,84         | 0%                | 35,88      | 5,36         | 25,9%             |
| S37       | 24,71            | 6,60         | 0%                | 32         | 7,08         | 29,5%             |
| S38       | 34,29            | 9,69         | 0%                | 40,61      | 10,11        | 18,4%             |
| S39       | 33,19            | 10,69        | 0%                | 41,12      | 11,18        | 23,9%             |
| S40       | 24,89            | 9,05         | 0%                | 31,91      | 9,79         | 28,2%             |
| S41       | 20,6             | 8,71         | 0%                | 25,01      | 9,63         | 21,4%             |
| S42       | 15,1             | 3,59         | 0%                | 33,95      | 5,36         | 124,8%            |
| S43       | 54,26            | 6,31         | 0%                | 50,52      | 6,09         | -6,9%             |
| S44       | 86,08            | 11,80        | 0%                | 84,76      | 11,72        | -1,5%             |

|     |       |       |    |       |       |        |
|-----|-------|-------|----|-------|-------|--------|
| S45 | 32,94 | 7,74  | 0% | 78,12 | 11,63 | 137,2% |
| S46 | 35,18 | 23,49 | 0% | 48,7  | 24,63 | 38,4%  |
| S47 | 39,5  | 7,58  | 0% | 48,77 | 8,42  | 23,5%  |
| S48 | 64,31 | 16,44 | 0% | 88,98 | 18,70 | 38,4%  |
| S49 | 28,64 | 15,49 | 0% | 54,05 | 18,60 | 88,7%  |
| S50 | 54,91 | 9,51  | 0% | 58,46 | 9,94  | 6,5%   |
| S51 | 49,9  | 9,76  | 0% | 50,92 | 9,91  | 2,0%   |
| S52 | 37,94 | 8,48  | 0% | 39,41 | 8,70  | 3,9%   |
| S53 | 32,51 | 6,55  | 0% | 39,26 | 7,14  | 20,8%  |
| S54 | 47,82 | 13,72 | 0% | 70,34 | 15,74 | 47,1%  |
| S55 | 15,04 | 12,45 | 0% | 36,96 | 14,71 | 145,7% |
| S56 | 31,26 | 12,52 | 0% | 46,51 | 13,69 | 48,8%  |
| S57 | 9,88  | 12,08 | 0% | 14,25 | 12,61 | 44,2%  |
| S58 | 28,09 | 12,30 | 0% | 44,28 | 13,56 | 57,6%  |
| S59 | 18,09 | 7,78  | 0% | 30,96 | 8,81  | 71,1%  |

Tabela B. 2– Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 2

| Sapatas   | Iteração 2 |              |                   | Iteração 3 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 622,8      | 30,52        | 0,2%              | 623,07     | 30,50        | 0,0%              |
| S2        | 505,66     | 28,47        | -1,1%             | 501,33     | 28,30        | -0,9%             |
| R3/4/6/7  | 1531,1     | 37,16        | 1,4%              | 1543       | 37,28        | 0,8%              |
| R5/8      | 852,37     | 38,11        | -2,4%             | 843,65     | 37,88        | -1,0%             |
| S9        | 482,04     | 35,78        | -0,3%             | 481,71     | 35,70        | -0,1%             |
| S10       | 219,16     | 31,18        | 13,4%             | 237,39     | 31,97        | 8,3%              |
| R11/14/19 | 1706,2     | 40,40        | -0,3%             | 1708,4     | 40,33        | 0,1%              |
| R12/13    | 1134,7     | 38,92        | -3,9%             | 1110,6     | 38,59        | -2,1%             |
| S15       | 338,26     | 24,99        | 5,0%              | 343,47     | 25,17        | 1,5%              |
| S16       | 501,95     | 32,64        | 0,8%              | 503,55     | 32,68        | 0,3%              |
| S17/S18   | 1014,6     | 41,96        | -3,0%             | 1001,5     | 41,65        | -1,3%             |
| S20       | 539,36     | 37,97        | -2,2%             | 532,19     | 37,70        | -1,3%             |
| S21       | 345,2      | 30,44        | 6,1%              | 348,99     | 30,63        | 1,1%              |
| S22       | 545,1      | 25,04        | -3,6%             | 536,62     | 24,86        | -1,6%             |
| R23/30    | 1589,4     | 32,57        | 0,1%              | 1590,8     | 32,53        | 0,1%              |
| R24       | 1205       | 40,30        | -1,6%             | 1196,5     | 40,10        | -0,7%             |
| R25       | 1261,9     | 41,21        | -1,0%             | 1256,4     | 41,07        | -0,4%             |
| R26/34    | 1457       | 38,95        | -1,9%             | 1446,8     | 38,72        | -0,7%             |
| S27       | 567,54     | 32,05        | -3,4%             | 558,37     | 31,74        | -1,6%             |

|           |        |       |       |        |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| R28/32/33 | 1345,7 | 39,35 | 2,1%  | 1358,9 | 39,45 | 1,0%  |
| S29       | 400,28 | 23,14 | 0,2%  | 400,62 | 23,15 | 0,1%  |
| S31       | 428,91 | 29,91 | 2,8%  | 434,24 | 30,05 | 1,2%  |
| S35       | 21     | 2,66  | 4,2%  | 21,18  | 2,67  | 0,9%  |
| S36       | 36,1   | 5,37  | 0,6%  | 36,09  | 5,36  | 0,0%  |
| S37       | 33,07  | 7,15  | 3,3%  | 33,41  | 7,17  | 1,0%  |
| S38       | 40,34  | 10,08 | -0,7% | 40     | 10,04 | -0,8% |
| S39       | 42,51  | 11,24 | 3,4%  | 43,07  | 11,27 | 1,3%  |
| S40       | 32,88  | 9,82  | 3,0%  | 33,62  | 9,86  | 2,3%  |
| S41       | 23,16  | 9,32  | -7,4% | 22,28  | 9,17  | -3,8% |
| S42       | 32,9   | 5,32  | -3,1% | 31,96  | 5,24  | -2,9% |
| S43       | 49,29  | 6,01  | -2,4% | 49,12  | 5,99  | -0,3% |
| S44       | 82,94  | 11,63 | -2,1% | 82,35  | 11,62 | -0,7% |
| S45       | 95,45  | 13,04 | 22,2% | 98,79  | 13,30 | 3,5%  |
| S46       | 60,41  | 25,88 | 24,0% | 68,86  | 26,84 | 14,0% |
| S47       | 50,7   | 8,57  | 4,0%  | 51,48  | 8,62  | 1,5%  |
| S48       | 96,99  | 19,44 | 9,0%  | 98,83  | 19,65 | 1,9%  |
| S49       | 72,9   | 20,62 | 34,9% | 82,84  | 21,61 | 13,6% |
| S50       | 56,85  | 9,83  | -2,8% | 55,94  | 9,77  | -1,6% |
| S51       | 50,02  | 9,79  | -1,8% | 49,96  | 9,77  | -0,1% |
| S52       | 38,34  | 8,59  | -2,7% | 37,84  | 8,54  | -1,3% |
| S53       | 40,5   | 7,21  | 3,2%  | 40,95  | 7,23  | 1,1%  |
| S54       | 81,72  | 16,67 | 16,2% | 86,8   | 17,08 | 6,2%  |
| S55       | 57,12  | 16,93 | 54,5% | 65,78  | 17,89 | 15,2% |
| S56       | 49,65  | 13,94 | 6,8%  | 50,17  | 13,98 | 1,0%  |
| S57       | 14,77  | 12,70 | 3,6%  | 14,83  | 12,70 | 0,4%  |
| S58       | 46,97  | 13,76 | 6,1%  | 46,68  | 13,72 | -0,6% |
| S59       | 32,83  | 8,94  | 6,0%  | 32,76  | 8,92  | -0,2% |

