

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
**FERDINAND DE JESUS LOPES NETO**

**PROJETO E EXECUÇÃO DE PISOS INDUSTRIAIS**

Recife - PE

2016

**FERDINAND DE JESUS LOPES NETO**

**PROJETO E EXECUÇÃO DE PISOS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Dr. Bernardo Horowitz

Recife - PE

2016

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

L864p      Lopes Neto, Ferdinand de Jesus.  
              Projeto e execução de pisos industriais / Ferdinand de Jesus Lopes  
              Neto. - Recife: O Autor, 2016.  
              52 folhas, il.

              Orientador: Prof. Dr. Bernardo Horowitz.  
              TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
              Departamento de Engenharia Civil, 2016.  
              Inclui Referências.

              1. Engenharia Civil. 2. Laje industrial. 3. Pátio de containers. I.  
              Horowitz, Bernardo (Orientador). II. Título.

              624 CDD (22. ed.)      UFPE/BCTG/2016-41



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 - FERDINAND DE JESUS LOPES NETO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROFESSOR BERNARDO HOROWITZ

Examinador 1: TIBÉRIO WANDERLAY CORREIA DE OLIVEIRA

Examinador 2: TIAGO ANCELMO DE CARVALHO PIRES

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: PROJETO E EXECUÇÃO DE PISOS INDUSTRIAIS

LOCAL: SALA 109 - CTG - UFPE

DATA: 12 / 02 / 2016 HORÁRIO DE INÍCIO: 15:15 HORAS.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 20...minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) argüido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1)  **aprovado(s)**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

**Sem revisões.**

**Com revisões**, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias. (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2)  **reprovado(s)**.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 12 de fevereiro de 2016..

Orientador:.....

Examinador 1.....

Examinador 2.....

Candidato 1.....

Candidato 2.....

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor orientador Bernardo Horowitz, o qual tive o prazer de ser aluno e estagiário, sempre me acompanhando e auxiliando na solidificação dos conhecimentos.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado para me apoiar em todas decisões.

E aos amigos, que, mesmo que afastados, ajudaram direta ou indiretamente na conclusão deste trabalho.

## RESUMO

A construção de lajes em geral não envolve nenhum conhecimento extremamente específico de construção civil. Todavia, em casos especiais de lajes, como as industriais, merecem atenção especial por estarem sujeitas a carregamentos e condições de operação extremamente fora do padrão. Caso não se atente para estes detalhes, problemas diversos irão surgir, podendo chegar a níveis que podem até inviabilizar a utilização do piso. Portanto, estudos englobando os tipos de carregamento, materiais utilizados, ensaios de prospecção e o método executivo se mostram extremamente necessários para a construção de uma laje industrial adequada e funcional. Sendo assim, primeiramente este trabalho visa fazer um breve estudo relativo ao projeto e a execução de um piso industrial. Em seguida, segue-se para um estudo de caso, que objetiva apresentar uma solução para uma laje que possuía diversos problemas devido à uma execução e um projeto mal elaborados, com o auxílio de *softwares* de análise estrutural.

**Palavras-chave:** Laje industrial. Pátio de containers. Projeto. Execução. Dimensionamento.

## ABSTRACT

Building concrete slabs generally does not involve the need of having very specific knowledge in construction. However, some special cases, such as industrial slabs, deserve special attention because they are subjected to extreme high loads and operational conditions that are non-standart. If these details are ignored, many problems will arise, to the point that the slab may lose it's capabilty being used in a proper way. Therefore, studies envolving the loads, required materials, geotechnical investigations and the executive method are much needed to build a industrial slab that meets the desired behavior. Thus, this paper firstly focus on doing a brief study about the project and the execution of a industrial slab. Then there is a case study, which presents a solution to a already built slab that had been presenting lots of problems due to an bad execution and a poorly designed project, helped by some structural analysis softwares.

**Key words:** Industrial slab. Container yard. Project. Execution. Structural design.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Disposição das prateleiras de paletes .....	5
Figura 2 - Pátio de Containers .....	6
Figura 3 - Guindaste TEREX.....	7
Figura 4 - Camadas do piso .....	7
Figura 5 - Esquematização do ensaio CBR.....	9
Figura 6 - Relação CBR x K.....	10
Figura 7 - Esquematização do <i>Slump Test</i> .....	13
Figura 8 - Laje sob efeito da exsudação .....	14
Figura 9 - Ensaio de tração na flexão.....	17
Figura 10 - Caminhão betoneira.....	25
Figura 11 - Métodos de concretagem.....	26
Figura 12 - Laser Screed .....	27
Figura 13 - Laje em processo de cura .....	29
Figura 14 - Efeitos do assentamento plástico.....	30
Figura 15 - Sarrafeamento .....	33
Figura 16 - Aplicação do alisador de concreto .....	33
Figura 17 - Modelo 01 (linha azul representa a viga) .....	36
Figura 18 - Modelo 02 (elementos vermelhos representam a viga) .....	36
Figura 19 - Propriedades dos elementos da laje .....	37
Figura 20 - Propriedades dos elementos da viga .....	37

Figura 21 - Propriedade da barra .....	38
Figura 22 - Condições de contorno do modelo 01 .....	38
Figura 23 - Condições de contorno do modelo 02 .....	39
Figura 24 - Coeficiente $k$ das molas.....	40
Figura 25 - Hipótese 01 de carregamento do TEREX.....	41
Figura 26 - Hipótese 02 de carregamento do TEREX.....	41
Figura 27 - Carregamento dos containers no modelo 01 .....	43
Figura 28 - Carregamento dos containers no modelo 02 .....	43
Figura 29 - $M_x$ (W&A) na face superior do modelo 01 .....	44
Figura 30 - $M_x$ (W&A) na face inferior do modelo 01 .....	45
Figura 31 - $M_y$ (W&A) na face superior do modelo 01 .....	45
Figura 32 - $M_y$ (W&A) na face inferior do modelo 01 .....	45
Figura 33 - $M_x$ (W&A) na face superior do modelo 02 .....	46
Figura 34 - $M_x$ (W&A) na face inferior do modelo 02 .....	46
Figura 35 - $M_y$ (W&A) na face superior do modelo 02 .....	46
Figura 36 - $M_y$ (W&A) na face inferior do modelo 02 .....	47
Figura 37 - Disposição das armaduras da laje e das vigas, em obra.....	49

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resumo dos esforços na laje .....	47
Tabela 2 - Área de aço necessária por metro de laje .....	48
Tabela 3 - Armadura da laje .....	48
Tabela 4 - Armadura da viga .....	48

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Justificativa .....	1
1.2	Objetivos .....	2
1.3	Escopo.....	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Pisos Industriais - Introdução.....	4
2.2	Modos de armazenamento de carga .....	4
2.2.1	Armazenagem a granel .....	4
2.2.2	Prateleiras de paletes.....	4
2.2.3	Containers .....	5
2.3	Máquinas para operação das cargas .....	6
2.4	Estudo dos componentes do piso .....	7
2.4.1	Subleito .....	8
2.4.1.1	Índice de Suporte Califórnia.....	8
2.4.1.2	Coefficiente de recalque.....	9
2.4.2	Sub-base.....	10
2.5	Tipos de lajes estruturais.....	11
2.6	Estudo do concreto fresco .....	12
2.6.1	Trabalhabilidade .....	12
2.6.2	Exsudação .....	14
2.6.3	Tempo de pega.....	15
2.6.4	Assentamento plástico .....	15
2.7.	Estudo do concreto endurecido .....	16
2.7.1	Resistência à compressão e flexão.....	16
2.7.2	Módulo de elasticidade .....	18
2.7.3	Retração .....	18

2.7.4 Dilatação térmica .....	19
2.8 Componentes do concreto .....	20
2.8.1 Cimento .....	20
2.8.2 Agregados .....	21
2.8.2.1 Agregados Graúdos .....	22
2.8.2.1 Agregados Finos .....	22
2.8.3 Água .....	23
2.8.4 Aditivos .....	23
2.9 Execução .....	24
2.9.1 Especificação do concreto .....	24
2.9.2 Transporte .....	25
2.9.3 Concretagem .....	26
2.9.4 Vibração .....	27
2.9.5 Cura .....	28
2.9.6 Fissuras .....	30
2.9.7 Juntas .....	31
2.9.8 Acabamento .....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
3.1 Modelo Estrutural .....	34
3.2 Elementos .....	36
3.3 Barras .....	37
3.4 Condições de contorno .....	38
3.5 Molas .....	39
3.6 Carregamentos .....	40
3.6.1 Carga do TEREX .....	40
3.6.2 Carga dos containers .....	41

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1 Mapas de Contorno .....	44
4.2 Armaduras .....	47
4.3 Discussão e conclusões .....	49
5 REFERÊNCIAS .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Justificativa

Pavimentos que utilizam como base o concreto são extremamente difundidos no mundo atual. Toda construção industrial e/ou comercial exige uma laje, e na grande maioria das vezes, esta é de concreto armado.

Uma laje para ser executada adequadamente exige um bom planejamento, que vai muito além de simplesmente seguir regras já estabelecidas por normas ou pela cópia de obras já existentes. Deve-se preocupar com condições específicas para a situação corrente, e buscar as melhores soluções de maneira adequada.

A laje exerce duas grandes funções que podem não ser tão evidentes à princípio. Primeiramente temos que elas são responsáveis pela capacidade estrutural de uma construção: calculadas por um engenheiro estrutural capaz de dimensioná-la aos esforços aos quais estará submetida, esperando que a mesma tenha capacidade de resistir à esses esforços por toda sua vida útil. Porém, a outra função que muitas vezes passa despercebida é de que as lajes também são a superfície direta de trabalho de equipamentos diversos (gruas, guindastes, containers, prateleiras, etc.), de modo que a influência gerada por estas interações podem acarretar em consequências diversas para a laje.

Pisos em geral podem apresentar problemas relacionados as mais variadas causas, como erosão da superfície e problemas nas juntas, por exemplo. No entanto raramente os problemas ocorrem devido à problemas de origem estrutural, indicando a existência de um provável descuido na realização da análise da finalidade da laje em questão. Estes problemas são facilmente contornáveis quando existe um estudo adequado do tipo de atividade que será exercida pelo usuário. Além disto, essa análise voltada especificamente para cada caso também poupa gastos, afinal a laje poderá ser dimensionada especificamente para a atividade desejada, reduzindo gastos em outras propriedades que a laje não necessariamente vá precisar apresentar.

## 1.2 Objetivos

Esse trabalho visa estudar as diversas etapas para a execução de uma laje de proporções industriais, analisando seus diversos elementos e as possíveis consequências dos materiais e métodos adotados.

Deste modo, pode-se elencar alguns objetivos como sendo os principais desse trabalho:

- Análise dos carregamentos devido às cargas fixas e móveis (veículos de transporte), verificando as condições necessárias para criação de juntas evitando o fissuramento, também como condições de regularidade da superfície e resistência ao desgaste adequadas;
- Estudo dos componentes das lajes de concreto apoiadas sobre o solo – subleito, sub-base, camada de areia e o concreto - avaliando as suas funções e características.
- Estudo do concreto e seus componentes, também como sua mistura, transporte, concretagem e condições necessárias para cura;
- Análise das fissuras mais comuns, com suas causas e soluções. Além disso o estudo da necessidade da utilização ou não de juntas induzidas;
- Por fim, também será realizado um estudo de caso, onde será feito um projeto de um piso industrial para um pátio de containers, com simulação através do software STRAP.

## 1.3 Escopo

Para atender aos objetivos, o trabalho está estruturado em 6 capítulos. Primeiramente, o capítulo 1, que é essa introdução, busca mostrar o teor geral do trabalho, apontando seu objeto de estudo e os seus objetivos gerais, além de apresentar o seu escopo, mostrando a divisão das partes.

Após a introdução, o capítulo 2 traz a revisão bibliográfica. É nesse capítulo que se localiza a maior parte teórica e de pesquisa do trabalho. Nesta etapa se realizará uma síntese do que a literatura atual fala sobre o tema abordado, apresentando visões de alguns autores, além de explicações mais teóricas e definições dos conceitos essenciais para o entendimento do tema. Nesse âmbito, são definidos os tipos possíveis de carregamento dos pisos industriais e as condições de operação que os mesmos exigem; os componentes do piso; análise da relação entre fissuras e juntas; e estudo da superfície da laje. As metodologias mais difundidas

de modelação de lajes e análise estrutural são apresentadas no capítulo 3 (materiais e métodos).

Depois da apresentação e discussão da teoria, o capítulo 4 relata um estudo de caso de um pátio de containers. O pátio em questão foi inicialmente projetado de uma maneira deficiente, apresentando diversos tipos de problemas em pouquíssimo tempo, de modo que sua operação foi comprometida. Portanto, foi solicitada uma solução para este problema, que é apresentada neste trabalho. Esta análise será realizada através do software adotado, o STRAP. Diversas condições serão testadas e comparadas, e estes resultados serão apresentados com o auxílio de gráficos e tabelas, possibilitando uma comparação crítica entre as soluções encontradas.

Após essa comparação, ainda no capítulo 4 temos a conclusão, representa um fechamento do trabalho, realizando as últimas considerações e análises em relação aos resultados e metodologia usada. Além disso, nesse capítulo reforça-se a importância do estudo efetuado, com sugestões de trabalhos futuros nessa área, a fim de melhorar continuamente os resultados obtidos.

Finalmente no capítulo 5, apresenta-se a bibliografia consultada, seja através de livros ou websites que forneceram informações ou imagens utilizadas no trabalho.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Pisos Industriais - Introdução**

Pisos industriais são geralmente caracterizados por armazenarem carregamentos de elevado peso, em áreas relativamente pequenas. Antigamente a operação de estocagem era realizada de maneira manual, porém atualmente existem sistemas que permitem o manuseio de cargas em altura bem mais elevadas. Para isso, porém, se tornou necessário adotar veículos capazes de operar toda essa carga de maneira adequada. Todo piso industrial deve ser projetado para resistir aos esforços dos destes veículos de transporte.

Dependendo do uso, certas condições se fazem necessárias para a operação adequada dos equipamentos, como regularidade da superfície ou resistência ao desgaste. Além disso, uma análise das juntas e fissuras também se faz necessária quando têm-se existência de veículos sobre rodas – o que quase sempre ocorre. Uma análise em relação à resistência a ataques químicos geralmente não é de grande importância, com exceção das áreas onde pode ocorrer troca de bateria dos veículos, pois pode haver derramamento de ácidos.

### **2.2 Modos de armazenamento de carga**

Todo piso industrial armazena pelo menos um tipo de carga, podendo em alguns casos apresentar mais de uma maneira como seu carregamento será distribuído sobre a laje. Existem vários métodos que são aplicados, porém neste tópicos só serão abordados os mais usuais.

#### **2.2.1 Armazenagem a granel**

Consiste em material solto, como milho ou cascalho, armazenados diretamente sobre o piso. Por isso, a carga é praticamente uniforme por toda a superfície, sem pontos de concentração de esforços. Devido a isso, os esforços de flexão são bem reduzidos, mesmo sob efeito de grandes cargas.

A quantificação do carregamento é simples devido ao fato que se só faz necessário o conhecimento da densidade do material e da altura de armazenagem.

#### **2.2.2 Prateleiras de paletes**

São prateleiras, geralmente feitas em aço, nas quais se carregam os produtos. Este tipo de disposição gera cargas concentradas de alta intensidade no piso, pois cada perna (exceto se

nas extremidades) pega o equivalente ao peso de uma prateleira inteira mais o peso da carga, por nível.

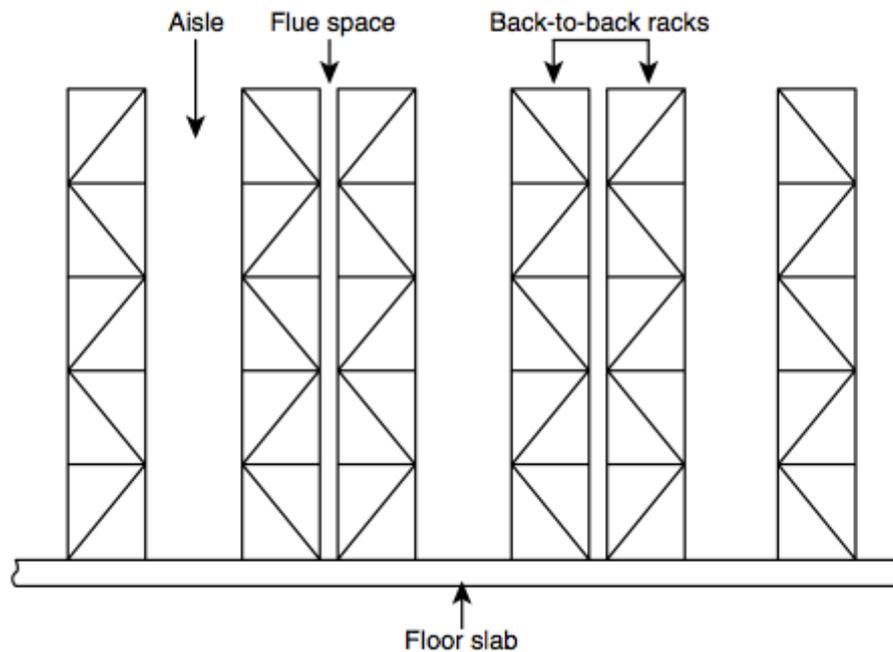


Figura 1 - Disposição das prateleiras de paletes

Devido a isso, o uso de prateleiras pode acarretar na necessidade da utilização de lajes de espessura elevada. Para reduzir os custos, alguns projetistas aumentam a espessura da laje somente na região onde a carga irá atuar. Pode parecer uma boa solução, mas deve-se tomar cuidado, pois o espraiamento da carga pode não ocorrer e gerar problemas na região, como o puncionamento.

