



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS LEÃO DE MATOS RIBEIRO

**ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO –
ESTUDO DE CASO: PAVIMENTAÇÃO DAS ÁREAS G E H PARA RECEBIMENTO
DE CONTÊINERES NAS LOCALIDADES DO PORTO DO ITAQUI**

São Luís
2017

LUCAS LEÃO DE MATOS RIBEIRO

**ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO –
ESTUDO DE CASO: PAVIMENTAÇÃO DAS ÁREAS G E H PARA RECEBIMENTO
DE CONTÊINERES NAS LOCALIDADES DO PORTO DO ITAQUI**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Maranhão para o grau de
bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

São Luís
2017

Ribeiro, Lucas Leão de Matos.

Acompanhamento de execução de pavimentação em concreto – estudo de caso: pavimentação das áreas G e H para recebimento de contêineres nas localidades do Porto do Itaqui / Lucas Leão de Matos Ribeiro. – São Luís, 2017.

104 p

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

1.Pavimentação. 2.Concreto. 3.Execução. 4.Piso I.Título

CDU: 625.84(812.1)

LUCAS LEÃO DE MATOS RIBEIRO

ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO –
ESTUDO DE CASO: PAVIMENTAÇÃO DAS ÁREAS G E H PARA RECEBIMENTO
DE CONTÊINERES NAS LOCALIDADES DO PORTO DO ITAQUI

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 07 / 12 / 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Esp. Solón Tupinambá Leite
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves
Universidade Estadual do Maranhão

São Luís
2017

À minha mãe, pelo amor incondicional,
motivação e crença em meu potencial.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha base e minha força em todos os momentos.

À UEMA pelo conhecimento técnico, pelas portas abertas e por todas as amizades que construí nessa instituição valorosa, que para sempre serei muito grato.

À minha mãe Eliane e padrinho Miguel, os quais, desde a infância, me colocaram no caminho certo, o da EDUCAÇÃO, caso contrário eu não conseguiria me graduar em um curso de alta qualidade como o de Engenharia Civil - UEMA.

Ao meu pai Jorge, que me ajudou com conselhos e palavras de motivação, sempre me lembrando de manter o foco em meu objetivo futuro.

À minha tia Etiene, por sempre ser um exemplo de excelente pessoa, para mim e para toda a família, e de profissional de uma qualidade imensa na área da pedagogia.

A os meus familiares que sempre foram uma base sólida para mim em todos os momentos de minha vida.

Ao professor Eduardo, orientador deste projeto, por toda ajuda e atenção para a realização do mesmo.

"O destino não é uma questão de sorte, é uma questão de escolha, não é algo a se esperar, é algo a se conquistar."

William Jennings Bryan

RESUMO

A utilização de uma pavimentação em concreto para pisos industriais se mostra a mais vantajosa pois esta solução é a que mais bem atende o objetivo de suportar todos os esforços causados pelas diversas cargas, estacionárias e móveis, ultra pesadas que atuaram sobre o mesmo. O objetivo desse projeto é descrever, como um todo, o processo de execução de uma pavimentação em concreto em área industrial. Para isso, o projeto faz uma apresentação sobre a pavimentação em concreto, com suas características e diversos tipos de pavimentos, comentando também o uso de agregados sintéticos no mesmo. Um estudo de caso sobre uma obra nas localidades do Porto do Itaqui – São Luís/MA, contendo todo o “passo a passo” executivo deste tipo de pavimentação, com informações tecnológicas e executivas e registros fotográficos colhidos “in loco”, compõe a metodologia deste projeto. A análise dos métodos de execução deste tipo de pavimentação, permite um melhor entendimento desta tecnologia de pavimentação, o que pode ajudar a evitar alguns problemas em uma obra futura de mesma natureza.

Palavras-chave: Pavimentação; Concreto; Execução; Piso;

ABSTRACT

The use of a concrete paving for industrial floors is the most advantageous because this solution is the one that best meets the objective of withstanding all the efforts caused by the various loads, stationary and mobile, ultra heavy that acted on the same. The objective of this project is to describe, as a whole, the process of executing a concrete paving in an industrial area. For this, the project makes a presentation on concrete paving, with its characteristics and different types of pavements, also commenting on the use of synthetic aggregates in it. A case study of a work in the Itaqui Port - São Luís / MA, containing all the executive "step by step" of this type of pavement, with technological and executive information and photographic records collected in loco, composes the methodology this project. The analysis of the methods of execution of this type of paving, allows a better understanding of this paving technology, which can help to avoid some problems in a future work of the same nature.