Tabela B. 3– Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 2

| Sapatas  | Iteração 4 |              |                   | Iteração 5 |              |                   |
|----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|          | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1       | 623,09     | 30,49        | 0,0%              | 623,29     | 30,49        | 0,0%              |
| S2       | 499,45     | 28,22        | -0,4%             | 498,78     | 28,19        | -0,1%             |
| R3/4/6/7 | 1548,5     | 37,34        | 0,4%              | 1550,9     | 37,37        | 0,2%              |
| R5/8     | 839,07     | 37,75        | -0,5%             | 836,27     | 37,68        | -0,3%             |
| S9       | 481,78     | 35,67        | 0,0%              | 481,92     | 35,66        | 0,0%              |



|           |        |       |       |        |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| S10       | 249,69 | 32,51 | 5,2%  | 257,94 | 32,87 | 3,3%  |
| R11/14/19 | 1710,1 | 40,30 | 0,1%  | 1710,6 | 40,28 | 0,0%  |
| R12/13    | 1096,9 | 38,40 | -1,2% | 1088,8 | 38,29 | -0,7% |
| S15       | 345,43 | 25,25 | 0,6%  | 346,33 | 25,30 | 0,3%  |
| S16       | 504,82 | 32,73 | 0,3%  | 506,15 | 32,77 | 0,3%  |
| S17/S18   | 994,61 | 41,49 | -0,7% | 990,26 | 41,39 | -0,4% |
| S20       | 528,49 | 37,57 | -0,7% | 526,65 | 37,50 | -0,3% |
| S21       | 348,88 | 30,63 | 0,0%  | 348,25 | 30,60 | -0,2% |
| S22       | 533,36 | 24,79 | -0,6% | 532,15 | 24,77 | -0,2% |
| R23/30    | 1592,6 | 32,53 | 0,1%  | 1594,4 | 32,54 | 0,1%  |
| R24       | 1192   | 40,00 | -0,4% | 1189,4 | 39,94 | -0,2% |
| R25       | 1253,6 | 40,99 | -0,2% | 1252,1 | 40,95 | -0,1% |
| R26/34    | 1444   | 38,65 | -0,2% | 1443,6 | 38,63 | 0,0%  |
| S27       | 554,74 | 31,61 | -0,7% | 553,37 | 31,56 | -0,2% |
| R28/32/33 | 1364,6 | 39,49 | 0,4%  | 1366,9 | 39,49 | 0,2%  |
| S29       | 400,95 | 23,16 | 0,1%  | 401,18 | 23,17 | 0,1%  |
| S31       | 436,83 | 30,12 | 0,6%  | 438    | 30,16 | 0,3%  |
| S35       | 21,21  | 2,67  | 0,1%  | 21,22  | 2,67  | 0,0%  |
| S36       | 36,09  | 5,36  | 0,0%  | 36,11  | 5,36  | 0,1%  |
| S37       | 33,57  | 7,18  | 0,5%  | 33,66  | 7,18  | 0,3%  |
| S38       | 39,84  | 10,03 | -0,4% | 39,78  | 10,02 | -0,2% |
| S39       | 43,34  | 11,28 | 0,6%  | 43,49  | 11,28 | 0,3%  |
| S40       | 34,11  | 9,89  | 1,5%  | 34,4   | 9,92  | 0,9%  |
| S41       | 21,87  | 9,09  | -1,8% | 21,65  | 9,06  | -1,0% |
| S42       | 31,73  | 5,22  | -0,7% | 31,69  | 5,21  | -0,1% |
| S43       | 49,09  | 5,99  | -0,1% | 49,07  | 5,99  | 0,0%  |
| S44       | 82,15  | 11,63 | -0,2% | 82,09  | 11,64 | -0,1% |
| S45       | 99,25  | 13,32 | 0,5%  | 99,27  | 13,32 | 0,0%  |
| S46       | 74,13  | 27,44 | 7,7%  | 77,13  | 27,78 | 4,0%  |
| S47       | 51,86  | 8,65  | 0,7%  | 52,06  | 8,66  | 0,4%  |
| S48       | 99,06  | 19,70 | 0,2%  | 98,97  | 19,72 | -0,1% |
| S49       | 87,32  | 22,04 | 5,4%  | 89,25  | 22,22 | 2,2%  |
| S50       | 55,47  | 9,73  | -0,8% | 55,21  | 9,72  | -0,5% |
| S51       | 50,08  | 9,77  | 0,2%  | 50,19  | 9,77  | 0,2%  |
| S52       | 37,59  | 8,51  | -0,7% | 37,46  | 8,50  | -0,3% |
| S53       | 41,11  | 7,24  | 0,4%  | 41,17  | 7,24  | 0,1%  |
| S54       | 88,84  | 17,25 | 2,4%  | 89,62  | 17,32 | 0,9%  |
| S55       | 68,31  | 18,17 | 3,8%  | 68,96  | 18,24 | 1,0%  |
| S56       | 50,26  | 13,98 | 0,2%  | 50,27  | 13,98 | 0,0%  |
| S57       | 14,92  | 12,71 | 0,6%  | 15     | 12,72 | 0,5%  |
| S58       | 46,34  | 13,68 | -0,7% | 46,16  | 13,66 | -0,4% |

|     |       |      |       |       |      |       |
|-----|-------|------|-------|-------|------|-------|
| S59 | 32,64 | 8,90 | -0,4% | 32,59 | 8,90 | -0,2% |
|-----|-------|------|-------|-------|------|-------|