As cargas em geral variam entre 2 e 8 toneladas por perna, mas podem atingir valores muito mais elevados. As juntas não precisam necessariamente serem seladas, mas deve existir transferência de carga entre elas.

### 2.2.3 Containers

Dentre os citados, este é o que geralmente funciona a céu aberto devido à necessidade de movimentação excessiva das cargas e dos produtos estarem bem abrigados contra as intempéries. Seu empilhamento geralmente se dá em até 06 unidades, sendo limitado tanto pelo peso excessivo quanto pelas condições operacionais dos guindastes.

As dimensões podem variar, mas no geral apresentam comprimento de 6,00m, largura de 2,50m e altura de 2,50m. A carga concentrada gerada é altíssima, pois seu elevado peso na

maioria dos casos se divide em apenas 4 apoios em suas extremidades, principalmente quando completamente carregados e empilhados.

Atualmente se encontra em uma demanda crescente devido às facilidades fornecidas por este método de estocagem, pois sua universalização facilita o intercâmbio de produtos.

O estudo de caso realizado neste trabalho irá no capítulo 5 abordar um pátio de containers sob os mais diversos tipos de carregamento e com o guindaste TEREX para auxiliar na operação dos containers, que também possui alta carga quando completamente carregado.



Figura 2 - Pátio de Containers

### **2.3 Máquinas para operação das cargas**

Existem diferentes maneiras de locomover as cargas existentes num armazém ou num pátio industrial, mas quase todas elas exigem a utilização de um veículo que tenha alta capacidade de carga e mantendo uma velocidade aceitável de operação.

Na maioria das vezes não é a carga gerada por esses veículos que vai definir a capacidade de resistência necessária em uma laje, porém estes são responsáveis pela existência de condições adequadas de operação, sejam nas juntas, na regularidade da superfície ou na resistência ao desgaste. Caso essas condições não sejam devidamente atendidas, cedo ou tarde o piso irá enfrentar problemas graves, que demandam muito mais dinheiro para ser corrigido do que para serem evitados.

Dentre os mais comuns temos os guindastes, caminhões, empilhadeiras, transelevadores e os veículos híbridos. Cada um destes possui uma imensa gama de variações, que atendem a diversos tipos de disposição de material, altura, carga, mobilidade e diversas outras características. Cabe ao projetista e ao usuário decidirem qual solução é a ideal, de modo a evitar problemas futuros e reduzir custos operacionais. Vale salientar que o veículo

adotado para o estudo de caso deste trabalho foi um guindaste do tipo TEREX, que terá suas especificações de peso e geometria devidamente apresentados quando necessário.



Figura 3 - Guindaste TEREX

## 2.4 Estudo dos componentes do piso

A laje de um piso industrial se divide em basicamente quatro principais componentes: subleito, sub-base, camada de areia e concreto. Nem todas destas camadas são obrigatórias, mas sempre existem o subleito e a camada de concreto.

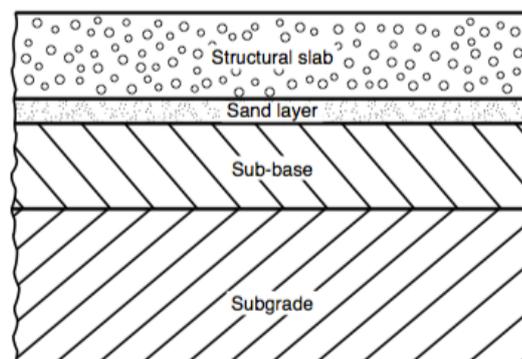


Figura 4 - Camadas do piso

Na figura 4 podemos ver como as camadas são dispostas. “Subgrade” é o subleito, “sand layer” é a camada de areia e concrete “slab” é a laje de concreto.

O subleito é a camada mais abaixo da estrutura, podendo ser feita de solo natural ou de algum preenchimento importado devidamente compactado. Sua qualidade implica diretamente na capacidade resistiva do piso. Alguns pisos apresentam a laje diretamente apoiada sobre o subleito, mas na maioria dos casos se indica a utilização de uma camada intermediária, a sub-base.

### **2.4.1 Subleito**

O subleito é a camada que se relaciona diretamente com as propriedades do solo no qual será construído o piso, sendo a camada mais profunda. Assim sendo, no dimensionamento dos pavimentos industriais, necessitamos, da mesma forma que nas rodovias, ter o conhecimento da camada superficial do solo, obtido através de seus índices físicos (CBR) e do coeficiente de recalque (k), bem como do conhecimento das camadas mais profundas, obtidas na sua forma mais elementar pelas sondagens (SPT). O ensaio SPT é o responsável por fornecer uma das informações mais essenciais do solo para o dimensionamento, que é o seu perfil, por onde pode-se estimar resistência, espessura de camadas, tipo de material e etc.

A primeira consideração que deve ser feita para o desenvolver o projeto de um pavimento industrial, refere-se ao grau de informações geotécnicas disponíveis. Estas, por sua vez, devem ser de tal magnitude que propiciem ao projetista o nível de segurança necessário para que o projeto atinja uma relação ótima entre custo e durabilidade.

#### **2.4.1.1 Índice de Suporte Califórnia**

Tradicionalmente, utiliza-se o ensaio de suporte Califórnia, que fornece o índice de suporte Califórnia, indicado comumente pelas letras CBR (California Bearing Ratio), para caracterizar o solo sob o ponto de vista de resistência.

Nesse ensaio, toma-se um corpo de prova em um cilindro de 150 mm de diâmetro por 170 mm de altura; submerge-se o corpo de prova durante quatro dias para se atingir a saturação. Uma vez atingida, inicia-se o ensaio medindo-se inicialmente, por intermédio de um deflectômetro, a expansão que a amostra sofre ao saturar-se. A seguir, por meio de um macaco hidráulico, faz-se pressão contra o corpo de prova por meio de um cilindro de 50 mm de diâmetro. Um manômetro registra a pressão aplicada e um deflectômetro mede as deformações com as quais se traça o gráfico apresentado na Figura 5.

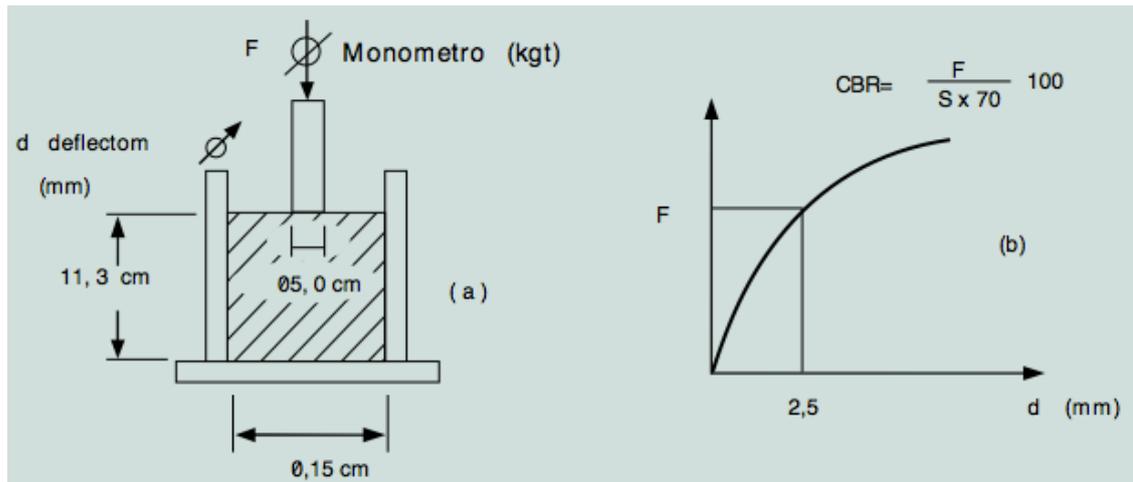


Figura 5 - Esquematização do ensaio CBR

O CBR define-se por:

$$CBR \% = \frac{F}{70 \times S} \times 100$$

onde “ $F$ ” é a força aplicada em kgf para a deformação padrão, e “ $S$ ” é a área.

#### 2.4.1.2 Coeficiente de recalque

A resistência do solo do subleito, medida por meio do CBR, influenciará diretamente na espessura final da placa; esse parâmetro é largamente empregado para a o dimensionamento com fins rodoviários. Entretanto, quando se trata de pavimentos rígidos, emprega-se comumente o coeficiente de recalque  $k$ ; o ábaco da figura 6 permite correlacionar este coeficiente com o CBR.

Define-se coeficiente de recalque ou módulo de reação  $k$  pela relação:

$$k = \frac{P}{\delta}, \text{ em MPa/m}$$

onde “ $P$ ” é a pressão unitária aplicada sobre uma barra rígida em MPa e “ $\delta$ ” é o recalque correspondente, em metros.

O valor de  $k$  varia entre limites amplos, dependendo do solo, da sua densidade e umidade. Solos muito plásticos podem apresentar um valor da ordem de  $1,4 \text{ kgf/cm}^2 / \text{cm}$  ( $14 \text{ MPa/m}$ ), enquanto pedregulhos e solos arenosos bem graduados atingem valores da ordem de  $14,0 \text{ kgf/cm}^2 / \text{cm}$  ( $140 \text{ MPa/m}$ ) ou mais.

O mesmo ensaio pode ser empregado para determinar o coeficiente de recalque no topo do sistema subleito e sub-base.

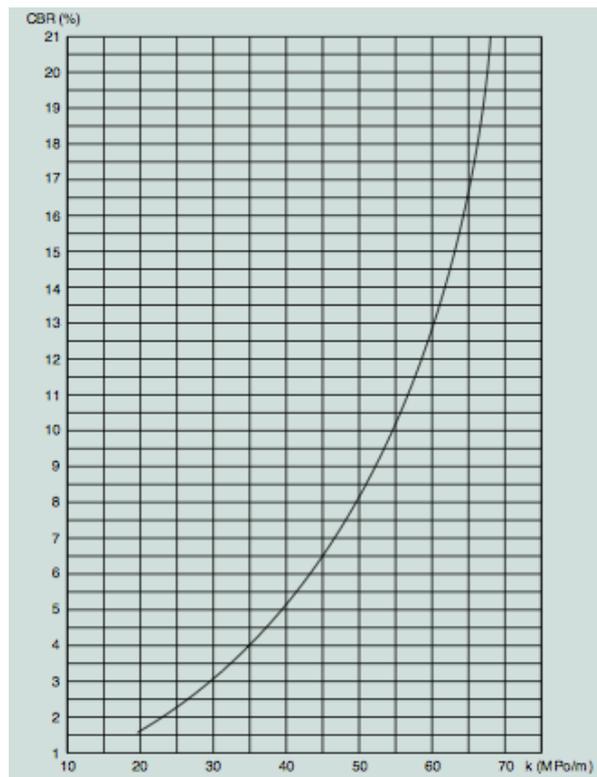


Figura 6 - Relação CBR x K

### 2.4.2 Sub-base

A importância da sub-base é fácil ser compreendida quando se imagina o sistema estrutural de uma placa de concreto ( $E_c = 26000$  MPa), apoiada sobre um solo de boa qualidade ( $E_s = 60$  MPa): a relação entre os módulos acaba sendo muito elevada, pois o módulo de deformação da placa acaba sendo, neste caso, aproximadamente 430 vezes mais alto do que o do solo. Se entre os dois materiais for colocada uma camada de, por exemplo, brita graduada ( $E_{SB} = 200$  MPa), a relação  $E_c/E_{SB}$  passa a ser aproximadamente 130 e entre  $E_{SB}/E_s$  próxima a 3. Em outras palavras, a função principal da sub-base é de aumentar a capacidade de transmissão da carga, espalhando cargas concentradas sobre uma área maior do subleito.

Adicionalmente, muitas rodovias ao longo dos anos apresentam problemas sérios devido a ausência de sub-base, sendo o mais crítico o bombeamento, se caracterizando pela perda de finos da camada de suporte, sendo expelidos juntos com a água pelas juntas. Esse fenômeno ocorre pela existência excessiva de finos no subleito e pela saturação do mesmo, aliado com cargas imóveis elevadas.

Outra função importantíssima da sub-base é o incremento da transferência de carga das juntas. Isso ocorre devido a uma menor deformação nas placas, pois mesmo que a redução

de tensões nem sempre seja significativa, a deflexão será sempre menor, pois varia inversamente com o coeficiente de recalque.

No geral, as sub-bases consistem de material granular compactado e pedra britada com partículas em vários tamanhos.

Em alguns pisos, acima da sub-base se utiliza uma camada de finos acima da sub-base, geralmente areia. Estes finos tem como função regularizar a superfície da sub-base, de modo que a espessura da laje seja mais precisa e reduza o atrito entre a laje e a sub-base. Existem casos onde a sub-base já apresenta uma boa quantidade de finos, tornando o uso desta camada de areia redundante.

Alguns projetistas, no entanto, usam esta camada de areia com outro propósito: para absorver a umidade da mistura de concreto, ficando diretamente apoiada sobre uma membrana impermeável. Se somente essa membrana ficar abaixo do concreto, podem acontecer fenômenos indesejados na laje, como o empenamento. Deste modo, aplicando a camada de finos entre o concreto e a membrana, reduzem-se os riscos. Vale salientar que em ambientes externos, chuvas mais intensas podem tornar o uso destas camadas de areia algo negativo, devido ao acúmulo de água na areia, saturando-a, e conseqüentemente tomando mais tempo para secagem. Como já citado, o uso dessa membrana (lona plástica) é controverso, que merece atenção mais aprofundada e orientação específica em para cada caso.

## **2.5 Tipos de lajes estruturais**

As lajes estruturais podem ser divididas em vários tipos. Os principais são:

- Lajes sem armadura para reforço;
- Lajes com reforço somente para evitar fissuras;
- Lajes com reforço passivo para fins estruturais;
- Lajes com reforço protendido para fins estruturais;

Neste trabalho só será abordado o tipo de laje com armadura passiva, focada em resistir aos esforços da estrutura. A armação pode se apresentar por meio de barras, telas metálicas ou fibras de aço. Neste tipo de abordagem, o foco principal da armadura é resistir aos esforços gerados pelos carregamentos, não prevenir a existência de fissuras.

Pisos com carregamentos muitos elevados são geralmente dimensionados com duas camadas de reforço metálico, na parte superior e inferior da laje. Já se a carga não for tão

grande, pode-se aplicar apenas uma camada, mais comumente próxima a região inferior da laje.

Um estudo mais detalhado da quantidade de armadura necessária, posicionamento e outras informações será realizado no capítulo 4, onde ocorrerá um estudo de caso de um pátio de containers.

Pode-se calcular os esforços de uma laje sob carregamento de várias maneiras. Existem os métodos que podem ser encontrados em manuais, ou simplesmente por experiência própria do engenheiro responsável. Felizmente, existem os modelos computacionais simulam o piso tão precisamente quanto o projetista desejar. Obviamente modelos mais complexos demandam mais tempo, porém se beneficiam de uma maior precisão dos resultados.

Dentre os métodos computacionais, o mais difundido para este tipo de análise é o método dos elementos finitos, que divide a laje em vários pequenos elementos, cada um simulando uma parcela da superfície do piso. Será este método o adotado no trabalho durante o estudo de caso, no capítulo 4.

## **2.6 Estudo do concreto fresco**

Apesar de o concreto passar uma pequena parcela de sua vida no estado fresco, essas horas são de extrema importância para definir como será a performance da laje durante toda sua vida útil. Aqui serão abordados pontos importantes do concreto fresco que afetam diretamente as condições de execução do piso. No concreto fresco, os efeitos e características que merecem mais atenção são:

- Trabalhabilidade;
- Exsudação;
- Tempo de pega;
- Assentamento plástico;

### **2.6.1 Trabalhabilidade**

É a propriedade que define o quão fácil o concreto pode ser movido, moldado e compactado. A medida que se adiciona água ou aditivos, o concreto se torna mais trabalhável. O método mais difundido de medição da trabalhabilidade é realizado pelo *Slump Test*, de modo que quanto maior o slump (abatimento) do concreto, mais trabalhável ele é.