Keywords: Paving; Concrete; Execution; Floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais componentes do sistema de pisos industriais.....	17
Figura 2: Seção Transversal de um Piso de Concreto.....	18
Figura 3: Pavimento de concreto simples sem barra de transferência.....	20
Figura 4: Pavimento de concreto simples com barra de transferência.....	21
Figura 5: Pavimento de concreto com armadura distribuída continuamente.....	23
Figura 6: Pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente.....	23
Figura 7: Pavimento de concreto estruturalmente armado.....	24
Figura 8: Pavimento de concreto reforçado com fibras.....	25
Figura 9: Fibra de aço carbono.....	26
Figura 10: Gráfico de tensão por deformação elástica da matriz e das fibras de alto e baixo módulo de deformação.....	28
Figura 11: Fibras sintéticas de polipropileno para adição em concretos.....	29
Figura 12: Cordoalha engraxada e plastificada.....	31
Figura 13: Cordoalha engraxada.....	32
Figura 14: Pavimento de concreto protendido.....	32
Figura 15: Carregamentos estáticos: lineares, distribuídos e pontuais, respectivamente.....	34
Figura 16: Mercadorias empilhadas carregadas em pallets.....	35
Figura 17: Estrutura porta-pallets com elevada altura de estocagem.....	37
Figura 18: Empilhadeiras de rodas pneumáticas.....	39
Figura 19: Transpaleteiras manuais TX 25.....	41
Figura 20: Carreta transportadora.....	42
Figura 21: Limites de Atterberg.....	44
Figura 22: Exemplo de Perfil de Sondagem SPT.....	50
Figura 23: Terraplenagem e regularização do subleito.....	65
Figura 24: Compactação com rolo pé-de-carneiro.....	65
Figura 25: Barreira de vapor posicionada com espaçadores plásticos no pano de concretagem.....	66
Figura 26: Armação em aço posicionada para concretagem.....	67
Figura 27: Barras de transferência posicionadas na fôrma.....	68
Figura 28: Lançamento de concreto.....	69
Figura 29: Nivelamento do concreto com régua de alumínio.....	70
Figura 30: Acabadora simples com discos de flotação.....	70
Figura 31: Acabamento final da superficial de piso de concreto.....	71
Figura 32: Cura do concreto utilizando mantas umidificadas.....	72
Figura 33: Cura química do concreto.....	73

Figura 34: Máquina de corte de concreto.....	74
Figura 35: Detalhe da planta de localização dos pátios F, G e H.....	75
Figura 36: Detalhe do projeto elétrico PÁTIO H.....	75
Figura 37: Detalhe do projeto de caimento transversal do pátio H.....	76
Figura 38: Esquema computadorizado da obra acabada.....	76
Figura 39: Detalhe do projeto de paginação da obra.....	77
Figura 40: Marcação de pontos pela topografia.....	78
Figura 41: Motoniveladora realizando cortes no terreno.....	78
Figura 42: Compactação do subleito.....	79
Figura 43: Realização de ensaio de umidade em campo.....	79
Figura 44: Detalhe da armação de um pano de concretagem tipo.....	80
Figura 45: Posicionamento de lona plástica, espaçadores e telas de aço.....	81
Figura 46: Colocação de fôrmas metálicas e armação do pano finalizadas.....	81
Figura 47: Posicionamento das barras de transferência.....	82
Figura 48: Pano liberado para concretagem.....	82
Figura 49: Colocação da fibra sintética no caminhão de concreto.....	83
Figura 50: Lançamento bombeado do concreto.....	84
Figura 51: Nivelamento do concreto.....	84
Figura 52: Realização do processo de flotação.....	85
Figura 53: Acabamento do piso de concreto.....	86
Figura 54: Processo de cura química.....	86
Figura 55: Cura úmida do concreto.....	87
Figura 56: Corte de junta no concreto.....	87
Figura 57: Posicionamento de isopor nas juntas de construção.....	88
Figura 58: Tratamento de juntas.....	89
Figura 59: Placa de calçada pronta para concretagem.....	89
Figura 60: Concretagem de calçada.....	90
Figura 61: Junta de expansão.....	91
Figura 62: Pátio H concluído.....	91
Figura 63: Datas das concretagens dos panos.....	93
Figura 64: Detalhe do posicionamento das placas 24, 25, 26 e 27 do pátio G.....	94
Figura 65: Fissuras em torno de juntas de expansão.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões máximas da placa, em função do diâmetro máximo do agregado.....	21
Tabela 2: Características das principais fibras de aço.....	27
Tabela 3: Tipos de fibras sintéticas e suas características.....	30
Tabela 4: Caracterização dos carregamentos estáticos.....	34
Tabela 5: Índices de planicidade e nivelamento em função da altura de içamento de carga....	40
Tabela 6: Símbolos - Sistema Unificado de Classificação.....	45
Tabela 7: Classificação geral dos solos segundo o USC.....	46
Tabela 8: Classificação de solos: Highway Research Board (HRB) adotada pela AASHTO....	47
Tabela 9: Tipos de solo e suas capacidades de suporte.....	52
Tabela 10: Tipos de sub-base.....	54
Tabela 11: Características de sub-base em CCR de acordo com seu consumo de cimento.....	58
Tabela 12: Tipos de revestimentos.....	62