Tabela B. 4– Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 2

| Iteração 6 |                    |                   | Variação total da carga |
|------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| Carga (tf) | Recalquefinal (mm) | Variação de carga |                         |
| 623,78     | 30,49              | 0,1%              | 2,7%                    |
| 498,66     | 28,18              | 0,0%              | 4,8%                    |
| 1551,9     | 37,38              | 0,1%              | 3,4%                    |
| 834,31     | 37,62              | -0,2%             | -11,1%                  |
| 482,05     | 35,65              | 0,0%              | -0,4%                   |
| 263,54     | 33,12              | 2,2%              | 64,5%                   |
| 1710,5     | 40,26              | 0,0%              | -4,1%                   |
| 1083,9     | 38,23              | -0,5%             | -16,3%                  |
| 346,85     | 25,32              | 0,2%              | 28,9%                   |
| 507,55     | 32,81              | 0,3%              | 4,9%                    |
| 987,15     | 41,32              | -0,3%             | -14,8%                  |
| 525,76     | 37,46              | -0,2%             | -7,5%                   |
| 347,77     | 30,58              | -0,1%             | 34,1%                   |
| 531,72     | 24,77              | -0,1%             | -9,4%                   |
| 1595,9     | 32,55              | 0,1%              | 2,5%                    |
| 1187,8     | 39,90              | -0,1%             | -8,8%                   |
| 1251,3     | 40,92              | -0,1%             | -6,1%                   |
| 1443,6     | 38,62              | 0,0%              | -7,0%                   |
| 552,86     | 31,54              | -0,1%             | -8,2%                   |
| 1367,6     | 39,48              | 0,1%              | 5,2%                    |
| 401,34     | 23,17              | 0,0%              | 5,8%                    |
| 438,48     | 30,17              | 0,1%              | 17,1%                   |
| 21,22      | 2,67               | 0,0%              | 47,4%                   |
| 36,12      | 5,36               | 0,0%              | 26,7%                   |
| 33,72      | 7,18               | 0,2%              | 36,5%                   |
| 39,76      | 10,01              | -0,1%             | 16,0%                   |
| 43,57      | 11,29              | 0,2%              | 31,3%                   |
| 34,57      | 9,93               | 0,5%              | 38,9%                   |
| 21,52      | 9,03               | -0,6%             | 4,5%                    |
| 31,69      | 5,21               | 0,0%              | 109,9%                  |
| 49,05      | 5,99               | 0,0%              | -9,6%                   |
| 82,07      | 11,64              | 0,0%              | -4,7%                   |
| 99,25      | 13,32              | 0,0%              | 201,3%                  |

---

|       |       |       |        |
|-------|-------|-------|--------|
| 78,77 | 27,97 | 2,1%  | 123,9% |
| 52,18 | 8,67  | 0,2%  | 32,1%  |
| 98,86 | 19,73 | -0,1% | 53,7%  |
| 90,08 | 22,29 | 0,9%  | 214,5% |
| 55,07 | 9,71  | -0,3% | 0,3%   |
| 50,27 | 9,78  | 0,2%  | 0,7%   |
| 37,38 | 8,50  | -0,2% | -1,5%  |
| 41,2  | 7,24  | 0,1%  | 26,7%  |
| 89,92 | 17,35 | 0,3%  | 88,0%  |
| 69,13 | 18,26 | 0,2%  | 359,6% |
| 50,26 | 13,97 | 0,0%  | 60,8%  |
| 15,06 | 12,72 | 0,4%  | 52,4%  |
| 46,07 | 13,65 | -0,2% | 64,0%  |
| 32,57 | 8,90  | -0,1% | 80,0%  |

## APÊNDICE C – Iterações Vento 3

Tabela C. 1– Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 3

| Sapatas   | Situação inicial |              |                   | Iteração 1 |              |                   |
|-----------|------------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf)       | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 585,81           | 30,36        | 0%                | 608,37     | 30,34        | 3,9%              |
| S2        | 497,69           | 28,33        | 0%                | 523,04     | 29,16        | 5,1%              |
| R3/4/6/7  | 1564,5           | 38,21        | 0%                | 1545,6     | 37,42        | -1,2%             |
| R5/8      | 942,7            | 40,75        | 0%                | 876,27     | 38,74        | -7,0%             |
| S9        | 484,23           | 36,53        | 0%                | 483,65     | 36,07        | -0,1%             |
| S10       | 156,89           | 28,82        | 0%                | 190,1      | 29,96        | 21,2%             |
| R11/14/19 | 1794,7           | 42,45        | 0%                | 1718,9     | 40,78        | -4,2%             |
| R12/13    | 1248,5           | 41,19        | 0%                | 1154,5     | 39,27        | -7,5%             |
| S15       | 269,44           | 22,50        | 0%                | 322,05     | 24,42        | 19,5%             |
| S16       | 487,75           | 32,36        | 0%                | 501,92     | 32,58        | 2,9%              |
| S17/S18   | 1146             | 45,31        | 0%                | 1039       | 42,55        | -9,3%             |
| S20       | 573              | 39,46        | 0%                | 554,39     | 38,59        | -3,2%             |
| S21       | 265,74           | 26,81        | 0%                | 329,74     | 29,79        | 24,1%             |
| S22       | 596,35           | 25,83        | 0%                | 571,47     | 25,54        | -4,2%             |
| R23/30    | 1543,5           | 32,33        | 0%                | 1577,8     | 32,51        | 2,2%              |
| R24       | 1288,7           | 42,47        | 0%                | 1213,8     | 40,59        | -5,8%             |
| R25       | 1337,3           | 43,25        | 0%                | 1276,2     | 41,59        | -4,6%             |
| R26/34    | 1548,3           | 40,82        | 0%                | 1484,5     | 39,53        | -4,1%             |
| S27       | 611,53           | 33,32        | 0%                | 593,43     | 32,89        | -3,0%             |
| R28/32/33 | 1290,4           | 39,61        | 0%                | 1312,7     | 39,03        | 1,7%              |
| S29       | 369,09           | 22,14        | 0%                | 392,38     | 22,91        | 6,3%              |
| S31       | 365,11           | 27,82        | 0%                | 411,97     | 29,44        | 12,8%             |
| S35       | 14,66            | 2,25         | 0%                | 20,4       | 2,63         | 39,2%             |
| S36       | 29,18            | 4,92         | 0%                | 36,51      | 5,42         | 25,1%             |
| S37       | 24,91            | 6,66         | 0%                | 32,22      | 7,13         | 29,3%             |
| S38       | 34,46            | 9,74         | 0%                | 40,77      | 10,15        | 18,3%             |
| S39       | 33,44            | 10,70        | 0%                | 41,5       | 11,20        | 24,1%             |
| S40       | 24,81            | 9,12         | 0%                | 31,87      | 9,82         | 28,5%             |
| S41       | 20,9             | 8,85         | 0%                | 25,23      | 9,72         | 20,7%             |
| S42       | 16,61            | 3,78         | 0%                | 35,61      | 5,54         | 114,4%            |
| S43       | 53,29            | 6,27         | 0%                | 49,67      | 6,04         | -6,8%             |
| S44       | 85,94            | 11,84        | 0%                | 84,6       | 11,73        | -1,6%             |

|     |       |       |    |       |       |        |
|-----|-------|-------|----|-------|-------|--------|
| S45 | 37,22 | 8,18  | 0% | 83,74 | 12,15 | 125,0% |
| S46 | 36,03 | 23,59 | 0% | 49,79 | 24,75 | 38,2%  |
| S47 | 40,64 | 7,65  | 0% | 49,63 | 8,48  | 22,1%  |
| S48 | 64,83 | 16,49 | 0% | 89,41 | 18,73 | 37,9%  |
| S49 | 30,61 | 15,82 | 0% | 56,69 | 18,96 | 85,2%  |
| S50 | 53,2  | 9,40  | 0% | 57,12 | 9,85  | 7,4%   |
| S51 | 49,77 | 9,74  | 0% | 50,7  | 9,88  | 1,9%   |
| S52 | 37,95 | 8,45  | 0% | 39,31 | 8,67  | 3,6%   |
| S53 | 31,52 | 6,43  | 0% | 38,34 | 7,04  | 21,6%  |
| S54 | 45,89 | 13,46 | 0% | 68,36 | 15,50 | 49,0%  |
| S55 | 14,21 | 12,32 | 0% | 35,53 | 14,54 | 150,0% |
| S56 | 30,71 | 12,41 | 0% | 45,91 | 13,59 | 49,5%  |
| S57 | 9,62  | 11,99 | 0% | 13,93 | 12,53 | 44,8%  |
| S58 | 28,11 | 12,27 | 0% | 44,35 | 13,54 | 57,8%  |
| S59 | 17,91 | 7,72  | 0% | 30,7  | 8,75  | 71,4%  |