Trabalhabilidade é uma propriedade que gera bastante controvérsia. Evidentemente essa propriedade é benéfica para o concreto, mas às vezes em excesso pode trazer prejuízo. A melhoria da trabalhabilidade cresce com a inclusão de água, porém outras propriedades de igual importância são sacrificadas, como uma menor resistência final do concreto ou uma maior perda por retração, caso se mantenha o mesmo traço. Se a trabalhabilidade for atingida com auxílio de aditivos, o custo se torna bem mais elevado e surgem problemas no acabamento.

Diferentes normas atribuem diferentes valores de referência para o *slump* do concreto ideal, variando de 50mm a até 150mm. Todavia, para uso em construção de pisos, um valor entre 100mm até 125mm é adequado.

Como já citado, o *Slump Test* (ou ensaio de abatimento) é o método mais aplicado no Brasil. Ele consiste de preencher uma forma de geometria de tronco de cone de aproximadamente 30cm de altura, com concreto fresco. Esta forma é aberta nas duas bases, e sua base maior fica apoiada em alguma superfície regular. Preenche-se o molde com o concreto, ele é compactado e em seguida o molde é lentamente retirado. O resultado do teste é simplesmente a diferença de altura entre o concreto na forma e a altura depois de desformado. Usualmente quando um lote de concreto possui alguma diferença agravante dos demais lotes, essas diferenças são facilmente detectadas através do *slump*.

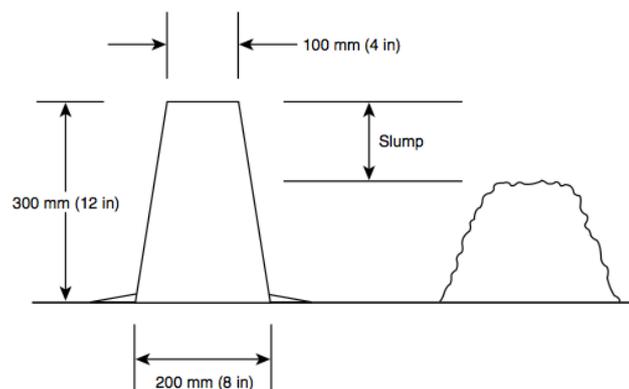


Figura 7 - Esquematização do *Slump Test*

Vale salientar que o *Slump test* depende diretamente da habilidade do operador do teste, de modo que os resultados podem variar bastante.

Para se obter o valor adequado de trabalhabilidade em determinada situação, deve-se estudar diversas variáveis que afetam diretamente a necessidade de trabalhabilidade do concreto. Temperaturas elevadas e o uso de bombeamento geram a necessidade de um concreto de maior trabalhabilidade, por exemplo. Cada caso deve ser analisado

individualmente, avaliando-se as vantagens e desvantagens que a trabalhabilidade alta ou baixa podem vir a gerar para a obra.

### 2.6.2 Exsudação

É o processo caracterizado pela elevação da água até a superfície do concreto em lajes recentes. Isso ocorre pois a água é menos densa que os demais componentes do concreto, de modo com que os componentes de maior peso afundem e a água tenda a subir. O fenômeno é facilmente detectável quando a taxa de exsudação é maior do que a taxa de evaporação, fazendo com que ela se acumule. Portanto, em regiões de clima mais temperado esse processo nem sempre é percebido. Se ocorrer em quantidades baixas, pode ser até trazer benefícios para a laje deixando sua superfície úmida, facilitando o acabamento.



Figura 8 - Laje sob efeito da exsudação

O principal problema que a exsudação causa para o piso é o fato de enfraquecer a ligação entre o aglomerante (cimento) e os agregados, trazendo prejuízos a laje. Para solucionar este problema, pode-se simplesmente remover a água de exsudação mecanicamente, aumentar a taxa de evaporação ou mudar o traço do concreto para um que apresente uma menor taxa de exsudação.

O aumento da taxa de evaporação, porém, é extremamente complicado por simplesmente a maioria dos parâmetros dependem do clima (vento, insolação, chuva) não poderem ser controlados pelo executor, especialmente em obras externas.

Alterar as especificações do concreto também é um modo eficiente, mas deve-se ter cuidado para não comprometer as outras propriedades do mesmo. Aumento do número de finos e o uso de menos água são maneiras de diminuir a exsudação.

### **2.6.3 Tempo de pega**

É definido com o tempo decorrido a partir do momento em que a água é adicionada à mistura do concreto e o instante em que ocorre a pega – ou seja, seu endurecimento. O tempo de pega afeta diretamente a execução da obra pois ele determina o tempo disponível para realizar o acabamento do concreto. Basicamente, o tempo de pega depende da temperatura na mistura e do uso ou não de aditivos.

A hidratação do cimento ocorre mais rapidamente quanto mais elevada for a temperatura, de modo que em ambientes mais quentes o tempo de pega é menor. Se a temperatura estiver elevada, acelerando a pega, pode-se tentar adotar medidas como realizar o lançamento do concreto no período noturno e resfriar a água da mistura, por exemplo. Se a temperatura estiver muito baixa, retardando a pega, pode-se tentar aquecer a água da mistura (cuidado para não evaporar e alterar o traço).

Também existem aditivos que podem afetar diretamente ou indiretamente o tempo de pega da mistura de concreto, podendo ser eles aceleradores ou retardadores. Aditivos serão mais profundamente discutidos em seções posteriores deste trabalho.

### **2.6.4 Assentamento plástico**

Esse fenômeno gera o afundamento do concreto por causa da perda de volume que acontece devido a perda de água. Vale salientar que esse processo é diferente da perda de água por retração, que será discutido na seção de concreto endurecido. A retração ocorre em todas direções, enquanto o assentamento ocorre somente na direção vertical. Os problemas que podem surgir devido ao assentamento são a criação de fissuras e a deformação da superfície do concreto, tornando-a menos plana.

As fissuras se apresentam mais facilmente em regiões onde há presença de barras de aço, pois o concreto assenta, mas as barras permanecem na mesma posição. Quanto maior o diâmetro das barras, mais evidente são as fissuras.

Quanto em relação a regularidade do piso, temos que o assentamento é prejudicial pois o mesmo não ocorre uniformemente ao longo de toda a superfície. Como consequência disso,

em lajes muito espessas (400mm ou mais), onde é exigido que a superfície seja perfeitamente plana, muito provavelmente a melhor solução é adotar algum revestimento.

Para minimizar esse problema, pode-se adotar soluções como a redução de água na mistura (atenção para a trabalhabilidade), usar agregados graúdos tão grandes quanto o possível, garantindo que esse agregado seja adequadamente graduado, e a adição de fibras plásticas.

## **2.7. Estudo do concreto endurecido**

O concreto atinge o estado endurecido em poucas horas, mas mudanças muito importantes continuam a ocorrer por muito tempo após isso. No estado endurecido, os efeitos e características que merecem mais atenção são:

- Resistências (compressão e flexão);
- Módulo de elasticidade;
- Retração;
- Dilatação térmica.

### **2.7.1 Resistência à compressão e flexão**

Possivelmente a propriedade mais estudada do concreto, a resistência à compressão está intimamente relacionada com várias outras de suas propriedades. É importante lembrar que a resistência não se resume somente à compressão, podendo se estender à flexão, tração e ao esforço cortante, por exemplo. Todavia, aqui só serão abordadas as resistências à compressão e flexão.

Resistência à compressão mede a força necessária para gerar o esmagamento do concreto. A maioria dos concretos utilizados para pisos industriais adota uma resistência aos 28 dias em torno de 20MPa a 40MPa. Valores acima de 40Mpa são raramente utilizados em lajes mais espessas devido ao custo elevados e os efeitos de retração.

A grande vantagem da resistência a compressão é a facilidade com que ela pode ser ensaiada. O ensaio consiste em medir a tensão necessária para romper um corpo de prova cilíndrico de altura de 100mm e diâmetro de 50mm. Devido a essa facilidade de realização do ensaio, foram desenvolvidas medidas que relacionam as demais propriedades do concreto com sua resistência a compressão, a fim de poupar tempo e gastos. Vale salientar que são

aproximações, então se uma propriedade for considerada de importância significativa para a obra, o ideal é realizar o ensaio específico para essa propriedade.

Já a resistência a flexão, embora menos popular, é mais significativa do que a anterior para o estudo de lajes. Porém como já citado, é comum usar relações entre a resistência a compressão e a flexão devido ao fato de que para a análise da resistência a flexão temos um ensaio mais elaborado.

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

Onde  $f_{ctm}$  é a resistência média a flexão e o  $f_{ck}$  é a resistência a compressão característica da amostra, com os valores em MPa.

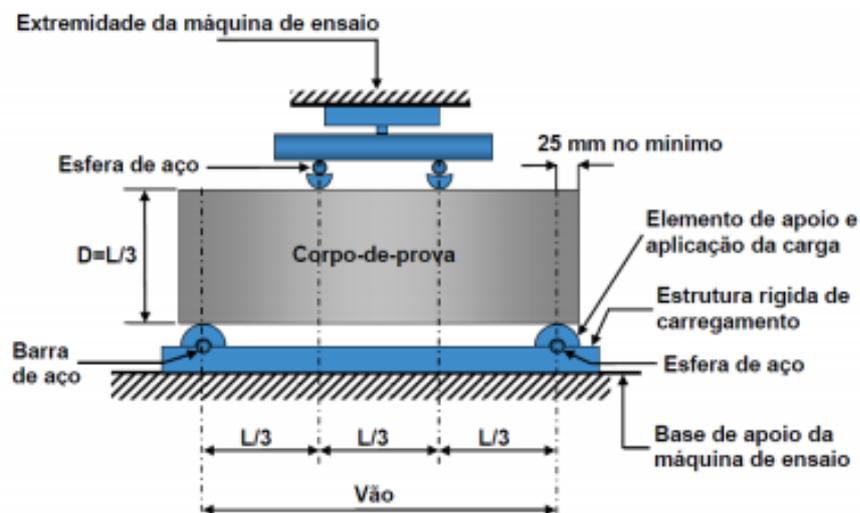


Figura 9 - Ensaio de tração na flexão

Pela figura 9 pode-se facilmente observar que o ensaio é muito mais complexo, justificando o uso de relações entre o  $f_{ck}$  e o  $f_{ctm}$ . Em tipos de obras onde os esforços de flexão se demonstram expressivos, é altamente recomendado a realização dos ensaios adequadamente, pois a longo prazo os custos dessa diferença são pouco significativos. Na construção de rodovias e pistas de aeroporto (onde a flexão é importante) este tipo de ensaio é bastante usual. Infelizmente, para execução de pisos industriais a adoção desse método ainda não é muito comum.

A resistência do concreto vai aumentando ao longo do tempo, mesmo após décadas. Evidentemente, grande parcela da resistência final é atingida durante as primeiras semanas. Deste modo, tradicionalmente dimensiona-se o concreto para sua resistência aos 28 dias. É usual medir a resistência do concreto aos 3 e/ou 7 dias, tanto para fins de desforma quanto para se estimar se a resistência desejada será atingida.

Diferentes tipos de cimento podem ocasionar uma taxa de ganho de resistência maior do que outros. Por exemplo, no Brasil o CPI é o cimento tradicional, enquanto o CPV-ARI é o cimento de alta resistência inicial, de modo que ele atinge em menos tempo o valor desejado de resistência. Pode-se também fazer uso de aditivos aceleradores desse ganho de resistência.

É importante salientar que resistência excessiva também pode trazer prejuízos para a obra. Obviamente ele precisa resistir aos esforços aos quais ele será submetido, porém uma resistência muito elevada, além de gerar mais custo, também acarreta numa retração maior, maior empenamento, perda de capacidade de transferência de carga nas juntas e aumento das chances de ocorrência de fissuras.

### 2.7.2 Módulo de elasticidade

É a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Em concreto utilizados para construção de lajes industriais, os valores usuais encontram-se entre 25GPa e 33GPa.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Onde “ $E$ ” é o módulo de elasticidade, “ $\sigma$ ” é a tensão aplicada em pascal e “ $\varepsilon$ ” é a deformação elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional).

Como dito anteriormente, a resistência a compressão se relaciona com a maioria das propriedades do concreto, e com o módulo de elasticidade não é diferente. Temos a seguinte relação que é comumente adotada:

$$E_{ci} = 5,60 f_{ck}^{0,5}$$

Onde  $E_{ci}$  é o módulo de elasticidade (em GPa) e o  $f_{ck}$  é a resistência à compressão característica (em MPa).

### 2.7.3 Retração

A vida dos pisos de concreto se inicia saturada de água. Se a cura for bem realizada, o piso continua saturado até o fim da mesma. A partir daí ele começa a secar, e, a medida que perde água, ocorre o processo de retração, que é basicamente a perda de volume em decorrência da variação da quantidade de água.

Pisos diretamente apoiados sobre o solo sofrem gravemente dos efeitos gerados pela retração, podendo causar fissuras e empenamento da laje. As fissuras surgem pelo fato do atrito restringir o movimento da laje enquanto ela retrai. Essa restrição gera tensões, que se

excederem a capacidade resistiva do concreto, a fissura ocorre. Já o empenamento ocorre (pelo menos em parte) devido à diferença com que diferentes partes do piso retraem. A parte superior da laje retrai mais que a parte inferior, devido ao contato direto com a atmosfera, gerando o efeito.

Tendo ciência disto, se assume que os projetistas prestam muita atenção quanto a retração – o que infelizmente nem sempre é verdade. São poucos os casos onde são limitados os valores retração e exigem-se testes para medição. Apesar de os ensaios serem simples e de fácil execução, consomem relativamente muito tempo: 28 dias para a amostra passar pela cura úmida, e mais 28 dias de ensaio efetivo, onde a amostra fica exposta ao ar sofrendo a retração. O resultado do teste é simplesmente a redução de tamanho, dividido pelo tamanho original, de modo que a retração é medida numa porcentagem. Os valores especificados para a retração geralmente estão numa faixa entre 0,030% e 0,040%. Idealmente valores menores são desejados, porém são de difícil execução.

A retração não pode ser completamente eliminada, porém existem fatores que podem afetar seus valores. O uso de agregados maiores, diminuição de água no traço (atenção para a trabalhabilidade) e diminuição da quantidade de cimento (atenção para a resistência) são dicas que podem ajudar quando os valores de retração estimados são muito elevados.

#### **2.7.4 Dilatação térmica**

Se define pelo coeficiente que mede o quanto um material vai variar de tamanho dada uma determinada diferença de temperatura.

Para o estudo de pisos industriais, o problema ocorre quando o concreto diminui de volume, não em sua expansão. Esse processo simula quase que igualmente o que ocorre na retração. Inclusive, em alguns casos, a movimentação ocorrida devido a variação térmica pode ser maior do que a gerada pela retração, apesar de raro em regiões tropicais como o Brasil. Ainda assim, as consequências se agravam quando os dois processos ocorrem simultaneamente. As técnicas que auxiliam na redução da retração também valem para a redução da variação de volume ocorrida pela dilatação térmica.

A principal diferença prática entre os dois processos é que a retração ocorre até que se atinja um limite, até ser considerada inexistente. Já a dilatação térmica ocorre sempre, com a condição que haja variação de temperatura.

## 2.8 Componentes do concreto

### 2.8.1 Cimento

O cimento é basicamente o material que tem como função garantir que haja a união adequada dos componentes do concreto.

Na realidade, quando nós citamos simplesmente cimento, estamos reduzindo o termo correto que é cimento hidráulico. Ou seja, aquele que tem capacidade de ganhar resistência a partir da presença de água. Existem inúmeras variações de cimentos que reproduzem diferentes características, de modo que em cada situação deve ser estudado qual usar, visando garantir vantagens econômicas e operacionais. Aqui no Brasil temos, basicamente, as seguintes distinções:

CP I – Cimento Portland comum

CP I-S – Cimento Portland comum com adição

CP II-E – Cimento Portland composto com escória

CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana

CP II-F – Cimento Portland composto com fíler

CP III – Cimento Portland de alto-forno

CP IV – Cimento Portland Pozolânico

CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial

RS – Cimento Portland Resistente a Sulfatos

BC – Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

CPB – Cimento Portland Branco

Como pode ser observado, existem inúmeras variações que atendem a necessidades muito específicas de construção. O cimento Portland comum costuma atender às necessidades construtivas de um piso industrial, de modo que para esse tipo de obra, ele é o mais comum. Dadas condições mais específicas construtivas, deve-se buscar outro tipo de cimento que possa melhor atender essas necessidades.