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SÍMBOLOS

#	Peneira;
CA	Tipo de aço;
Q	Designação de tela de aço;

SIGLAS

ANAPRE	Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho;
CBR	California Bearing Ratio;
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
EMAP	Empresa Maranhense de Administração Portuária;
TG	Treliça Gerdau;

UNIDADES DE MEDIDAS

cm	Centímetro;
g	Grama;
Hz	Hertz;
kg	Quilograma;
Kgf	Quilograma força;
Km	Quilometro;
m	Metro;
mm	Milímetro;
Pa	Pascal;
Rpm	Rotações por minuto;
T	Tonelada;
Tf	Tonelada força;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVO	16
3.1 Objetivo Geral	16
Estudar os métodos de execução de pavimentação em concreto das áreas dos pátios H e G, situados no complexo do Porto do Itaqui, São Luís – MA.....	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4 REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1 Pisos Industriais em Concreto.....	17
4.2 Histórico da Pavimentação em Concreto no Mundo e de Pisos Industriais em Concreto no Brasil.....	19
4.3 Tipos de Pisos Industriais em Concreto	20
4.3.1 Pisos de Concreto Simples	20
4.3.2 Pisos de Concreto Armado	22
4.3.3 Pisos de Concreto Reforçados com Fibras	25
4.3.4 Pisos de Concreto Protendido.....	31
4.4 Tipos de Cargas em Pisos Industriais	34
4.4.1 Cargas Estáticas.....	34
4.4.2 Cargas Móveis	38
4.5 Subleito	42
4.5.1 Natureza dos Solos	43
4.5.2 Classificação dos solos	45

4.5.3 Compactação dos solos.....	47
4.5.4 Ensaio de caracterização do solo	48
4.6 Sub-base.....	52
4.6.1 Tipos de sub-base	53
4.7 Juntas.....	59
4.7.1 Juntas de construção (JC)	59
4.7.2 Juntas serradas (JS).....	60
4.7.3 Juntas de dilatação (JD).....	61
4.7.4 Juntas de expansão (JE).....	61
4.8 Revestimentos	62
4.8.1 Pintura.....	63
4.8.2 Revestimento multi-camadas (multi-layer)	63
4.8.3 Revestimento autonivelante.....	63
4.8.4 Revestimento argamassado.....	64
4.9 Execução de piso industrial em concreto.....	64
5 ESTUDO DE CASO	74
5.1 Conhecendo o Projeto	74
5.2 Análise do Projeto.....	76
5.3 Execução	77
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
6.1 Produtividade da Obra	92
6.2 Falhas e Dificuldades de Execução.....	93

6.2.1 Planejamento de execução.....	93
6.2.3 Patologias no piso de concreto	94
6.2.3 Falhas na execução da terraplenagem	95
7 CONCLUSÃO.....	97
REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos são elementos de importantes para as atividades em áreas industriais, nele é onde são executadas suas operações. A pavimentação em concreto em áreas industriais é usada com frequência, pois suas características estruturais, como resistência e durabilidade, suprem, de forma satisfatória, as solicitações específicas que o pavimento de um piso industrial é exposto.

A utilização da tecnologia dos sistemas de pavimentação industrial, como um segmento especializado, vem sendo cada vez mais demandada pelo mercado por conta das alterações culturais de empresas de diversos ramos, que nos últimos anos têm começaram a dar mais valor para as boas condições de sua infraestrutura, para assim se alcançar um objetivo satisfatório do empreendimento. Segundo Gisele Cichinelli (2017), “pisos industriais de concreto são elementos estruturais que têm a finalidade de resistir e distribuir ao subleito esforços verticais provenientes dos carregamentos. É sobre eles que as atividades de movimentação de cargas e de equipamentos se realizam”.