Tabela C. 2– Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 3

| Sapatas   | Iteração 2 |              |                   | Iteração 3 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 614,65     | 30,37        | 1,0%              | 617,01     | 30,40        | 0,4%              |
| S2        | 514,11     | 28,81        | -1,7%             | 508,67     | 28,59        | -1,1%             |
| R3/4/6/7  | 1554,7     | 37,44        | 0,6%              | 1560,4     | 37,49        | 0,4%              |
| R5/8      | 855,83     | 38,19        | -2,3%             | 847,16     | 37,96        | -1,0%             |
| S9        | 482,79     | 35,87        | -0,2%             | 482,77     | 35,80        | 0,0%              |
| S10       | 216,73     | 31,09        | 14,0%             | 235,6      | 31,90        | 8,7%              |
| R11/14/19 | 1712,8     | 40,49        | -0,4%             | 1714,3     | 40,41        | 0,1%              |
| R12/13    | 1119,2     | 38,71        | -3,0%             | 1100,8     | 38,45        | -1,6%             |
| S15       | 338,15     | 24,98        | 5,0%              | 343,45     | 25,17        | 1,6%              |
| S16       | 505,15     | 32,65        | 0,6%              | 506,1      | 32,69        | 0,2%              |
| S17/S18   | 1009,6     | 41,85        | -2,8%             | 997,2      | 41,56        | -1,2%             |
| S20       | 541,62     | 38,09        | -2,3%             | 534,33     | 37,82        | -1,3%             |
| S21       | 348,69     | 30,67        | 5,7%              | 352,25     | 30,84        | 1,0%              |
| S22       | 549,34     | 25,08        | -3,9%             | 540,11     | 24,88        | -1,7%             |
| R23/30    | 1579,2     | 32,41        | 0,1%              | 1580,4     | 32,37        | 0,1%              |
| R24       | 1194,5     | 40,14        | -1,6%             | 1186,2     | 39,95        | -0,7%             |
| R25       | 1262,7     | 41,23        | -1,1%             | 1256,7     | 41,08        | -0,5%             |
| R26/34    | 1457       | 38,96        | -1,9%             | 1446,9     | 38,74        | -0,7%             |
| S27       | 571,6      | 32,19        | -3,7%             | 561,75     | 31,86        | -1,7%             |
| R28/32/33 | 1340,6     | 39,22        | 2,1%              | 1353,9     | 39,32        | 1,0%              |

|     |        |       |       |        |       |       |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| S29 | 394,51 | 22,95 | 0,5%  | 395,5  | 22,97 | 0,3%  |
| S31 | 425,6  | 29,80 | 3,3%  | 431,73 | 29,97 | 1,4%  |
| S35 | 21,24  | 2,68  | 4,1%  | 21,42  | 2,69  | 0,8%  |
| S36 | 36,71  | 5,42  | 0,5%  | 36,69  | 5,42  | -0,1% |
| S37 | 33,34  | 7,19  | 3,5%  | 33,7   | 7,20  | 1,1%  |
| S38 | 40,5   | 10,11 | -0,7% | 40,16  | 10,07 | -0,8% |
| S39 | 42,84  | 11,27 | 3,2%  | 43,34  | 11,29 | 1,2%  |
| S40 | 32,95  | 9,86  | 3,4%  | 33,72  | 9,90  | 2,3%  |
| S41 | 23,45  | 9,42  | -7,1% | 22,6   | 9,26  | -3,6% |
| S42 | 34,6   | 5,49  | -2,8% | 33,77  | 5,42  | -2,4% |
| S43 | 48,44  | 5,96  | -2,5% | 48,26  | 5,94  | -0,4% |
| S44 | 82,82  | 11,64 | -2,1% | 82,24  | 11,63 | -0,7% |
| S45 | 99,92  | 13,46 | 19,3% | 102,84 | 13,67 | 2,9%  |
| S46 | 61,55  | 26,03 | 23,6% | 69,89  | 26,97 | 13,5% |
| S47 | 51,3   | 8,61  | 3,4%  | 51,94  | 8,65  | 1,2%  |
| S48 | 97,37  | 19,47 | 8,9%  | 99,19  | 19,67 | 1,9%  |
| S49 | 75,46  | 20,95 | 33,1% | 85,13  | 21,91 | 12,8% |
| S50 | 55,85  | 9,76  | -2,2% | 55,12  | 9,71  | -1,3% |
| S51 | 49,75  | 9,76  | -1,9% | 49,66  | 9,73  | -0,2% |
| S52 | 38,15  | 8,55  | -3,0% | 37,6   | 8,49  | -1,4% |
| S53 | 39,61  | 7,11  | 3,3%  | 40,08  | 7,14  | 1,2%  |
| S54 | 79,87  | 16,45 | 16,8% | 85,01  | 16,87 | 6,4%  |
| S55 | 55,89  | 16,78 | 57,3% | 64,9   | 17,79 | 16,1% |
| S56 | 49,04  | 13,85 | 6,8%  | 49,56  | 13,88 | 1,1%  |
| S57 | 14,46  | 12,62 | 3,8%  | 14,55  | 12,63 | 0,6%  |
| S58 | 46,98  | 13,74 | 5,9%  | 46,63  | 13,70 | -0,7% |
| S59 | 32,53  | 8,88  | 6,0%  | 32,45  | 8,86  | -0,2% |

Tabela C, 3– Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 3

| Sapatas   | Iteração 4 |              |                   | Iteração 5 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 617,94     | 30,41        | 0,2%              | 618,57     | 30,42        | 0,1%              |
| S2        | 506,37     | 28,50        | -0,5%             | 505,55     | 28,46        | -0,2%             |
| R3/4/6/7  | 1562,7     | 37,52        | 0,2%              | 1563,6     | 37,53        | 0,1%              |
| R5/8      | 842,63     | 37,83        | -0,5%             | 839,89     | 37,76        | -0,3%             |
| S9        | 482,97     | 35,77        | 0,0%              | 483,18     | 35,76        | 0,0%              |
| S10       | 248,36     | 32,46        | 5,4%              | 256,9      | 32,83        | 3,4%              |
| R11/14/19 | 1715,5     | 40,38        | 0,1%              | 1715,9     | 40,36        | 0,0%              |