É comum também a utilização de pozolanas, um pó parecido com o cimento, que é adicionado na mistura do concreto. Vale enfatizar que as pozolanas possuem quase nenhuma ou até mesmo nenhuma propriedade de cimentação, se aplicadas sozinhas. Todavia, com a adição de água e cimento, essa propriedade se manifesta.

Originalmente, as pozolanas eram cinzas vulcânicas. Porém hoje em dia se usam três principais variações que são amplamente aplicadas na execução de pisos industriais. São elas:

- Escória de alto forno;
- Cinzas volantes;
- Microsílicas.

A principal razão para o uso de pozolanas do tipo escória de alto forno e cinzas volantes se resume a gerar uma economia de capital, pois possuem custo menor que o do cimento. Já as microsílicas são mais caras que o cimento, porém se o concreto for bem curado, sua superfície se torna extraordinariamente densa e impermeável.

Adicionar pozolana a mistura de concreto confere algumas mudanças de características que podem ser benéficas ou não. Ocorre uma diminuição da exsudação (que na maioria dos casos é desejada), exige-se um menor calor de hidratação e apresenta um menor ganho de resistência nos dias iniciais.

Dentre essas, a que merece mais atenção é o ganho mais lento de resistência nos dias iniciais. Aos 7 dias, a resistência adquirida é bem menor do que no concreto sem adição, e essa diferença vai diminuindo até os 28 dias, onde teoricamente eles devem possuir a mesma resistência. Essa menor resistência inicial não afeta o projetista, afinal ele dimensiona a laje para uma capacidade a longo prazo, porém limita a capacidade de carregamento da laje durante suas primeiras semanas. Isso pode ser um problema em alguns casos, onde o cronograma é apertado.

### **2.8.2 Agregados**

Agregados são os componentes inertes presentes na mistura do concreto. Em outras palavras, eles não participam das reações de hidratação que conferem aumento de resistência ao concreto. Isso não quer dizer de jeito nenhum que eles possuem baixa importância. A presença dos agregados afeta diretamente o comportamento do concreto quanto a trabalhabilidade, ao assentamento e a retração. Também afetam diretamente a capacidade de transferência de carga nas juntas.

Convencionalmente se dividiu os agregados em dois conjuntos: finos e graúdos. Os graúdos são aqueles que passam na peneira com abertura de 2" (50,8mm) e ficam retidos na peneira número 10 (2,00mm). Já os finos passam pela peneira número 10 e ficam retidos na peneira número 200 (0,075mm).

### **2.8.2.1 Agregados Graúdos**

Se houvesse a tentativa de produzir concreto sem a presença dos agregados graúdos, teríamos uma mistura que chamada de argamassa, que se apresenta sendo um material muito caro se comparado com o concreto tradicional, e que possui uma retração altíssima, de modo que torna o uso inviável para pisos industriais.

O agregado graúdo pode ser formado por cascalho natural ou ser criado a partir de rochas moídas por ação humana. As duas atendem as necessidades, porém existem pequenas diferenças. O cascalho natural tende a possuir uma geometria mais regular e arredondada, de modo que seu uso é mais adequado quando existe a necessidade de bombeamento do concreto. Já no segundo caso, as partículas são mais rústicas e angulares, conferindo uma maior resistência ao concreto e um melhor comportamento diante de fissuras.

Apresenta papel fundamental no comportamento do piso em relação a retração, o que é de bastante interesse na área de construção de lajes industriais. Ajuda também na transferência de carga nas juntas, outro fator interessante para os pisos. Devido ao fato do agregado graúdo ser geralmente o componente mais volumoso na mistura de concreto, sua presença tem grande efeito em relação as características do concreto quando finalizado.

A graduação também deve ser bem distribuída, de modo que existam vários tamanhos de agregados graúdos na mistura. Isso deve ao fato de que se só existisse um tamanho de agregado graúdo no concreto, os espaços entre eles seriam preenchidos pelos agregados finos e por cimento, que são mais caros.

### **2.8.2.1 Agregados Finos**

Representam a outra parcela dos agregados, que apresentam como principal função preencher os vazios gerados entre as outras partículas do concreto. Também são utilizados para a criação de argamassa. Um concreto pode ser realizado sem a presença de agregados finos, mas o resultado da mistura é raramente utilizado em pisos industriais por motivos econômicos.

Os agregados finos podem ser basicamente areia natural ou produzidos pelo homem. O uso de areia natural é quase sempre mais vantajoso, pois os feitos por ação humana geralmente possuem muita poeira embutida e também uma geometria que torna o acabamento do concreto mais complicado. Inclusive, alguns dos projetistas de lajes industriais indicam

como agregado fino somente areia natural. Todavia, a decisão final sobre qual tipo de agregado fino deve ser utilizado depende da disponibilidade financeira (areia natural custa mais caro) e operacional, pois existem regiões onde a chegada de areia natural pode ser inviável.

### **2.8.3 Água**

A água é outro dos ingredientes essenciais para a criação do concreto que usa como base o cimento hidráulico. Suas propriedades são pouco discutidas, pois elas variam pouco para fins de produção de concreto. Águas potáveis em geral fornecem as propriedades necessárias para uso no traço do concreto. As decisões mais importantes referentes à água se centram na quantidade que deve ser aplicada na mistura.

O concreto necessita de água para realizar o processo de hidratação do cimento, conferindo-lhe resistência. Todas misturas de concreto apresentam mais água do que o mínimo necessário para a hidratação do cimento, pois a água extra serve como lubrificante da mistura, afetando diretamente a trabalhabilidade do concreto. Como já dito, o excesso de água ajuda na trabalhabilidade mas também pode reduzir a resistência e aumentar a perda de volume ocorrida devido a retração.

### **2.8.4 Aditivos**

Depois de citados o cimento, os agregados e água, que são os componentes essenciais para o concreto, temos os aditivos. Aditivos são quaisquer materiais (salvo as fibras) que são adicionados a mistura do concreto para conferir ao produto final alguma propriedade específica desejada.

São classificados pelos efeitos que geram, não por sua composição química. É possíveis dois aditivos de composição química totalmente diferente gerarem efeitos iguais. Os aditivos mais comumente usados em pisos industriais são:

- Incorporadores de ar;
- Aceleradores;
- Retardadores;
- Plastificantes e superplastificantes;
- Redutores de retração.

Os incorporadores de ar apresentam como principal função aumentar a resistência contra o congelamento, o que não é um problema aqui no Brasil. Além disso, apresentam uma pequena capacidade de melhoria na trabalhabilidade e na redução da exsudação, com o custo de uma pequena perda na resistência.

Os aceleradores fazem com que o concreto tenha uma pega mais rápida, gerando, conseqüentemente, um ganho mais rápido de resistência. Todavia, o uso de aceleradores pode reduzir um pouco da resistência a longo prazo. O acelerador mais comum é o cloreto de cálcio por ser barato e efetivo. Porém seu uso pode causar a corrosão da armadura, de modo que é contra indicado para lajes armadas. Existem outros aceleradores que não afetam a armadura, porém custam mais caro.

Como pode-se deduzir, os retardadores atrasam a pega do concreto, porém sem afetar o ganho de resistência após a pega. São poucos os casos onde o uso de retardadores é necessário.

Plastificantes e superplastificantes permitem a redução de água no traço do concreto, gerando menores fatores água/cimento, mantendo uma boa trabalhabilidade. A diferença entre os dois é basicamente a potência com que eles geram esses efeitos. Para pisos, o uso de superplastificantes ocorre quando se deseja criar concretos de alta trabalhabilidade, para que seu lançamento ocorra de maneira facilitada. O preço, no entanto, é que o piso pode perder seu nivelamento devido ao fato do concreto se movimentar muito antes de sua pega.

## **2.9 Execução**

Após realizar o estudo dos problemas mais usuais que ocorrem neste tipo de obra e se analisar a importância de cada material na composição do concreto, podemos finalmente discutir os próximos passos. A partir da especificação do concreto (definição do traço), deve-se atentar aos fenômenos e estudos pertinentes a obra em si, como o transporte, a concretagem, estudo de juntas, e diversos outros fatores, que serão abordados nesta sessão.

### **2.9.1 Especificação do concreto**

Quando se solicita um concreto para aplicação numa construção, deve-se saber quais características são desejadas, para então definir as quantidades utilizadas de cada um dos componentes da mistura. Para isso, surge a necessidade da especificação do traço, que é a relação em volume ou massa entre os componentes do concreto.

Muitas vezes não se solicita um traço específico, mas sim as propriedades que se deseja que o concreto possua, e cabe a quem realiza a produção do concreto saber como reproduzir essas características. As propriedades mais usualmente requisitadas são resistência a compressão e flexão, retração, abatimento, fator água/cimento, graduação dos agregados e outras variadas.

### 2.9.2 Transporte

Depois de o concreto ser devidamente misturado, ele deve ser transportado, que é o processo de movimentação do concreto do lugar onde ele é produzido até o ponto onde será lançado.

Em teoria, o concreto deveria ser transportado em pequenas quantidades, pois o manuseio exacerbado e em grandes quantidades pode gerar o fenômeno conhecido como segregação, que é basicamente o concreto se tornar mais heterogêneo devido a separação dos componentes. De qualquer modo o concreto precisa ser transportado, mesmo quando ele é produzido em regiões próximas dentro da própria obra. Para isso, existem diversos meios de transporte que podem ser explorados.

O mais tradicional é o uso do caminhão betoneira, que são veículos que possuem um recipiente rotatório, tradicionalmente com capacidade de abrigar  $5\text{m}^3$  a  $10\text{m}^3$  de concreto, chamado de balão. Dentro do balão existem lâminas internas espiraladas, vulgarmente chamadas de facas, que tem como função garantir a mistura adequada do concreto. Quando o balão gira num sentido, ele força o concreto para o fundo, garantindo sua mistura. Se gira no outro sentido, ele força o concreto para a superfície, usado para a sua descarga. O balão nunca deve parar de girar por mais de alguns segundos enquanto tiver concreto em seu interior. A velocidade de rotação define se o concreto está sendo efetivamente misturado, ou se só se quer manter o estado atual de mistura, para evitar a segregação.



Figura 10 - Caminhão betoneira

Deve-se ter atenção as cargas elevadas que esses caminhões podem gerar, principalmente quando cheios de concreto, podendo prejudicar o subleito ou a sub-base.

As condições ideais de operação são quando os caminhões chegam imediatamente após o anterior ser totalmente descarregado, afinal não é interessante os caminhões ficarem em fila, pois isso significa que os caminhões estão chegando mais rapidamente do que o lançamento está sendo realizado. Menos interessante ainda é acabarem os caminhões e ter de ser esperar chegar uma outra remessa, pois existe a necessidade de se manter o fluxo de concretagem constante.

### 2.9.3 Concretagem

A concretagem do piso pode ser executada de duas maneiras distintas: em faixas ou em xadrez (figura 11). O segundo procedimento é mais antigo e seu nome vem do esquema executivo, onde cada placa é feita isoladamente das vizinhas, que só são concretadas 24 horas após as outras.

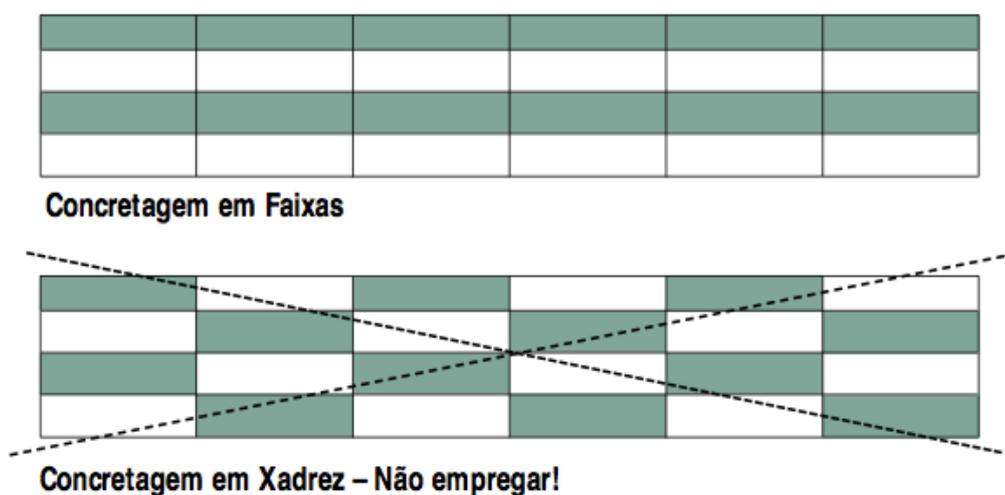


Figura 11 - Métodos de concretagem

Quando foi concebido, imaginava-se que parte da retração poderia ocorrer antes que houvesse a concretagem seguinte, fazendo com que as juntas apresentassem menos movimentação. Porém a premissa não é válida, visto que a retração do concreto só irá ocorrer de modo significativo quando cessarem os procedimentos de cura, que devem perdurar por cerca de 7 dias.

Hoje em dia, a concretagem em xadrez deve ser evitada a todo custo, podendo ser empregada apenas em trabalhos muito simples e sem importância, o que não é o caso dos pisos industriais.

Um grande fator limitante do sistema refere-se à execução, pois em determinado estágio os equipamentos terão o tráfego dificultado ou até mesmo impedido pelas variações de nível geradas pelas placas prontas. Junto a isso, têm-se que os equipamentos voltados para o acabamento têm que ficar mudando de local a todo instante, prejudicando a produtividade.

O melhor e mais seguro modo de execução dos pisos é o método em que se realiza a concretagem por faixas, onde um longo pano é concretado e posteriormente as placas são cortadas. Assim, é garantida a continuidade nas juntas longitudinais e que os mecanismos de transferência de carga nas juntas também ocorram por intertravamento dos agregados.

Além disso, a concretagem pode ser executada com muito mais facilidade, visto que haverá sempre uma faixa livre contínua, esteja ela pronta ou não, permitindo o trânsito adequado dos equipamentos. Adicionalmente, o acabamento pode ser feito de maneira contínua, sem necessidade de mudar os equipamentos de local.

#### 2.9.4 Vibração

Os vibradores de imersão podem ser empregados em pisos, associados com as régua. Todavia, devido às pequenas espessuras, a agulha acaba trabalhando praticamente na horizontal, reduzindo a sua vida útil. Outro aspecto negativo é que a refrigeração do equipamento é feita pelo próprio concreto, e, se o vibrador não trabalha imerso, poderá sofrer as consequências do aquecimento.

As régua vibratórias são bastante adequadas aos serviços. As mais adequadas são as produzidas com ligas leves, o que torna fácil o manuseio do equipamento. Temos também equipamentos que podem ser considerados automatizados, chamados de “Laser Screed” (figura 12), que espalham, vibram e dão um primeiro acabamento, similar a da régua vibratória que permitem grande produtividade, variando de 1.500 m<sup>2</sup> a 3.000 m<sup>2</sup> por dia de trabalho.



Figura 12 - Laser Screed

### 2.9.5 Cura

A cura do concreto é o processo de manter o concreto úmido para que o mesmo continue a realizar sua hidratação, reação entre o cimento e a água que fornece o ganho de resistência para o concreto. Apesar da pega ocorrer em poucas horas, o concreto continua a ganhar resistência se mantido úmido. Se o concreto secar muito cedo ele não irá atingir a resistência e a durabilidade desejada.

É um processo relativamente simples e de grande importância, porém muitas vezes negligenciado. Todo tipo de construção em concreto se beneficia de uma cura realizada de maneira adequada, porém os pisos industriais merecem atenção especial devido ao fato deste tipo de obra apresentar uma grande superfície exposta a secagem. Lajes mal curadas podem apresentar vários problemas, como por exemplo baixa resistência ao desgaste e a ataques químicos. Pode ser dividida em duas etapas no período de hidratação do cimento: a cura inicial e a cura complementar

A cura inicial é a que é executada imediatamente às operações de acabamento do concreto, podendo até mesmo iniciar-se de modo indireto após a vibração. É no seu período que há maior influência dos fenômenos de superfície e, em contraste com os demais tipos de estruturas, assume papel fundamental nos pisos.

Após o acabamento final, quando a superfície já não é tão frágil, isto é, já se encontra a meio caminho do fim de pega, pode-se empregar meios diretos, como a aplicação de membranas de cura, filmes plásticos e outros meios.

As membranas de cura são bastante empregadas, principalmente em áreas externas, devido fundamentalmente à facilidade de aplicação, aliada às baixas probabilidades de danos à superfície. São emulsões à base de polímeros que com a secagem da água, formam na superfície um filme impermeável.

Os filmes plásticos popularmente conhecidos por lona preta, são instrumentos eficientes de cura, mas que exigem maior cuidado com a superfície, visto que podem danificá-la na sua colocação. Além disso, por não ficarem firmemente aderidos ao concreto, formam uma câmara de vapor que, condensando, pode provocar manchas no concreto, principalmente se ele for colorido.