|           |        |       |       |        |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| R12/13    | 1090,1 | 38,30 | -1,0% | 1083,7 | 38,22 | -0,6% |
| S15       | 345,48 | 25,25 | 0,6%  | 346,45 | 25,29 | 0,3%  |
| S16       | 506,79 | 32,72 | 0,1%  | 507,67 | 32,76 | 0,2%  |
| S17/S18   | 990,55 | 41,41 | -0,7% | 986,29 | 41,31 | -0,4% |
| S20       | 530,64 | 37,68 | -0,7% | 528,82 | 37,61 | -0,3% |
| S21       | 352,17 | 30,84 | 0,0%  | 351,6  | 30,81 | -0,2% |
| S22       | 536,51 | 24,81 | -0,7% | 535,15 | 24,78 | -0,3% |
| R23/30    | 1582,2 | 32,37 | 0,1%  | 1583,9 | 32,38 | 0,1%  |
| R24       | 1181,8 | 39,84 | -0,4% | 1179,2 | 39,78 | -0,2% |
| R25       | 1253,7 | 41,00 | -0,2% | 1252,2 | 40,95 | -0,1% |
| R26/34    | 1444,2 | 38,67 | -0,2% | 1443,7 | 38,65 | 0,0%  |
| S27       | 557,83 | 31,73 | -0,7% | 556,32 | 31,67 | -0,3% |
| R28/32/33 | 1359,6 | 39,36 | 0,4%  | 1361,8 | 39,37 | 0,2%  |
| S29       | 396,12 | 22,98 | 0,2%  | 396,49 | 22,99 | 0,1%  |
| S31       | 434,63 | 30,05 | 0,7%  | 435,91 | 30,09 | 0,3%  |
| S35       | 21,46  | 2,69  | 0,2%  | 21,47  | 2,69  | 0,0%  |
| S36       | 36,69  | 5,41  | 0,0%  | 36,7   | 5,41  | 0,0%  |
| S37       | 33,87  | 7,21  | 0,5%  | 33,97  | 7,22  | 0,3%  |
| S38       | 40,01  | 10,05 | -0,4% | 39,96  | 10,04 | -0,1% |
| S39       | 43,58  | 11,30 | 0,6%  | 43,71  | 11,30 | 0,3%  |
| S40       | 34,21  | 9,93  | 1,5%  | 34,51  | 9,96  | 0,9%  |
| S41       | 22,18  | 9,19  | -1,9% | 21,96  | 9,15  | -1,0% |
| S42       | 33,57  | 5,40  | -0,6% | 33,54  | 5,40  | -0,1% |
| S43       | 48,22  | 5,94  | -0,1% | 48,21  | 5,94  | 0,0%  |
| S44       | 82,04  | 11,63 | -0,2% | 81,98  | 11,64 | -0,1% |
| S45       | 103,21 | 13,69 | 0,4%  | 103,22 | 13,69 | 0,0%  |
| S46       | 75     | 27,56 | 7,3%  | 77,88  | 27,89 | 3,8%  |
| S47       | 52,25  | 8,67  | 0,6%  | 52,41  | 8,68  | 0,3%  |
| S48       | 99,4   | 19,72 | 0,2%  | 99,3   | 19,74 | -0,1% |
| S49       | 89,42  | 22,32 | 5,0%  | 91,24  | 22,49 | 2,0%  |
| S50       | 54,74  | 9,68  | -0,7% | 54,53  | 9,66  | -0,4% |
| S51       | 49,77  | 9,73  | 0,2%  | 49,88  | 9,73  | 0,2%  |
| S52       | 37,32  | 8,47  | -0,7% | 37,18  | 8,46  | -0,4% |
| S53       | 40,25  | 7,14  | 0,4%  | 40,32  | 7,15  | 0,2%  |
| S54       | 87,07  | 17,05 | 2,4%  | 87,86  | 17,12 | 0,9%  |
| S55       | 67,57  | 18,08 | 4,1%  | 68,26  | 18,16 | 1,0%  |
| S56       | 49,65  | 13,88 | 0,2%  | 49,65  | 13,88 | 0,0%  |
| S57       | 14,66  | 12,64 | 0,8%  | 14,76  | 12,65 | 0,7%  |
| S58       | 46,25  | 13,66 | -0,8% | 46,05  | 13,63 | -0,4% |
| S59       | 32,32  | 8,85  | -0,4% | 32,27  | 8,84  | -0,2% |

Tabela C. 4– Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 3

| Sapatas   | Iteração 6 |                    |                   | Variação total da carga |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
|           | Carga (tf) | Recalquefinal (mm) | Variação de carga |                         |
| S1        | 619,29     | 30,42              | 0,1%              | 5,7%                    |
| S2        | 505,37     | 28,45              | 0,0%              | 1,5%                    |
| R3/4/6/7  | 1563,7     | 37,53              | 0,0%              | 0,0%                    |
| R5/8      | 838        | 37,70              | -0,2%             | -11,1%                  |
| S9        | 483,34     | 35,75              | 0,0%              | -0,2%                   |
| S10       | 262,68     | 33,09              | 2,2%              | 67,4%                   |
| R11/14/19 | 1715,7     | 40,34              | 0,0%              | -4,4%                   |
| R12/13    | 1079,7     | 38,17              | -0,4%             | -13,5%                  |
| S15       | 347,01     | 25,32              | 0,2%              | 28,8%                   |
| S16       | 508,73     | 32,80              | 0,2%              | 4,3%                    |
| S17/S18   | 983,22     | 41,24              | -0,3%             | -14,2%                  |
| S20       | 527,93     | 37,58              | -0,2%             | -7,9%                   |
| S21       | 351,18     | 30,79              | -0,1%             | 32,2%                   |
| S22       | 534,66     | 24,78              | -0,1%             | -10,3%                  |
| R23/30    | 1585,5     | 32,39              | 0,1%              | 2,7%                    |
| R24       | 1177,5     | 39,74              | -0,1%             | -8,6%                   |
| R25       | 1251,4     | 40,93              | -0,1%             | -6,4%                   |
| R26/34    | 1443,7     | 38,64              | 0,0%              | -6,8%                   |
| S27       | 555,75     | 31,65              | -0,1%             | -9,1%                   |
| R28/32/33 | 1362,5     | 39,36              | 0,1%              | 5,6%                    |
| S29       | 396,71     | 23,00              | 0,1%              | 7,5%                    |
| S31       | 436,44     | 30,11              | 0,1%              | 19,5%                   |
| S35       | 21,47      | 2,69               | 0,0%              | 46,5%                   |
| S36       | 36,71      | 5,41               | 0,0%              | 25,8%                   |
| S37       | 34,03      | 7,22               | 0,2%              | 36,6%                   |
| S38       | 39,95      | 10,04              | 0,0%              | 15,9%                   |
| S39       | 43,78      | 11,31              | 0,2%              | 30,9%                   |
| S40       | 34,67      | 9,97               | 0,5%              | 39,7%                   |
| S41       | 21,83      | 9,13               | -0,6%             | 4,4%                    |
| S42       | 33,54      | 5,40               | 0,0%              | 101,9%                  |
| S43       | 48,19      | 5,94               | 0,0%              | -9,6%                   |
| S44       | 81,97      | 11,64              | 0,0%              | -4,6%                   |
| S45       | 103,2      | 13,68              | 0,0%              | 177,3%                  |
| S46       | 79,44      | 28,07              | 2,0%              | 120,5%                  |
| S47       | 52,5       | 8,68               | 0,2%              | 29,2%                   |