As membranas de cura são menos eficientes do que os filmes plásticos, mas em compensação podem ser aplicadas mais precocemente. Como intermediários, há os papeis

impermeáveis, hoje em dia pouco empregados em virtude do desenvolvimento dos polímeros que dão origem a filmes plásticos leves e baratos.

A cura complementar deve ser iniciada após o fim da pega do concreto, independentemente de terem ou não sido aplicadas membranas de cura. Nesta fase, a cura do concreto não se restringe apenas ao impedimento da evaporação, mas sim pela saturação com água da superfície concretada. Sua execução é feita simplesmente com a colocação de materiais absorventes na superfície, que já deve ter resistência suficiente para permitir o caminhar de pessoas.

Os materiais mais empregados são as sacarias de aniagem, camadas de areia ou qualquer outro material inerte, com boa capacidade de retenção de água e que não causem manchas de nenhuma espécie.

A cura complementar deve prolongar-se até que o concreto tenha atingido pelo menos 75% da sua resistência final, quando então a sua baixa permeabilidade garantirá por si própria a manutenção da umidade para a completa hidratação do cimento.

Da mesma forma que a cura inicial, a cura complementar está condicionada às condições atmosféricas, como o calor, ventos e principalmente a umidade relativa do ar. Vale salientar que em dias frios a evaporação da água pode ocorrer com mais facilidade por causa de ventos fortes e baixos valores de umidade relativa. Tendo isso em vista, conclui-se que os três parâmetros devem ser sempre analisados conjuntamente.



Figura 13 - Laje em processo de cura

### 2.9.6 Fissuras

Pavimentos de concreto usualmente fissuram. Isso ocorre quando a tensão submetida ao concreto excede a tensão que ele tem capacidade de resistir. Felizmente, a maioria das fissuras só agrega problemas estéticos para o piso, porém existem casos que podem comprometer a integridade da laje, seja de origem estrutural ou de modo que afete seu uso. É praticamente impossível garantir um piso sem a presença de fissuras, apesar de que é possível tentar controlar sua presença, mitigando os danos que elas podem gerar.

Para diminuir a presença das fissuras é necessária a adoção de medidas que podem custar caro, de modo que nem sempre vale a pena tendo em vista o custo-benefício.

Existem fissuras que se manifestam no concreto enquanto ainda fresco, e outra surgem quando o concreto está no estado endurecido. Para o concreto fresco, as fissuras mais usuais são relacionadas com o assentamento plástico e com a retração plástica. Já no caso do concreto endurecido, as fissuras mais comuns são as de retração por perda de água, dilatação térmica e as estruturais.

As fissuras devido ao assentamento plástico são extremamente características, pois elas se manifestam quase que diretamente acima dos elementos fixos dentro do concreto – ou seja, as barras de aço. Quanto mais próximas de superfície e maior o calibre das barras, mais evidente são as fissuras. Além disso, quanto maior a espessura da laje, mais fissuras desse tipo ocorrerão, pois o assentamento é maior. Nos piores casos, é possível enxergar uma malha de fissuras quase perfeita que coincide com o posicionamento das barras de aço.



Figura 14 - Efeitos do assentamento plástico

Já as fissuras que ocorrem devido a retração e a variação térmica tem comportamento bem parecido. Ambas ocorrem por que o concreto é restringido de se mover livremente,

enquanto esses efeitos forçam a movimentação do concreto. Quando essa tensão ultrapassa a tolerada pelo concreto, a fissura ocorre. Diferentemente da maioria das outras fissuras nos pisos industriais, essas se manifestam ao longo de toda a largura e profundidade da laje, geralmente se iniciando próximas as pontos de restrição (pilares, por exemplo). Em pisos diretamente apoiados sobre o solo, que são os estudos neste trabalho, é muito comum a aplicação de juntas, visando ter um maior controle sobre essas fissuras.

Quando ocorrem fissuras de origem estrutural, é um sinal de que provavelmente houve algum erro de projeto. Causas mais comuns são cargas maiores que as planejadas, erros construtivos, ou falha da sub-base em resistir aos esforços. Esse tipo de fissura também ocorre bastante devido ao carregamento excessivo durante a fase de construção, onde o concreto ainda não possui a resistência de projeto. Fissuras isoladas indicam que provavelmente ocorreu uma sobrecarga imprevista em determinado ponto, porém sem pouca expectativa de ocorrer novamente. Todavia, se essas fissuras forem recorrentes e aumentarem em tamanho e quantidade durante o tempo, isso significa a existência de algum erro mais grave, que pode chegar a tornar o uso do piso inviável.

### **2.9.7 Juntas**

Juntas são basicamente quebras planejadas na continuidade do piso de concreto. Quando não planejadas, recebem o nome de fissuras. Podem ser de extrema importância para integridade estética e estrutural da laje.

Suas funções, sob um ponto de vista simplificado, se resumem a facilitar o processo construtivo e para aliviar as tensões que se não atendidas causariam fissuras. Para facilitar a construção, pisos industriais de grande porte são divididos em lajes concretadas em diferentes dias. A linha de encontro entre essas lajes são conhecidas como juntas de construção. No âmbito de alívio de tensões, existem as juntas que visam separar as lajes de elementos construtivos distintos, as juntas que atendem a dilatação térmica e as que previnem as fissuras devido a retração e contração térmica.

As juntas representam os pontos mais frágeis no piso, e se não forem adequadamente projetadas e executadas, podem provocar deficiência estrutural seja pela não transferência adequada dos esforços ou por movimentações verticais excessivas, que podem levar desde a perda do material de preenchimento ou de selagem até a ruptura das bordas, conhecido como esborcinamento.

Entretanto, no tipo de obra que este trabalho visa estudar, a presença de juntas induzidas pode ser desconsiderada. Lajes industriais tem como única finalidade a estocagem de carga. Deste modo, a preocupação estética tem peso ínfimo se comparado com a capacidade de resistência do piso. Isso é ainda mais agravado quando se considera os gastos necessários para a execução e manutenção da juntas. Este tipo de laje é chamada de *Jointless*, que em tradução literal significa sem juntas. Portanto, em lajes do tipo *Jointless*, deve-se ter ciência de que fissuras irão com certeza ocorrer, porém serão agravantes meramente estéticos. Sacrifica-se o aspecto visual do piso em troca de facilidade executiva e diminuição de custos.

É importante salientar que independente da solução adotada quanto o uso ou não de juntas induzidas, deve-se sempre fazer o acompanhamento das fissuras, sejam elas esperadas ou não. Existem fissuras que podem ocorrer por outros motivos, e estas devem ser devidamente evitadas e analisadas quando encontradas.

### **2.9.8 Acabamento**

Após a realização da concretagem e a vibração, segue-se para a realização do acabamento superficial do piso. Primeiramente ocorre um processo chamado sarrafeamento (figura 15), que consiste na passagem de uma barra, que deve estar limpa e adequadamente reta, por cima do concreto, de modo a tentar nivelar a superfície da laje. Depois, segue-se para a passagem do alisador de concreto (figura 16), que gera um acabamento mais apresentável e uniforme, diminuindo as falhas derivadas do sarrafeamento, que é feito a mão.

Por fim, se desejado, pode-se passar uma vassoura por cima da superfície do concreto com a finalidade de gerar pequenas reentrâncias, aumentando a aderência. Deve-se atentar à consistência da superfície, pois se o concreto ainda não tiver pega o suficiente, o processo se torna inviável. É válido onde se planeja a passagem de veículos, como por exemplo no caso estudado por este trabalho, que é um pátio de containers que exige o trânsito de veículos com cargas de peso elevado.



Figura 15 - Sarrafeamento

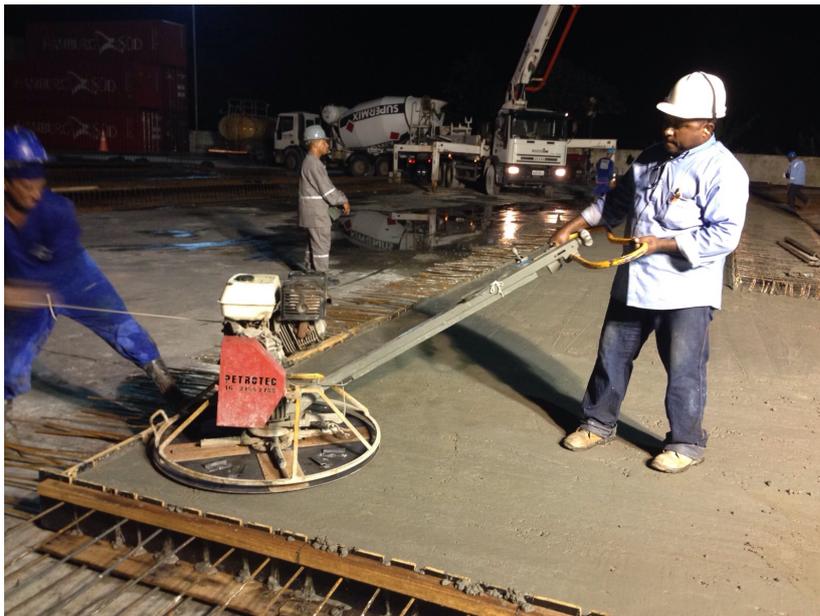


Figura 16 - Aplicação do alisador de concreto

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a simulação de pisos industriais o método mais indicado é o dos elementos finitos. O método consiste em dividir o piso em pequenos elementos, geralmente quadriláteros, formando uma malha que percorre sobre toda superfície da laje. Em seguida, cada um desses elementos é individualmente analisado usando os princípios básicos de engenharia estrutural.

Apesar de ainda exigir certo grau de conhecimento de engenharia para o método ser adequadamente aplicado, os computadores atuais tornam o processo relativamente simples.

Todavia, apesar de se apresentar como uma proposta elegante e eficiente de simulação de pisos industriais, existem alguns fatores que tornam o processo não tão preciso. Primeiramente, temos que o comportamento de pisos apoiados diretamente sobre o solo é extremamente complexo e ainda não completamente dominado. Deste modo, assumem-se condições que não necessariamente são compatíveis com a realidade. Além disso, outro motivo é que alguns parâmetros que envolvem o projeto de um piso industrial são muito difíceis de serem controlados e previstos com boa precisão. Para controlar esses problemas, no entanto, se faz o uso de coeficientes de segurança que fazem com que as condições gerais do piso de tornem mais exigentes do que na realidade são, fornecendo uma boa margem para estimativas.

Este trabalho irá abordar todo o processo de projeto e execução da laje de um pátio de containers que estava se apresentando em condições inviáveis de operação, devido principalmente ao nível de degradação do piso, que se encontrava extremamente desgastado, tornando a operação de transporte e armazenamento dos containers perigosa.

Duas possíveis soluções foram sugeridas. Uma delas sugeria um overlay em toda superfície do pátio, de modo que a disposição dos containers poderia ocorrer de qualquer forma. A outra solução sugeriu um overlay menor que o primeiro também em toda região do pátio, porém com vigas nas quais os apoios dos containers deveriam se apoiar, limitando seu posicionamento. Pesando todos os fatores, principalmente o aspecto financeiro, a solução adotada foi a segunda.

#### 3.1 Modelo Estrutural

Como já citado, o software utilizado para a simulação dos esforços aos quais o pátio seria submetido foi o STRAP, através do método dos elementos finitos, rodado como grelha. O  $f_{ck}$  adotado foi de 40MPa.

Sendo assim, o modelo deveria conceber os esforços gerados pelos containers, que foram considerados como podendo ser empilhados em torres de até 05 containers de altura, sendo dispostos extremamente próximos, de modo que poderiam se encontrados até 04 apoios de containers numa pequena área. Foi considerada a possibilidade de todos os containers estarem operando em plena capacidade (totalmente carregados, com 32tf cada), por mais que esta situação na prática seja extremamente improvável.

Além disso, foi necessário também simular o comportamento do veículo responsável pela movimentação dos containers no pátio. O adotado foi o TEREX, um guindaste consideravelmente pesado, que também foi simulado no modelo estrutural. O mesmo foi considerado operando carregando um container cheio, de modo que o seu peso seria ainda maior. As dimensões físicas do TEREX foram obtidas por meio de seu catálogo. Foi consultado com os envolvidos na mobilidade do TEREX, que uma distância mínima entre o veículo e as vigas de 30cm era adequada para a realização de suas manobras. Sendo assim, sabendo que a distância entre as extremidades externas do pneu é de 4,19m, somamos 30cm de cada lado, obtendo uma distância de 4,79m entre vigas.

Sabendo que um container tem 6,06m de comprimento e que a distância entre eles necessária para operação é de 8cm, conclui-se que a distância entre eixo das vigas deve ser de 6,14m. Subtraindo deste valor a distância interna entre as vigas, temos finalmente que a largura de cada viga deve ser de 1,35m em sua base.

Também foi necessária a simulação das capacidades de resistência da laje que estava presente antes do overlay atual, pois a mesma serviu como suporte para a nova camada.

O modelo foi rodado de duas maneiras distintas. No primeiro caso, o modelo 01, a viga como uma barra. No segundo, o modelo 02, a viga foi simulada por elementos finitos. Isto foi feito para verificar qual dos dois resultados era mais crítico, para ampliar ainda mais a margem de segurança.

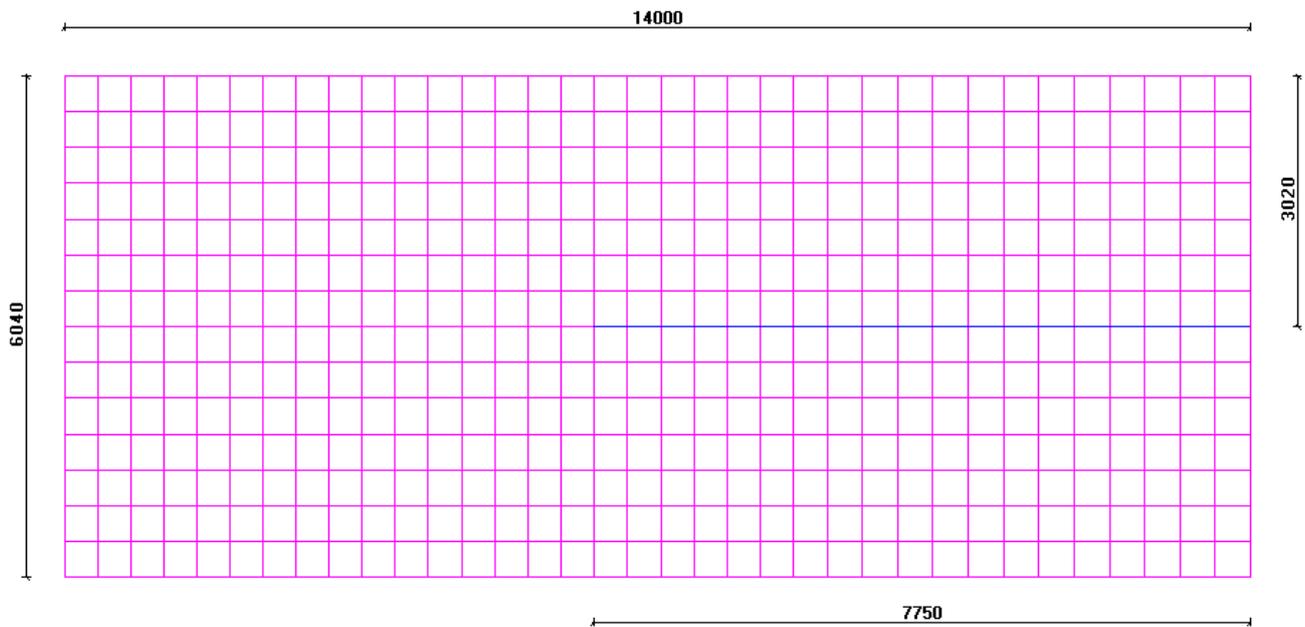


Figura 17 - Modelo 01 (linha azul representa a viga)

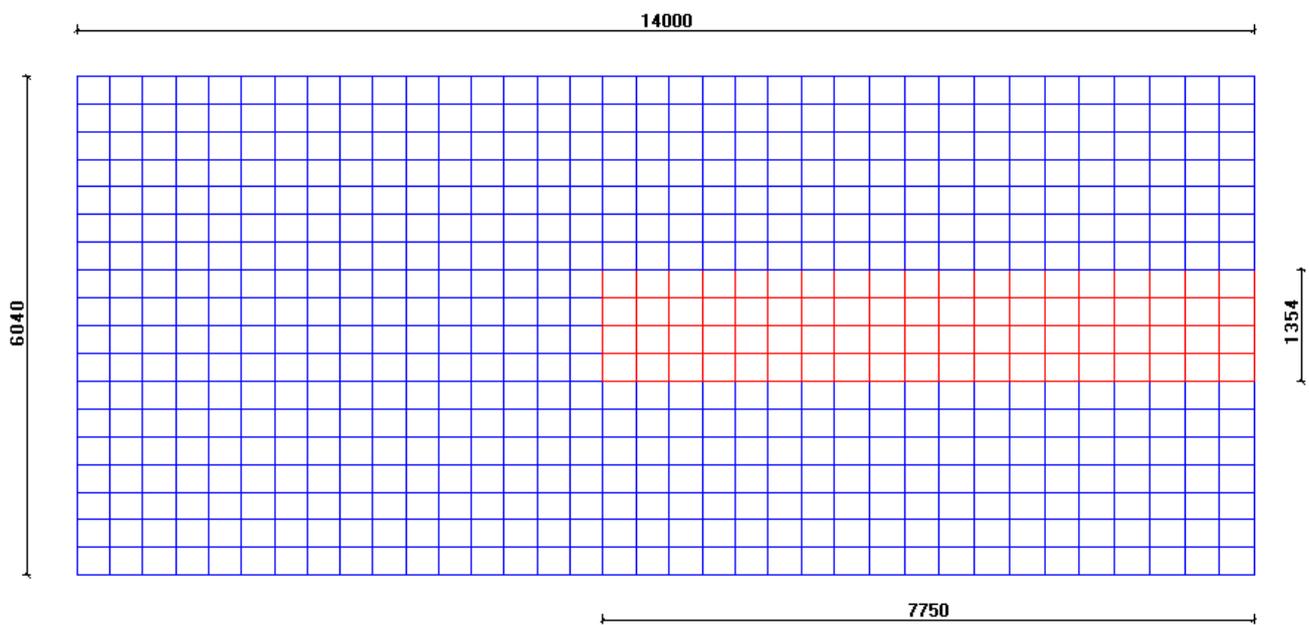


Figura 18 - Modelo 02 (elementos vermelhos representam a viga)

### 3.2 Elementos

O método dos elementos finitos permite com eficiência a simulação de lajes. Para isto, divide-se a laje em pequenos elementos, de preferência quadriláteros. Cada um destes elementos irá simular uma pequena área da laje, de modo que toda a malha de elementos

reproduzirá o comportamento da laje completa. Quanto menor forem os elementos, mais precisa será a simulação.

Sabendo que o modelo deveria abranger um trecho que englobasse uma das vigas de apoio dos containers e a região de tráfego do TEREX, foi concluído que um tamanho adequado para as dimensões os elementos deveriam variar entre 35cm e 40cm, de modo que eles seriam retangulares.

A espessura inicialmente adotada foi de 25cm para as regiões onde haveria somente tráfego do TEREX, e de 45cm para as vigas, onde seriam apoiados os containers. Todavia, como o piso seria construído acima de um já existente, porém de baixíssima qualidade, foi adotado que a altura de contribuição para resistência dos esforços que a laje anterior fornecia seria de 20% de sua altura total, baseando-se na tabela abaixo. Como a laje anteriormente existente possuía altura de 18cm, temos que a altura de contribuição foi de 3,6cm. Portanto, a espessura dos elementos ficou de 48,6cm, para a região onde se localiza a viga e 28,6cm para o restante da área. O material adotado foi concreto.

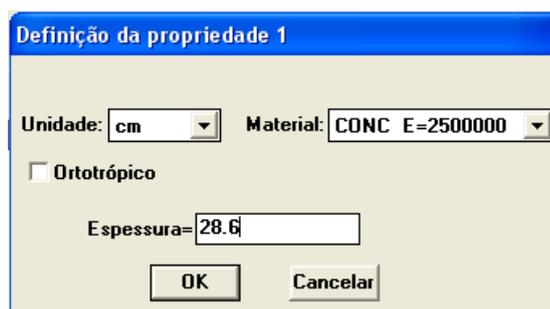


Figura 19 - Propriedades dos elementos da laje

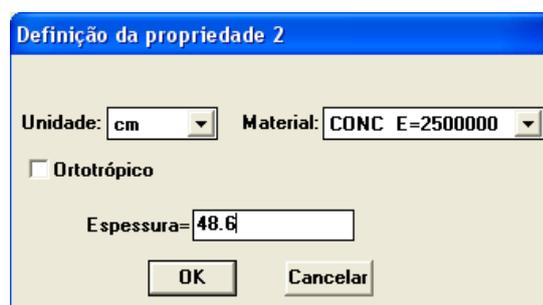


Figura 20 - Propriedades dos elementos da viga

### 3.3 Barras

A presença de barras só foi necessária no modelo 01, onde a viga responsável pelo apoio dos containers foi simulada através de uma barra. A seção transversal adotada foi retangular, possuindo 45cm de altura e 135cm de base, também de concreto. Deste modo, a

viga se apresentava sendo sacada 20cm para fora da laje, pois a espessura da mesma, como já citado, foi de 25cm.



Figura 21 - Propriedade da barra

### 3.4 Condições de contorno

O modelo foi elaborado para representar somente um trecho do pátio, contendo uma das vigas e a região de operação do TEREX. Para isso, foi necessária a aplicação de conceitos de simetria, garantindo que o modelo apresentasse fidelidade com a situação real.

Portanto, nas laterais extremas do modelo foram inseridos apoios que impedissem a rotação. Na horizontal em torno do eixo X (X1) e na vertical em torno do eixo Y (X2), com a translação liberada. Nas 04 quinas, a rotação foi limitada nas duas direções citadas.

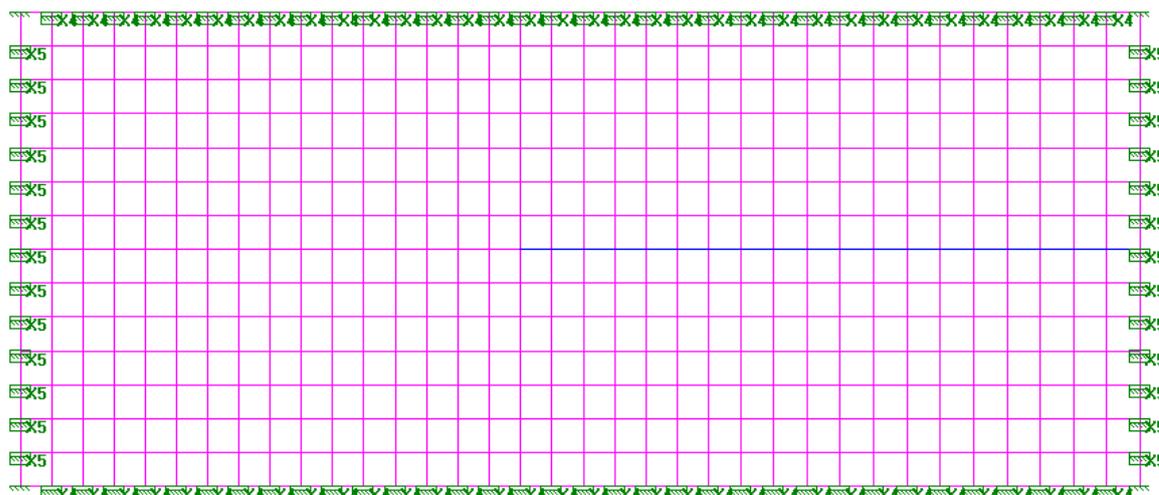


Figura 22 - Condições de contorno do modelo 01

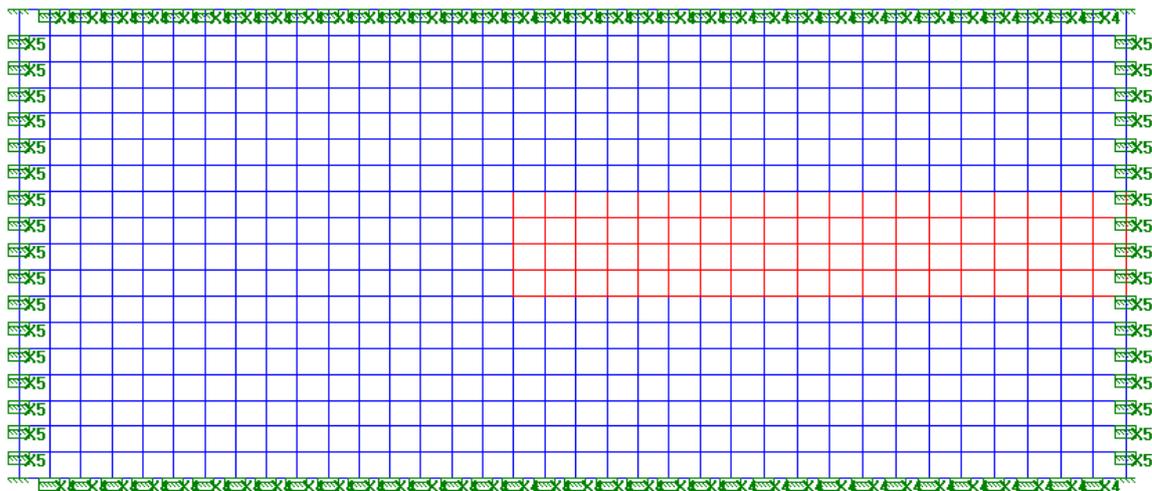


Figura 23 - Condições de contorno do modelo 02

### 3.5 Molas

Para a simulação do suporte da laje, como a mesma se encontra diretamente apoiada sobre o terreno, foi necessária a aplicação de molas de translação nos nós da malha de elementos finitos.

É necessário salientar que como a obra em questão é uma correção de uma laje anteriormente mal projetada e executada, foi tentado extrair o máximo possível de aspectos positivos para serem aproveitados para a solução do overlay. Deste modo, as vigas visavam ser construídas acima das sapatas usadas para a obra anterior, visando fornecer uma maior resistência nestas regiões de alta concentração de carga. Portanto, a presença das sapatas foi considerada, fornecendo uma melhoria da resistência na região.

Essas molas são definidas através do coeficiente de reação vertical, chamado aqui de  $k$ . Este coeficiente pode ser obtido através do número  $N$  (obtido via ensaio SPT) com auxílio por tabelas ou também pelo ensaio CBR, como já citado anteriormente. Além disso, o próprio consultor geotécnico da obra pode fornecer, se necessário. Mediante as características encontradas no terreno, o valor utilizado foi de  $k = 5000\text{tf/m}^3$ .

Após termos o valor de  $k$ , multiplicamos o mesmo pela área de cada elemento, para sabermos qual parcela da mola cada elemento irá receber. Se um nó se situar no meio da malha, ele atende a este valor integralmente. Caso esteja nas laterais, é metade desse valor, e por fim, se estiver numa quina é um quarto deste valor.

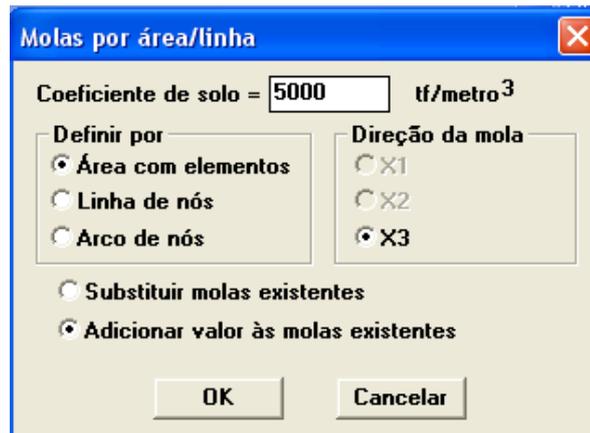


Figura 24 - Coeficiente  $k$  das molas

### 3.6 Carregamentos

Os carregamentos foram divididos em 02 tipos de carga distintos. O primeiro caso representa o guindaste TEREX e o segundo os containers.

#### 3.6.1 Carga do TEREX

Devido ao TEREX se movimentar, o tipo de aplicação escolhido foi o de carregamento global.

Só foi utilizada a área da mancha de 01 pneu, pois como já citado, o modelo gerado irá abusar das vantagens oferecidas pela simetria do problema. Portanto, foi verificada a distância entre os pneus no catálogo, e o modelo foi construído a partir dessas distâncias (3,08m entre pneus) afim de simular a movimentação do TEREX no pátio.

Para definir a área de contato do pneu com o solo, um agente foi em campo fazer a medição das dimensões, constatando que a área de contato é de aproximadamente 105,5cm x 40cm. Após obtermos este valor, verificamos a mancha gerada devido ao espraiamento da carga, sob um ângulo de 45 graus e utilizamos a área obtida a meia altura da laje. Portanto, somam-se as dimensões 28,6cm, obtendo aproximadamente 134,1cm x 68,6cm.

Já para a definição esforço gerado, simplesmente obtivemos o peso do TEREX sem nenhum tipo de equipamento carregado e somamos com o peso de um container carregado, obtendo 40tf. Após obter este valor, foi aplicado um coeficiente de segurança devido ao tipo de operação do veículo, como frenagem e execução de curvas, de valor igual a 1,4. Obtivemos, deste modo, 56tf por pneu.

Finalmente, dividindo o peso pela área de atuação, concluímos que a carga gerada é de  $60,87\text{tf/m}^2$ .

Na locação da carga, testamos duas possibilidades. Uma delas simularia o TEREX se posicionando para trabalhar com os containers na pilha e a outra simula a passagem do TEREX pela rua. Sabendo que a distância entre interna entre os eixos dos pneus do TEREX vale aproximadamente 1,73m, pudemos locar conforme a figura a seguir. Ambas hipóteses foram consideradas em ambos os modelos.

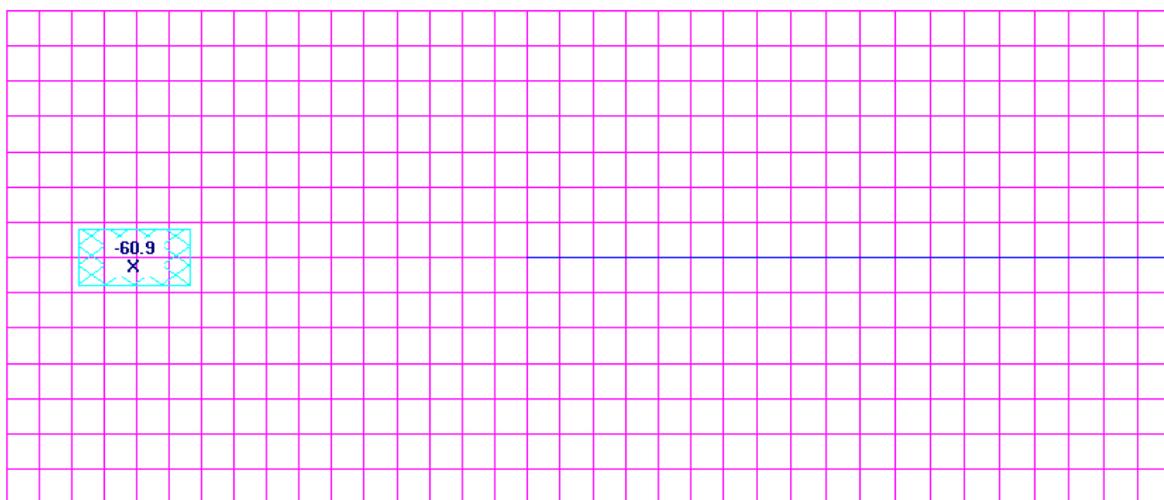


Figura 25 - Hipótese 01 de carregamento do TEREX

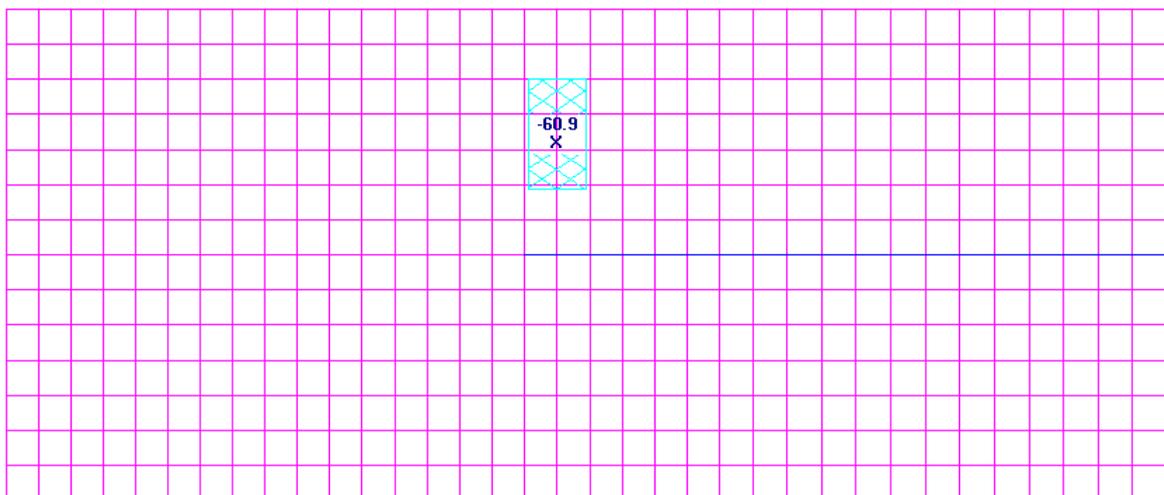


Figura 26 - Hipótese 02 de carregamento do TEREX

### 3.6.2 Carga dos containers

Como já dito, os containers foram considerados na situação crítica de termos uma pilha de até 05 unidades com cada um deles operando em plena carga, ou seja, 32tf. Logo,

cada pilha irá pesar 160tf. Sabendo que existem 04 apoios em cada containers, concluímos que na base de cada um dos apoios da pilha teremos uma carga de 40tf. Existem as regiões mais críticas em que até 04 apoios de containers distintos podem ser encontrados de maneira adjacente, totalizando uma carga de 160tf. Nas extremidades da pilha, somente 02 apoios se encontram, gerando portanto uma carga de 80tf.