---

|     |       |       |       |        |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| S48 | 99,18 | 19,75 | -0,1% | 53,0%  |
| S49 | 92,02 | 22,56 | 0,9%  | 200,6% |
| S50 | 54,42 | 9,66  | -0,2% | 2,3%   |
| S51 | 49,95 | 9,74  | 0,1%  | 0,4%   |
| S52 | 37,1  | 8,45  | -0,2% | -2,2%  |
| S53 | 40,35 | 7,15  | 0,1%  | 28,0%  |
| S54 | 88,15 | 17,14 | 0,3%  | 92,1%  |
| S55 | 68,44 | 18,18 | 0,3%  | 381,6% |
| S56 | 49,64 | 13,88 | 0,0%  | 61,6%  |
| S57 | 14,84 | 12,66 | 0,5%  | 54,3%  |
| S58 | 45,94 | 13,62 | -0,2% | 63,4%  |
| S59 | 32,25 | 8,84  | -0,1% | 80,1%  |

## APÊNDICE D – Iterações Vento 4

Tabela D. 1– Situação inicial e Iteração 1 para a combinação com vento 4

| Sapatas   | Situação inicial |              |                   | Iteração 1 |              |                   |
|-----------|------------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf)       | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 583,11           | 30,15        | 0%                | 606,27     | 30,20        | 4,0%              |
| S2        | 493,2            | 28,10        | 0%                | 518,92     | 28,97        | 5,2%              |
| R3/4/6/7  | 1435,1           | 36,55        | 0%                | 1471,7     | 36,46        | 2,6%              |
| R5/8      | 950,29           | 40,70        | 0%                | 881,18     | 38,70        | -7,3%             |
| S9        | 484,04           | 36,35        | 0%                | 483,74     | 35,96        | -0,1%             |
| S10       | 155,33           | 28,61        | 0%                | 188,62     | 29,79        | 21,4%             |
| R11/14/19 | 1764,1           | 42,10        | 0%                | 1698,1     | 40,54        | -3,7%             |
| R12/13    | 1330,6           | 42,20        | 0%                | 1198,5     | 39,80        | -9,9%             |
| S15       | 264,89           | 22,30        | 0%                | 318,74     | 24,26        | 20,3%             |
| S16       | 479,45           | 32,33        | 0%                | 493,63     | 32,47        | 3,0%              |
| S17/S18   | 1181,2           | 45,97        | 0%                | 1057,9     | 42,92        | -10,4%            |
| S20       | 559,25           | 38,96        | 0%                | 546,09     | 38,28        | -2,4%             |
| S21       | 261,46           | 26,48        | 0%                | 327,18     | 29,57        | 25,1%             |
| S22       | 580,42           | 25,61        | 0%                | 560,97     | 25,38        | -3,4%             |
| R23/30    | 1563,7           | 32,66        | 0%                | 1591       | 32,72        | 1,7%              |
| R24       | 1304,6           | 42,51        | 0%                | 1230,4     | 40,72        | -5,7%             |
| R25       | 1334             | 42,98        | 0%                | 1280,3     | 41,52        | -4,0%             |
| R26/34    | 1562,5           | 41,05        | 0%                | 1490,8     | 39,64        | -4,6%             |
| S27       | 593,29           | 32,85        | 0%                | 583,25     | 32,62        | -1,7%             |
| R28/32/33 | 1311,2           | 40,08        | 0%                | 1323,1     | 39,31        | 0,9%              |
| S29       | 386,15           | 22,66        | 0%                | 403,81     | 23,26        | 4,6%              |
| S31       | 388,76           | 28,75        | 0%                | 426,76     | 30,02        | 9,8%              |
| S35       | 13,23            | 2,13         | 0%                | 19,02      | 2,52         | 43,8%             |
| S36       | 27,79            | 4,76         | 0%                | 35,17      | 5,29         | 26,6%             |
| S37       | 24,58            | 6,52         | 0%                | 31,84      | 7,02         | 29,5%             |
| S38       | 34,13            | 9,57         | 0%                | 40,45      | 10,03        | 18,5%             |
| S39       | 33,05            | 10,59        | 0%                | 41,01      | 11,11        | 24,1%             |
| S40       | 24,62            | 9,05         | 0%                | 31,6       | 9,76         | 28,4%             |
| S41       | 20,49            | 8,74         | 0%                | 24,86      | 9,63         | 21,3%             |
| S42       | 14,66            | 3,59         | 0%                | 33,14      | 5,32         | 126,1%            |
| S43       | 54,52            | 6,30         | 0%                | 50,76      | 6,09         | -6,9%             |
| S44       | 87,12            | 11,80        | 0%                | 85,65      | 11,73        | -1,7%             |

|     |       |       |    |       |       |        |
|-----|-------|-------|----|-------|-------|--------|
| S45 | 39,2  | 8,29  | 0% | 86,15 | 12,31 | 119,8% |
| S46 | 35,64 | 23,43 | 0% | 49,33 | 24,62 | 38,4%  |
| S47 | 37,78 | 7,42  | 0% | 47,17 | 8,28  | 24,9%  |
| S48 | 63    | 16,26 | 0% | 87,72 | 18,54 | 39,2%  |
| S49 | 28,06 | 15,45 | 0% | 53,11 | 18,53 | 89,3%  |
| S50 | 54,69 | 9,46  | 0% | 58,16 | 9,89  | 6,3%   |
| S51 | 49,71 | 9,73  | 0% | 50,71 | 9,88  | 2,0%   |
| S52 | 37,47 | 8,45  | 0% | 39,1  | 8,68  | 4,4%   |
| S53 | 33,71 | 6,66  | 0% | 40,31 | 7,23  | 19,6%  |
| S54 | 49,42 | 13,91 | 0% | 71,92 | 15,90 | 45,5%  |
| S55 | 15,97 | 12,62 | 0% | 38,54 | 14,94 | 141,3% |
| S56 | 31,39 | 12,58 | 0% | 46,65 | 13,74 | 48,6%  |
| S57 | 9,71  | 12,10 | 0% | 14,03 | 12,62 | 44,5%  |
| S58 | 28,63 | 12,39 | 0% | 44,87 | 13,64 | 56,7%  |
| S59 | 18,44 | 7,84  | 0% | 31,36 | 8,86  | 70,1%  |

Tabela D. 2 - Iterações 2 e 3 para a combinação com vento 4

| Sapatas   | Iteração 2 |              |                   | Iteração 3 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 612,34     | 30,25        | 1,0%              | 614,56     | 30,28        | 0,4%              |
| S2        | 510,42     | 28,64        | -1,6%             | 505,33     | 28,44        | -1,0%             |
| R3/4/6/7  | 1505,5     | 36,79        | 2,3%              | 1523,1     | 36,98        | 1,2%              |
| R5/8      | 858,04     | 38,13        | -2,6%             | 847,4      | 37,88        | -1,2%             |
| S9        | 482,57     | 35,77        | -0,2%             | 482,28     | 35,70        | -0,1%             |
| S10       | 214,88     | 30,91        | 13,9%             | 233,39     | 31,71        | 8,6%              |
| R11/14/19 | 1695,8     | 40,29        | -0,1%             | 1699,4     | 40,24        | 0,2%              |
| R12/13    | 1144,3     | 38,99        | -4,5%             | 1115,5     | 38,60        | -2,5%             |
| S15       | 335,35     | 24,84        | 5,2%              | 340,7      | 25,04        | 1,6%              |
| S16       | 497,8      | 32,52        | 0,8%              | 499,77     | 32,56        | 0,4%              |
| S17/S18   | 1023       | 42,11        | -3,3%             | 1008,6     | 41,78        | -1,4%             |
| S20       | 535,45     | 37,86        | -1,9%             | 528,97     | 37,62        | -1,2%             |
| S21       | 346,58     | 30,49        | 5,9%              | 349,88     | 30,66        | 1,0%              |
| S22       | 541,64     | 24,97        | -3,4%             | 533,67     | 24,79        | -1,5%             |
| R23/30    | 1591,6     | 32,60        | 0,0%              | 1592,9     | 32,56        | 0,1%              |
| R24       | 1211       | 40,30        | -1,6%             | 1202,3     | 40,12        | -0,7%             |
| R25       | 1268,6     | 41,23        | -0,9%             | 1262,9     | 41,10        | -0,4%             |
| R26/34    | 1461,2     | 39,04        | -2,0%             | 1450,8     | 38,82        | -0,7%             |
| S27       | 565,41     | 32,03        | -3,1%             | 557,26     | 31,75        | -1,4%             |
| R28/32/33 | 1348,5     | 39,45        | 1,9%              | 1361,7     | 39,54        | 1,0%              |

|     |        |       |       |        |       |       |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| S29 | 403,3  | 23,23 | -0,1% | 403,17 | 23,22 | 0,0%  |
| S31 | 436,16 | 30,22 | 2,2%  | 440,62 | 30,33 | 1,0%  |
| S35 | 19,9   | 2,58  | 4,6%  | 20,08  | 2,59  | 0,9%  |
| S36 | 35,43  | 5,30  | 0,7%  | 35,44  | 5,30  | 0,0%  |
| S37 | 32,87  | 7,10  | 3,2%  | 33,19  | 7,12  | 1,0%  |
| S38 | 40,14  | 10,01 | -0,8% | 39,78  | 9,99  | -0,9% |
| S39 | 42,36  | 11,19 | 3,3%  | 42,88  | 11,22 | 1,2%  |
| S40 | 32,62  | 9,79  | 3,2%  | 33,37  | 9,83  | 2,3%  |
| S41 | 23,07  | 9,32  | -7,2% | 22,2   | 9,17  | -3,8% |
| S42 | 32,71  | 5,32  | -1,3% | 32     | 5,26  | -2,2% |
| S43 | 49,49  | 6,01  | -2,5% | 49,31  | 5,99  | -0,4% |
| S44 | 83,76  | 11,65 | -2,2% | 83,14  | 11,64 | -0,7% |
| S45 | 101,15 | 13,53 | 17,4% | 103,65 | 13,71 | 2,5%  |
| S46 | 61,04  | 25,90 | 23,7% | 69,36  | 26,85 | 13,6% |
| S47 | 49,24  | 8,44  | 4,4%  | 50,1   | 8,50  | 1,7%  |
| S48 | 95,78  | 19,29 | 9,2%  | 97,62  | 19,50 | 1,9%  |
| S49 | 72,03  | 20,55 | 35,6% | 82,22  | 21,57 | 14,1% |
| S50 | 56,4   | 9,77  | -3,0% | 55,4   | 9,70  | -1,8% |
| S51 | 49,78  | 9,76  | -1,8% | 49,69  | 9,73  | -0,2% |
| S52 | 38,18  | 8,58  | -2,4% | 37,76  | 8,53  | -1,1% |
| S53 | 41,43  | 7,29  | 2,8%  | 41,83  | 7,31  | 1,0%  |
| S54 | 83,13  | 16,81 | 15,6% | 88,11  | 17,21 | 6,0%  |
| S55 | 58,56  | 17,13 | 51,9% | 66,92  | 18,06 | 14,3% |
| S56 | 49,82  | 13,99 | 6,8%  | 50,35  | 14,02 | 1,1%  |
| S57 | 14,62  | 12,70 | 4,2%  | 14,73  | 12,71 | 0,8%  |
| S58 | 47,52  | 13,84 | 5,9%  | 47,23  | 13,80 | -0,6% |
| S59 | 33,23  | 8,98  | 6,0%  | 33,16  | 8,96  | -0,2% |

Tabela D. 3– Iterações 4 e 5 para a combinação com vento 4

| Sapatas   | Iteração 4 |              |                   | Iteração 5 |              |                   |
|-----------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|
|           | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga | Carga (tf) | Recalque(mm) | Variação de carga |
| S1        | 615,41     | 30,28        | 0,1%              | 616,03     | 30,29        | 0,1%              |
| S2        | 503,17     | 28,35        | -0,4%             | 502,42     | 28,31        | -0,1%             |
| R3/4/6/7  | 1531,6     | 37,07        | 0,6%              | 1535,5     | 37,12        | 0,3%              |
| R5/8      | 841,56     | 37,73        | -0,7%             | 837,95     | 37,64        | -0,4%             |
| S9        | 482,32     | 35,67        | 0,0%              | 482,42     | 35,66        | 0,0%              |
| S10       | 245,95     | 32,26        | 5,4%              | 254,41     | 32,63        | 3,4%              |
| R11/14/19 | 1701,8     | 40,22        | 0,1%              | 1702,8     | 40,20        | 0,1%              |
| R12/13    | 1099,1     | 38,38        | -1,5%             | 1089,7     | 38,26        | -0,9%             |