Quanto a locação da área de atuação dos esforços, em teoria teríamos que o carregamento deveria ser centrado na viga, para diminuir os esforços de torção. Na prática sabemos que isso pode não ocorrer, portanto foi aplicado uma excentricidade de 10cm, em favor da segurança. No modelo 01, portanto, foi aplicado um momento concentrado correspondente a 8tfm e 16tfm em pontos da viga onde a carga dos containers se concentram. No modelo 02, simplesmente a área foi transladada, simulando essa assimetria de carregamento na viga.

Cada apoio foi adotado como tendo aproximadamente 20cm de lado, sendo quadrados. Igualmente ao realizado com o TEREX, foi verificado o espriamento da região os apoios adjacentes, obtendo as áreas utilizadas para a aplicação da carga nos modelos.

Para os pontos onde existe o encontro de 04 apoios (160tf), temos que a área de contato com a viga é de 40cm x 40cm. Logo, soma-se a altura da viga às dimensões, obtendo uma área de aproximadamente 90cm x 90cm. Deste modo, a carga gerada é de aproximadamente 197,53tf/m<sup>2</sup>.

Já para a extremidade da pilha de containers, onde só se encontram 02 apoios (80tf), temos que a área de contato é de 40cm x 20cm. Realizando o mesmo procedimento, temos que a área de mancha vale aproximadamente 90cm x 68,6cm, gerando uma carga de aproximadamente 130tf/m<sup>2</sup>.

O posicionamento das cargas está ilustrado abaixo, nos modelos 01 e 02 respectivamente.

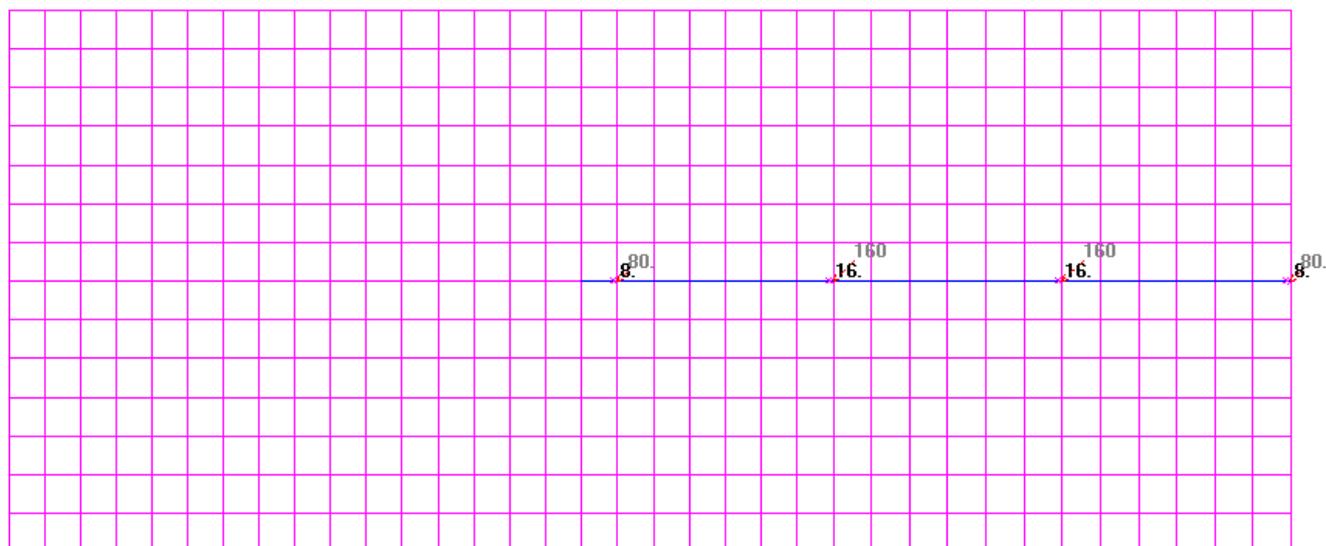


Figura 27 - Carregamento dos containers no modelo 01

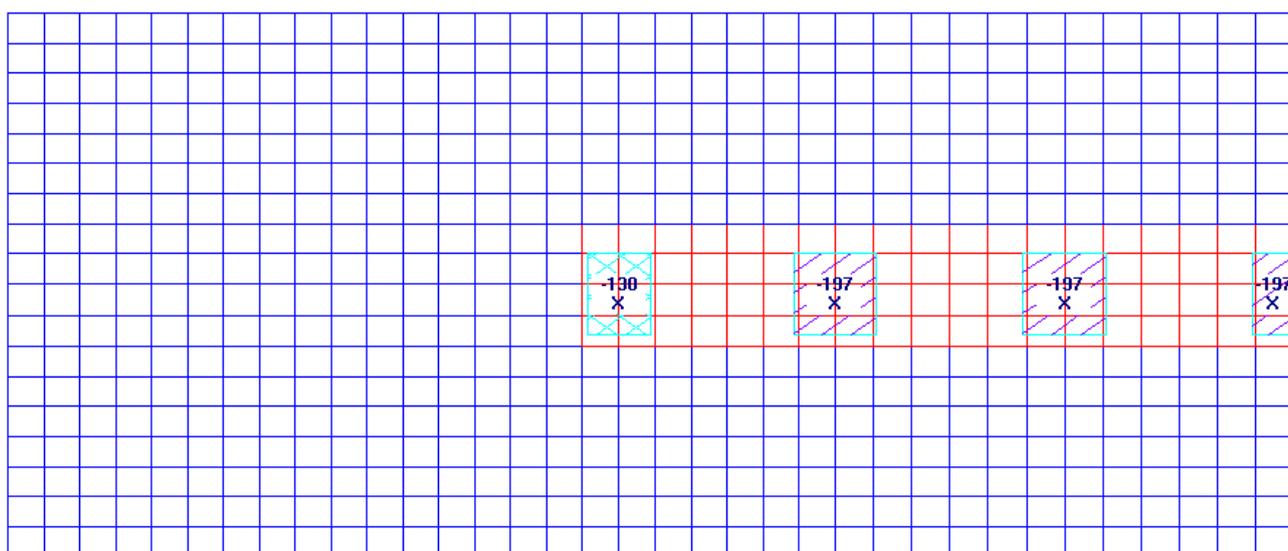


Figura 28 - Carregamento dos containers no modelo 02

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a construção do modelo com auxílio do método dos elementos finitos, podemos finalmente permitir que o STRAP faça os cálculos dos momentos gerados devido aos esforços aplicados pelos containers e pelo TEREX.

O momento que iremos adotar é o de Wood & Armer (W&A), tendo em vista que este é o mais indicado para lajes, pois ele considera internamente a consequências do momento torsor, apresentando assim valores mais exigentes para o piso. Deste modo, ao adotar os momentos de W&A estamos operando em favor da segurança.

Em lajes, diferentemente do que ocorre em vigas, os resultados apresentados não podem ser facilmente expressos meramente por gráficos, devido a existência de duas dimensões significativas, em contraste das vigas, onde a direção estudada é pertencente ao seu eixo. Portanto, uma solução para a apresentação dos resultados é a utilização de mapas de contorno. Para os familiarizados com curvas de nível, a idéia de leitura é basicamente a mesma. Determinadas regiões possuem um valor de momento que é representado por uma cor.

Os resultados apresentados são obtidos pela envoltória dos carregamentos do TEREX e dos containers, visando considerar os esforços mais críticos em todas as situações.

Para cada um dos modelos, foram calculados 04 mapas de contorno, equivalentes ao momento W&A na direção X na face inferior e superior, e em Y, também nas faces superior e inferior. Os resultados estão em tf.m/m.