|           |        |       |       |        |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| S15       | 342,65 | 25,12 | 0,6%  | 343,56 | 25,16 | 0,3%  |
| S16       | 501,41 | 32,61 | 0,3%  | 503    | 32,66 | 0,3%  |
| S17/S18   | 1001,2 | 41,60 | -0,7% | 996,61 | 41,50 | -0,5% |
| S20       | 525,53 | 37,49 | -0,7% | 523,85 | 37,42 | -0,3% |
| S21       | 349,43 | 30,65 | -0,1% | 348,62 | 30,62 | -0,2% |
| S22       | 530,63 | 24,73 | -0,6% | 529,55 | 24,71 | -0,2% |
| R23/30    | 1594,8 | 32,56 | 0,1%  | 1596,6 | 32,56 | 0,1%  |
| R24       | 1197,5 | 40,02 | -0,4% | 1194,6 | 39,96 | -0,2% |
| R25       | 1259,7 | 41,02 | -0,3% | 1258   | 40,97 | -0,1% |
| R26/34    | 1448,1 | 38,75 | -0,2% | 1447,6 | 38,72 | 0,0%  |
| S27       | 554,08 | 31,64 | -0,6% | 552,91 | 31,59 | -0,2% |
| R28/32/33 | 1367,7 | 39,58 | 0,4%  | 1370,2 | 39,59 | 0,2%  |
| S29       | 403,28 | 23,22 | 0,0%  | 403,43 | 23,23 | 0,0%  |
| S31       | 442,87 | 30,39 | 0,5%  | 443,86 | 30,42 | 0,2%  |
| S35       | 20,14  | 2,59  | 0,3%  | 20,13  | 2,59  | 0,0%  |
| S36       | 35,48  | 5,30  | 0,1%  | 35,48  | 5,30  | 0,0%  |
| S37       | 33,34  | 7,13  | 0,5%  | 33,43  | 7,14  | 0,3%  |
| S38       | 39,62  | 9,97  | -0,4% | 39,56  | 9,96  | -0,2% |
| S39       | 43,13  | 11,23 | 0,6%  | 43,26  | 11,23 | 0,3%  |
| S40       | 33,86  | 9,87  | 1,5%  | 34,16  | 9,89  | 0,9%  |
| S41       | 21,78  | 9,09  | -1,9% | 21,56  | 9,05  | -1,0% |
| S42       | 31,82  | 5,24  | -0,6% | 31,8   | 5,24  | -0,1% |
| S43       | 49,25  | 5,99  | -0,1% | 49,25  | 5,99  | 0,0%  |
| S44       | 82,9   | 11,65 | -0,3% | 82,86  | 11,66 | 0,0%  |
| S45       | 103,95 | 13,72 | 0,3%  | 103,89 | 13,71 | -0,1% |
| S46       | 74,48  | 27,43 | 7,4%  | 77,36  | 27,76 | 3,9%  |
| S47       | 50,63  | 8,53  | 1,1%  | 50,81  | 8,54  | 0,4%  |
| S48       | 97,87  | 19,55 | 0,3%  | 97,74  | 19,57 | -0,1% |
| S49       | 86,87  | 22,01 | 5,7%  | 88,92  | 22,20 | 2,4%  |
| S50       | 54,75  | 9,65  | -1,2% | 54,52  | 9,64  | -0,4% |
| S51       | 49,81  | 9,73  | 0,2%  | 49,92  | 9,74  | 0,2%  |
| S52       | 37,56  | 8,51  | -0,5% | 37,45  | 8,51  | -0,3% |
| S53       | 41,97  | 7,31  | 0,3%  | 42,02  | 7,32  | 0,1%  |
| S54       | 90,11  | 17,38 | 2,3%  | 90,88  | 17,44 | 0,9%  |
| S55       | 69,35  | 18,33 | 3,6%  | 69,96  | 18,39 | 0,9%  |
| S56       | 50,43  | 14,02 | 0,2%  | 50,44  | 14,01 | 0,0%  |
| S57       | 14,84  | 12,73 | 0,7%  | 14,93  | 12,73 | 0,6%  |
| S58       | 46,89  | 13,76 | -0,7% | 46,7   | 13,74 | -0,4% |
| S59       | 33,08  | 8,95  | -0,2% | 33     | 8,94  | -0,2% |

Tabela D. 4– Iteração 6 e variação total da carga na fundação para a combinação com vento 4

| Sapatas   | Iteração 6 |                    |                   | Variação total da carga |
|-----------|------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
|           | Carga (tf) | Recalquefinal (mm) | Variação de carga |                         |
| S1        | 616,73     | 30,30              | 0,1%              | 5,8%                    |
| S2        | 502,25     | 28,30              | 0,0%              | 1,8%                    |
| R3/4/6/7  | 1537,4     | 37,14              | 0,1%              | 7,1%                    |
| R5/8      | 835,45     | 37,58              | -0,3%             | -12,1%                  |
| S9        | 482,52     | 35,65              | 0,0%              | -0,3%                   |
| S10       | 260,19     | 32,89              | 2,3%              | 67,5%                   |
| R11/14/19 | 1702,9     | 40,18              | 0,0%              | -3,5%                   |
| R12/13    | 1084       | 38,18              | -0,5%             | -18,5%                  |
| S15       | 344,05     | 25,19              | 0,1%              | 29,9%                   |
| S16       | 504,61     | 32,71              | 0,3%              | 5,2%                    |
| S17/S18   | 993,39     | 41,42              | -0,3%             | -15,9%                  |
| S20       | 523,02     | 37,39              | -0,2%             | -6,5%                   |
| S21       | 348,05     | 30,59              | -0,2%             | 33,1%                   |
| S22       | 529,18     | 24,71              | -0,1%             | -8,8%                   |
| R23/30    | 1598,1     | 32,58              | 0,1%              | 2,2%                    |
| R24       | 1192,8     | 39,91              | -0,2%             | -8,6%                   |
| R25       | 1257       | 40,95              | -0,1%             | -5,8%                   |
| R26/34    | 1447,6     | 38,72              | 0,0%              | -7,4%                   |
| S27       | 552,49     | 31,57              | -0,1%             | -6,9%                   |
| R28/32/33 | 1371,2     | 39,58              | 0,1%              | 4,6%                    |
| S29       | 403,54     | 23,24              | 0,0%              | 4,5%                    |
| S31       | 444,27     | 30,43              | 0,1%              | 14,3%                   |
| S35       | 20,13      | 2,59               | 0,0%              | 52,2%                   |
| S36       | 35,49      | 5,30               | 0,0%              | 27,7%                   |
| S37       | 33,49      | 7,14               | 0,2%              | 36,2%                   |
| S38       | 39,55      | 9,96               | 0,0%              | 15,9%                   |
| S39       | 43,34      | 11,24              | 0,2%              | 31,1%                   |
| S40       | 34,33      | 9,90               | 0,5%              | 39,4%                   |
| S41       | 21,43      | 9,03               | -0,6%             | 4,6%                    |
| S42       | 31,81      | 5,24               | 0,0%              | 117,0%                  |
| S43       | 49,23      | 5,99               | 0,0%              | -9,7%                   |
| S44       | 82,85      | 11,66              | 0,0%              | -4,9%                   |
| S45       | 103,85     | 13,71              | 0,0%              | 164,9%                  |
| S46       | 78,93      | 27,94              | 2,0%              | 121,5%                  |
| S47       | 50,91      | 8,55               | 0,2%              | 34,8%                   |
| S48       | 97,61      | 19,58              | -0,1%             | 54,9%                   |

---

|     |       |       |       |        |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| S49 | 89,81 | 22,28 | 1,0%  | 220,1% |
| S50 | 54,39 | 9,63  | -0,2% | -0,5%  |
| S51 | 50    | 9,74  | 0,2%  | 0,6%   |
| S52 | 37,38 | 8,50  | -0,2% | -0,2%  |
| S53 | 42,04 | 7,32  | 0,0%  | 24,7%  |
| S54 | 91,18 | 17,47 | 0,3%  | 84,5%  |
| S55 | 70,11 | 18,41 | 0,2%  | 339,0% |
| S56 | 50,43 | 14,01 | 0,0%  | 60,7%  |
| S57 | 15    | 12,74 | 0,5%  | 54,5%  |
| S58 | 46,6  | 13,73 | -0,2% | 62,8%  |
| S59 | 32,98 | 8,94  | -0,1% | 78,9%  |