### 4.1 Mapas de Contorno

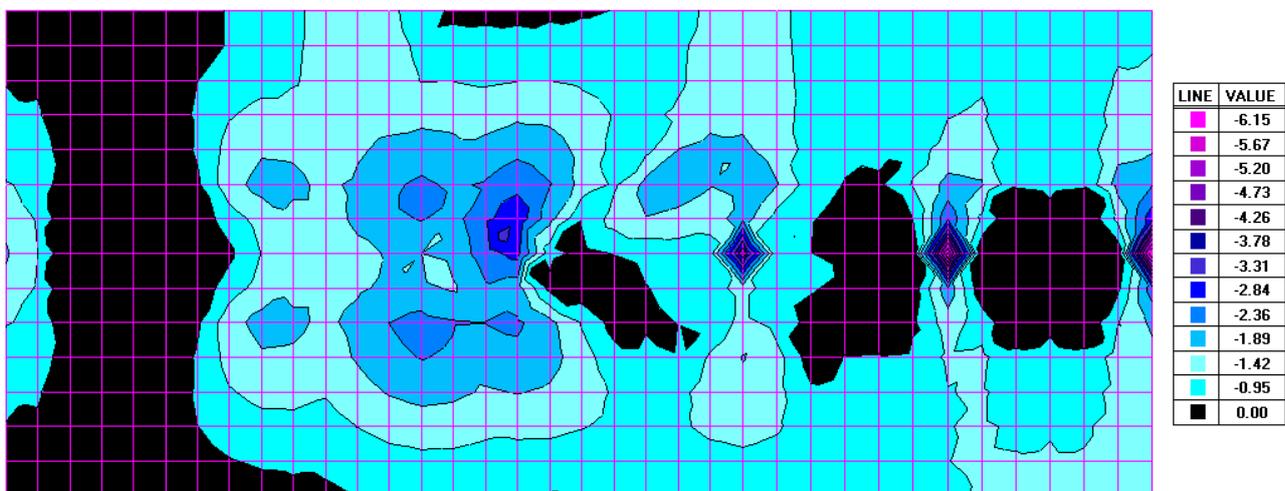


Figura 29 - Mx (W&A) na face superior do modelo 01

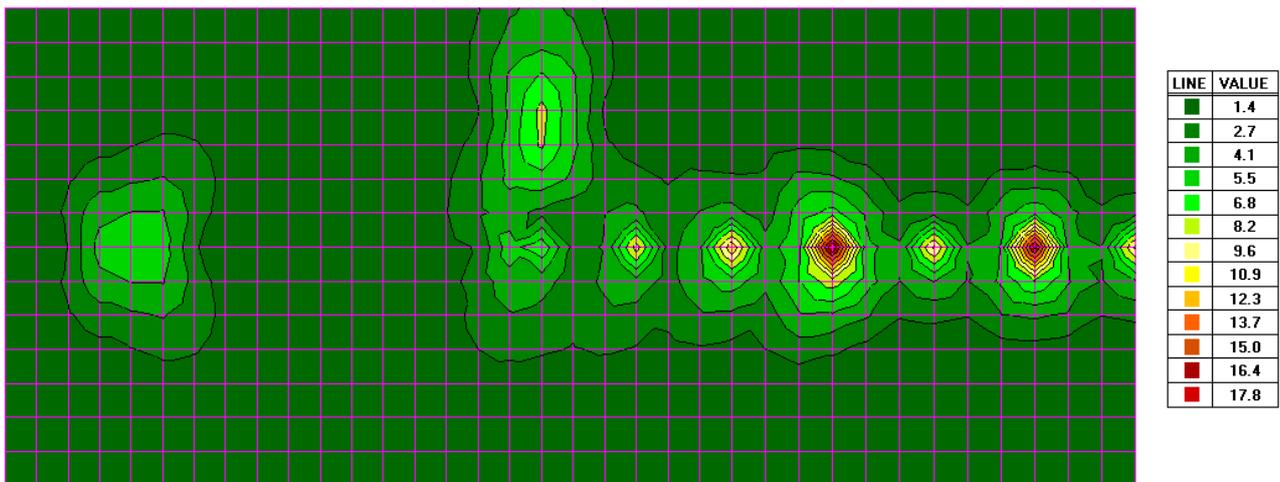


Figura 30 - Mx (W&amp;A) na face inferior do modelo 01

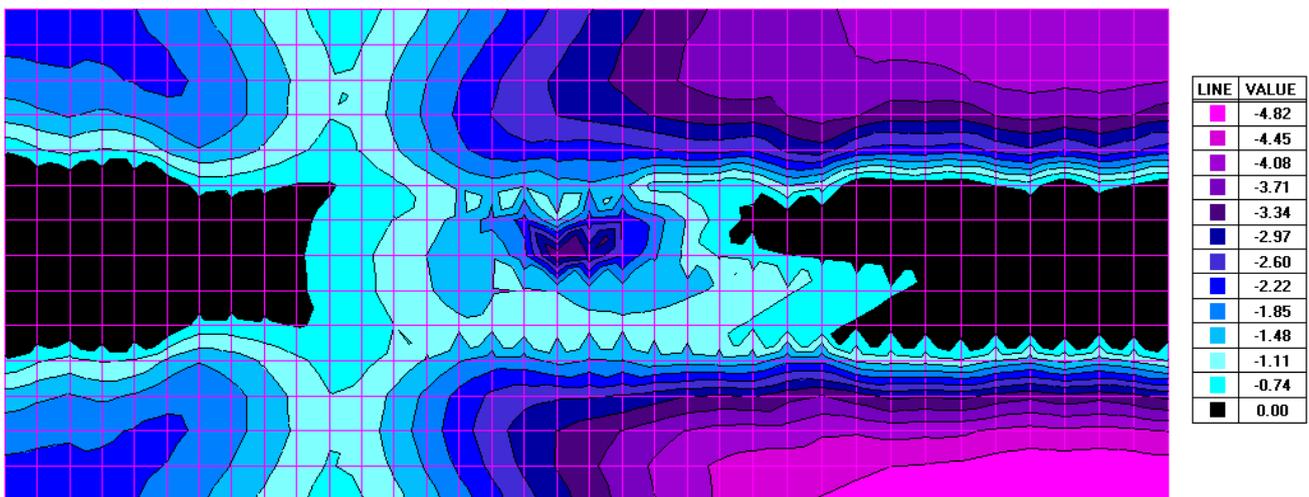


Figura 31 - My (W&amp;A) na face superior do modelo 01

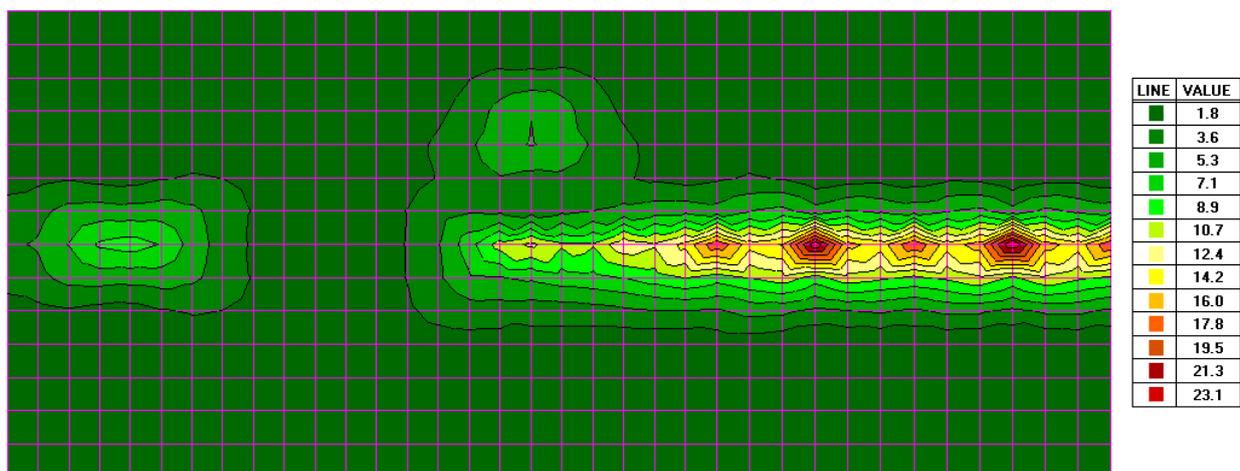


Figura 32 - My (W&amp;A) na face inferior do modelo 01

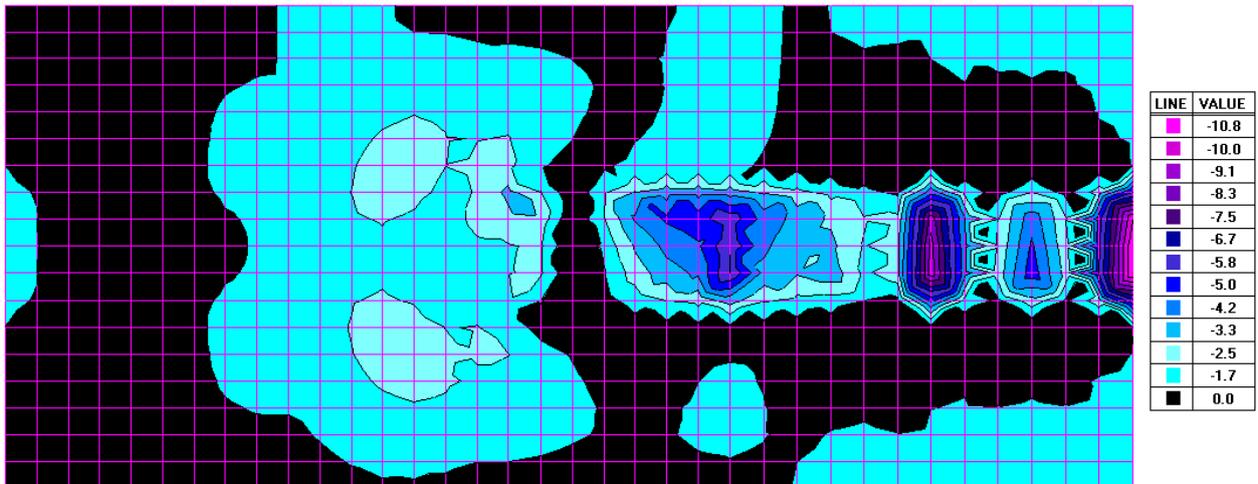


Figura 33 -  $M_x$  (W&A) na face superior do modelo 02

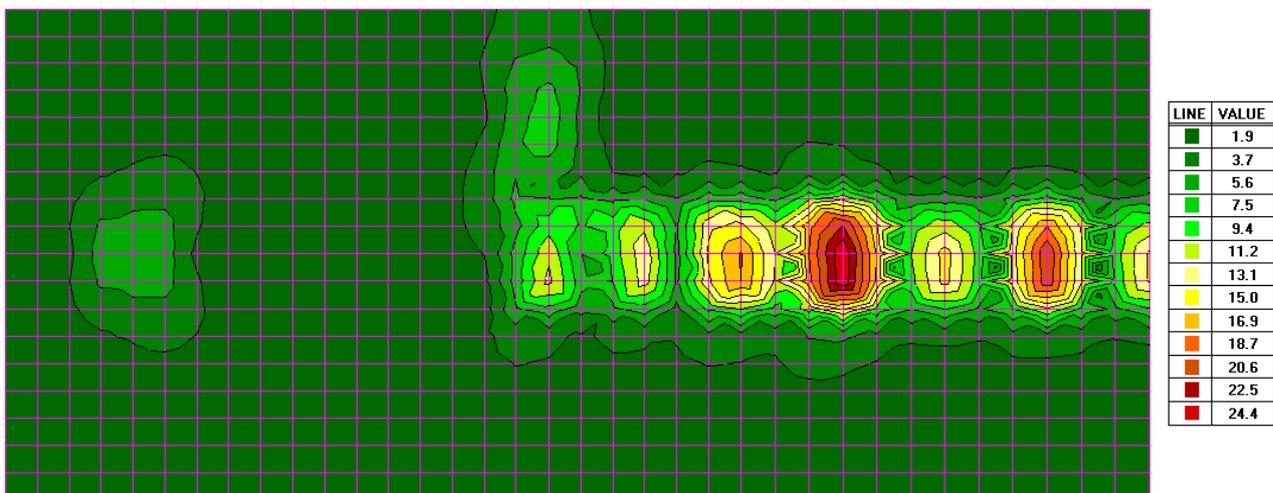


Figura 34 -  $M_x$  (W&A) na face inferior do modelo 02

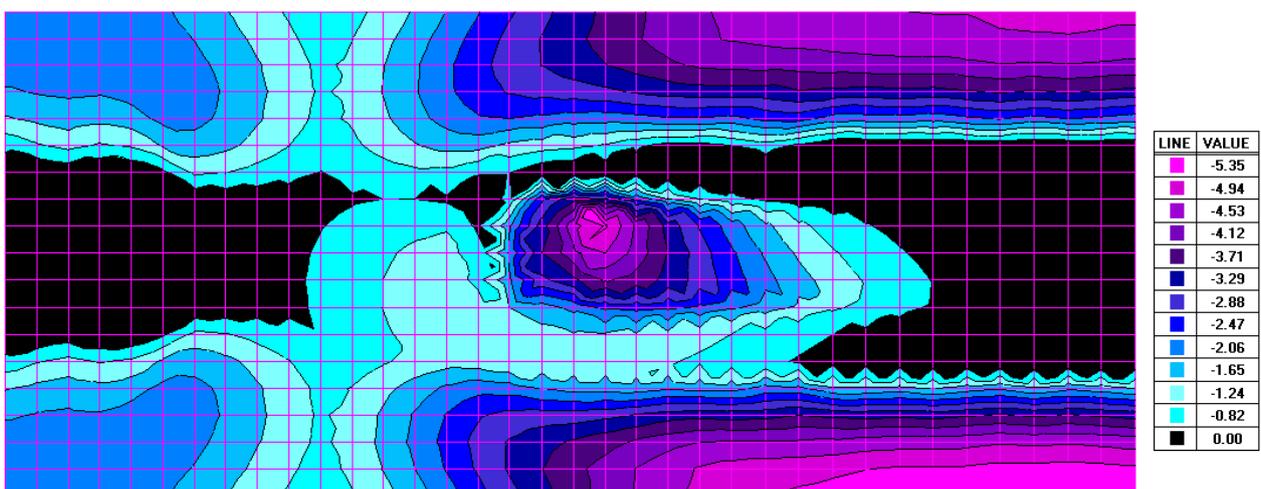


Figura 35 -  $M_y$  (W&A) na face superior do modelo 02

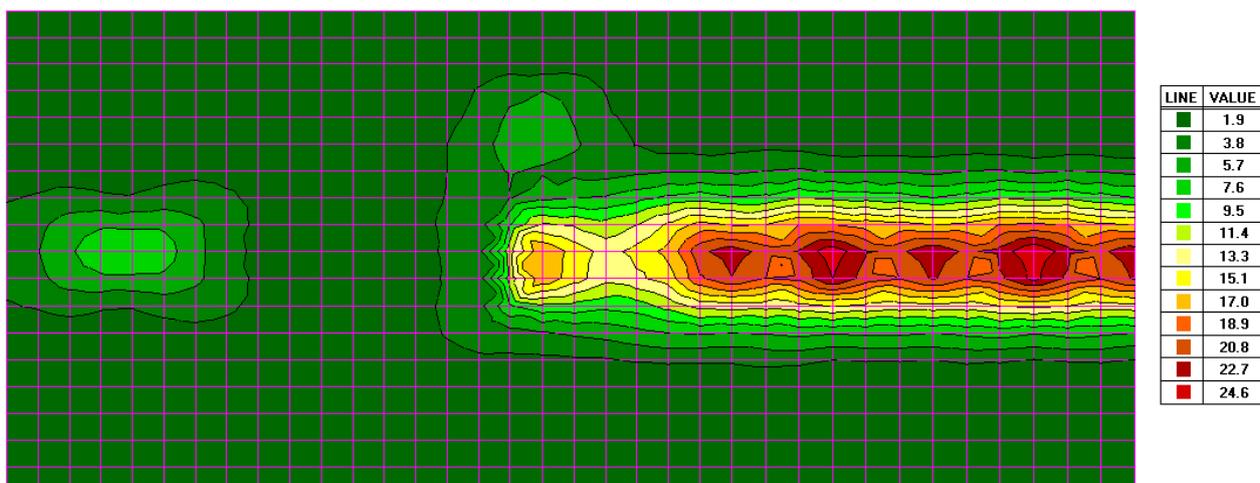


Figura 36 - My (W&A) na face inferior do modelo 02

Ao observar as imagens acima, é possível concluir que o modelo 02 apresenta valores menos conservadores. Logo, devido a questões de segurança, os valores apresentados por este modelo serão os adotados para o dimensionamento da armadura da laje. Deve-se atentar ao fato de que os resultados acima foram obtidos considerando a envoltória de todos os carregamentos. Para a obtenção dos valores com maior precisão para a laje (apresentados abaixo), o modelo foi rodado considerando-se somente os esforços do TEREX.

É evidente que não podemos dimensionar as armaduras em função dos valores máximos para toda a laje, afinal eles só ocorrem em pequenas regiões. Devido a isso, foi aplicado um artifício de utilizar 85% do momento máximo para o dimensionamento da armadura da laje. Na tabela abaixo, segue um resumo destes valores.

Tabela 1 - Resumo dos esforços na laje

<b>Esforço</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Valor adotado</b>
Mx (z+)	4,83	4,11
Mx (z-)	8,99	7,64
My (z+)	5,29	4,50
My (z-)	7,57	6,43

## 4.2 Armaduras

Após obtidos os valores dos momentos, a armadura da laje foi calculada pela teoria da flexão utilizando os parâmetros já apresentados em sessões anteriores. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Área de aço necessária por metro de laje

<b>Esforço</b>	<b>Posição</b>	<b>Momento</b>	<b>Área necessária por metro (cm<sup>2</sup>)</b>
M <sub>x</sub>	Superior	4,11	5,450
M <sub>x</sub>	Inferior	7,64	10,214
M <sub>y</sub>	Superior	4,50	5,950
M <sub>y</sub>	Inferior	6,43	8,743

Como pode ser observado, as medidas das áreas de aço necessárias por metro para as armaduras de mesma posição se encontram com valores relativamente próximos. Isso se mostrou como sendo uma enorme vantagem executiva, pois permitiu que as armaduras de mesma posição tivessem igual bitola e espaça espaçamento.

Após análise dos valores apresentados, foi concluído que a disposição mais favorável das armaduras da laje seria, conforme tabela abaixo:

Tabela 3 - Armadura da laje

<b>Direção</b>	<b>Posição</b>	<b>Armadura</b>
X	Superior	φ10.00 a cada 15.00cm
Y		
X	Inferior	φ12.50 a cada 12.50cm
Y		

Adicionalmente às armaduras apresentadas, também foi necessária a aplicação de caranguejos de φ8.00, visando somente facilitar a execução das armaduras, de modo que as mesmas se mantenham no lugar enquanto são devidamente aplicadas. Foi verificada a necessidade de 05 unidades por metro quadrado de laje, conforme figura 37.

Em relação à viga, os esforços utilizados foram aqueles apresentados nos mapas de contorno ilustrados acima. Discussões mais aprofundadas dos esforços e dos cálculos das armaduras não são o foco do trabalho, que visa o estudo de lajes, e não das vigas. Foi verificado através cálculos pertinentes que a armadura de reforço (longitudinal e os estribos) necessária, foi de:

Tabela 4 - Armadura da viga

<b>Tipo de armadura</b>	<b>Armadura</b>
Longitudinal superior	10φ12.50 (arm. mín)
Longitudinal inferior	10φ16.00
Estribos	(2x) φ8.00 a cada 15cm



Figura 37 - Disposição das armaduras da laje e das vigas, em obra

### 4.3 Discussão e conclusões

Como pôde ser observado ao longo deste trabalho, todo o processo envolvendo a construção de um piso industrial é bastante complexo. Ao contrário das lajes mais usuais, onde o nível de detalhes envolvidos é pequeno (se comparado com as industriais), esse tipo de laje merece atenção especial devido suas condições excepcionais de operação.

As preocupações se iniciam desde o projeto, onde todas as variáveis devem ser cautelosamente analisadas, visando diminuir os custos, sem comprometer as condições de uso e segurança da laje. Somente após este estudo pode-se iniciar o projeto.

Finalizado o projeto, deve seguir-se para a execução. A mesma deve ser realizada obedecendo todos os critérios exigidos pelo projetista responsável, e quaisquer imprevistos encontrados devem ser imediatamente comunicados para ele, visando encontrar a melhor solução que contorne o problema. Caso o projeto e a execução ocorram da maneira correta, a laje com certeza irá atender às condições solicitadas, de maneira eficiente, com uma vida útil adequada.

No estudo de caso apresentado deste trabalho, é possível observar as consequências da construção de uma laje industrial sem os cuidados adequados. Em pouquíssimo tempo de uso (aproximadamente 1 ano), o piso apresentou graves problemas. O concreto se encontrava em

estado pulverulento e extremamente quebradiço, fazendo com que existissem crateras enormes ao longo dos corredores do pátio, atrasando ou até mesmo inviabilizando totalmente o trânsito de veículos pelo pátio, devido a existência de alto risco de tombamento dos mesmos. Adicionalmente existiam problemas de armadura exposta em diversos pontos devido a abrasão ocorrida por causa da passagem diária dos veículos.

Provavelmente o projetista visava gerar economia fazendo cortes em quesitos que considerava pouco importantes. Isto, aliado a possível falta de conhecimento de alguns dos aspectos apresentados neste trabalho, resultou, como era de se esperar, num piso inadequado para o uso exigido. Em outras palavras, foi enganado pela ilusão de economia durante a fase de projeto e execução, gerando gastos absurdamente elevados para a correção dos problemas que o pátio apresentou em pouquíssimo tempo.

É importante reconhecer que a utilização de *softwares* para auxílio da simulação de modelos estruturais é um avanço enorme para a engenharia e construção civil, mas não deve ser cegamente seguido. O usuário é responsável pela maneira como os parâmetros do problema são inseridos e como os resultados são interpretados. Os *softwares* são somente um auxílio ao engenheiro, que deve utilizar sempre de seu bom senso para realizar suas análises. A palavra final deve ser do engenheiro, e não do programa.

Na medida em que o projetista vai adquirindo conhecimento, este processo se torna mais natural. A experiência é a mais poderosa ferramenta que obtemos durante o tempo, e – pelo menos até os dias de hoje – não pode ser reproduzida por nenhum computador. O ideal é a união entre a experiência do projetista e as tecnologias modernas, aproveitando melhor do que os dois aspectos têm a oferecer.

## 5 REFERÊNCIAS

FIRME RODRIGUES, Púlio Penna. **Projetos e critérios executivos de Pavimentos Industriais de Concreto Armado**. São Paulo: IBTS, 2006.

GARBER, George. **Design and construction of concrete floors**. Oxford: Elsevier, 2006.

CIMENTO ITAMBÉ. **Patologias comuns em obras**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/patologias-comuns-em-obras/>> Acesso em 26 de maio de 2015.

E-CIVIL. **Tipos de cimento Portland**. Disponível em: <[http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento\\_portland\\_tipos.htm](http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_tipos.htm)> Acesso em 27 de maio de 2015.

RANGEL, J. **Ensaio de flexão na tração**. Disponível em: <[http://www.gwar.com.br/admin/uploads/downloads/8/1307981463\\_0.66495546\\_tracaoconcreto.pdf](http://www.gwar.com.br/admin/uploads/downloads/8/1307981463_0.66495546_tracaoconcreto.pdf)> Acesso em 29 de maio de 2015.

ABCIC. **Módulo de elasticidade: resultados de ensaios e fatores influentes**. Disponível em: <[http://www.abcic.org.br/Concrete\\_show\\_2008/palestras/Ensaios\\_L%EDdia\\_Shehata.pdf](http://www.abcic.org.br/Concrete_show_2008/palestras/Ensaios_L%EDdia_Shehata.pdf)> Acesso em 12 de jun. de 2015.

FORTES, R. M. **Capacidade de suporte CBR**. Disponível em: <<http://www.latersolo.com.br/wp-content/uploads/2015/02/4-CAPACIDADE-DE-SUPORTE-CBR.pdf>> Acesso em 09 de out. de 2015.

CLUBE DO CONCRETO. **Exsudação.** Disponível em:  
<<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/11/exsudacao.html>> Acesso em 17 de dez. de 2015.

FREITAS JR, A. **Aditivos para concreto.** Disponível em:  
<[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/15/TC031\\_Aditivos\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/15/TC031_Aditivos_.pdf)> Acesso em 18 de dez. de 2015.

DENTON, S. R. **The assesment of reinforced concrete slabs.** Disponível em: <<http://www-civ.eng.cam.ac.uk/cjb/papers/p33.pdf>> Acesso em 11 de jan. de 2016.