A pavimentação em concreto ocasiona uma qualidade de rolamento bem satisfatória. Por ter boa resistência à deformação plástica, consegue minimizar drasticamente a necessidade de realização de operações de corretivas, como “tapa-buraco” e recapeamentos frequentes. Por exigir pouca manutenção, acaba se tornando uma solução ambientalmente amigável.

A qualidade de um piso industrial de concreto é essencialmente dependente da obtenção de uma superfície de elevada dureza e durabilidade, plana e relativamente livre de fissuras, que esteja em conformidade com um nível de referência ou grade de referência, e que possua uma textura superficial adequada à futura utilização do piso. (ACI 302, 1996)

Este projeto, tem como objetivo geral, mostrar os métodos de execução de pavimentação em concreto, que a que mais se adequa às necessidades de pisos de áreas industriais. Tem como objetivo específico exemplificar de forma detalhada todas as etapas, serviços e atividades para a execução de boa qualidade de uma pavimentação em concreto, tendo um enfoque na prevenção de algumas imperfeições no produto final que são causadas pela forma que o serviço é executado.

Para uma ilustração eficaz de toda a execução de um pavimento em concreto o presente trabalho foi baseado em conceitos bibliográficos e em um estudo de caso, em uma obra industrial, localizada nas dependências do Porto do Itaquí, na cidade de São Luís. O trabalho

apresenta um “dossiê” sobre esta obra, mostrando todas as etapas executivas, da movimentação de terra até o ultimo acabamento no piso pronto.

2 JUSTIFICATIVA

A análise e interpretação de informações obtidas através do acompanhamento da execução da pavimentação em concreto na obra de pavimentação das áreas dos pátios G e H no Porto do Itaquí possibilitara uma maior compreensão acerca deste tipo de tecnologia em pavimentação.

Os resultados obtidos com acompanhamento dos métodos de execução deste tipo de pavimentação fornecerão suporte para futuras obras que usarem a mesma tecnologia de pavimento rígido, podendo ajudar na diminuição da duração de atividades e na obtenção de um controle de qualidade satisfatório, em vista que o trabalho dará um maior embasamento de execução das mesmas.

Este trabalho então justifica-se pela importância que o tipo de pavimentação tem do mesmo possui na área industrial, influenciando diretamente no atendimento das necessidades que serão solicitadas pelos serviços a serem realizados nestes pisos industriais de forma segura, econômica e com o maior número de vantagens ocasionadas pela escolha deste tipo de pavimento em especial.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

Estudar os métodos de execução de pavimentação em concreto das áreas dos pátios H e G, situados no complexo do Porto do Itaqui, São Luís – MA.

3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar características técnicas e históricas sobre pisos industriais em concreto;
- Exemplificar de forma clara os métodos de execução mais vantajosos para pavimentação em concreto para pisos industriais;
- Obter um maior embasamento técnico na utilização da pavimentação em concreto, principalmente para pavimentos em áreas industriais;
- Produzir um material de estudo de qualidade sobre um acompanhamento amplo de uma obra, tendo um enfoque maior na atividade de execução de piso em concreto;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

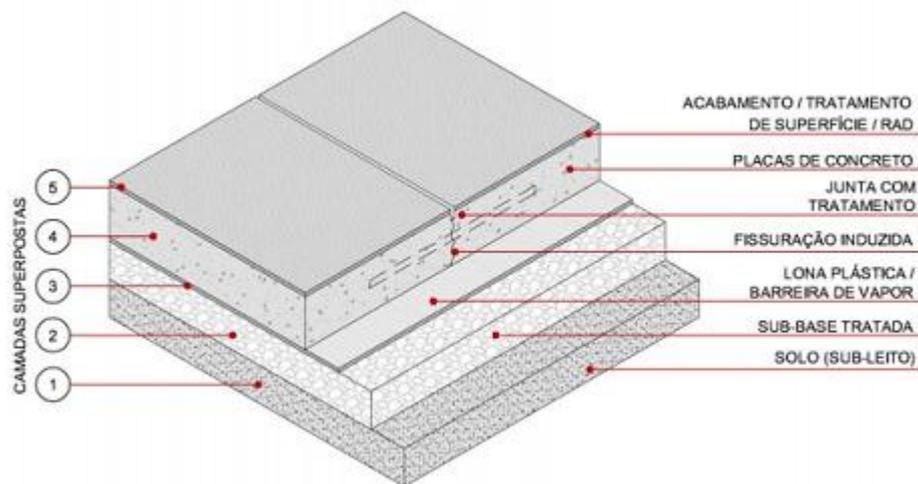
4.1 Pisos Industriais em Concreto

A estrutura de um piso em concreto geralmente é construída para atender as seguintes finalidades:

- Resistir aos esforços verticais provenientes do carregamento, e ao mesmo tempo transmiti-los para o subleito
- Obter uma textura superficial adequada à futura utilização, que possibilite um perfeito rolamento, quanto a segurança e conforto de suas cargas móveis (máquinas e veículos carregados)
- Suportar esforços mecânicos (compressão, abrasão, flexão e impacto) e a ações químicas ou biológicas (ácidos, sangue, bases, bactérias, entre outros).

A estrutura mais comum para pisos industriais se dispõe da seguinte forma:

Figura 1: Principais componentes do sistema de pisos industriais



(Carvalho, 2009)

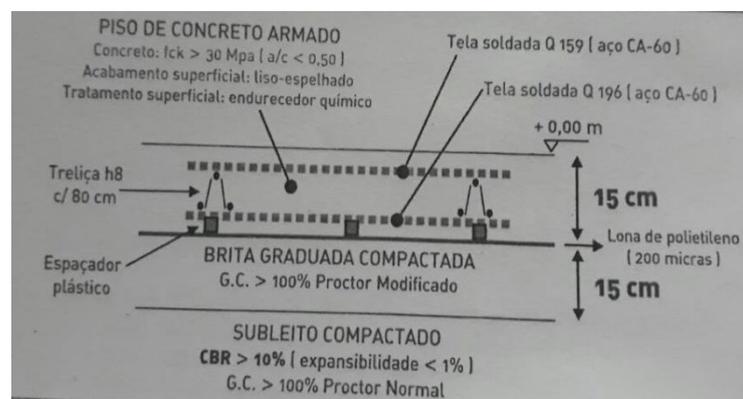
Cada camada possui uma determinada função dentro do sistema construtivo, executa-las de acordo com o projeto e da forma correta é imprescindível para se obter um piso de boa qualidade.

Estas camadas trabalham em conjunto, como mecanismos integrados formando único um sistema, a interação harmoniosa entre elas também é um fator determinante para que o pavimento final seja compatível com o padrão de qualidade exigido.

As camadas e suas funções básicas são:

- 1 – Subleito:** Terreno com a função de suportar, como uma fundação, todo o pavimento, podendo ter sua resistência aumentada com uma camada regularizadora e uma camada de reforço. Também a serve para absorver os esforços causados pelas cargas impostas ao pavimento.
- 2 – Sub-base:** Camada com a função de corrigir e isolar o subleito, utilizada quando não se é aconselhável construir o piso diretamente sobre o subleito, apresentando características e propriedades mecânicas mais resistentes que as do subleito. Esta camada também controla as variações de volume do subleito, tornando-o mais uniforme, e aumenta o suporte da fundação.
- 3 – Barreira de Vapor:** Composta de uma lona plástica (polímero), posicionada após a sub-base, é utilizada para eliminar ou reduzir a transmissão de umidade (em forma de vapor), pela a placa de concreto. São bastante indicadas para pisos que serão revestidos com materiais sensíveis à umidade. Outra função é a livre movimentação da placa de concreto em relação a sub-base (dilatação e contração) e de garantir a hidratação do concreto, impedindo que a água presente no mesmo infiltre na sub-base.
- 4 – Placa de concreto:** Compreende a camada que irá resistir diretamente aos esforços ocasionados pelos carregamentos, trabalhando no regime elástico, e os transmitirá para as outras camadas da estrutura do pavimento. Responsável também por proporcionar características adequadas de rolamento, facilidade de limpeza, resistência química e à abrasão.
- 5 – Revestimento:** Uma camada especial de acabamento, nem sempre necessária, usada para obter características específicas na superfície do piso acabado, como assepsia, resistência química e ao desgaste, brilho, impermeabilização ou selamento, entre outras.

Figura 2: Seção Transversal de um Piso de Concreto



(Chodounsky; Viceli, 2007)

4.2 Histórico da Pavimentação em Concreto no Mundo e de Pisos Industriais em Concreto no Brasil

Os pioneiros na área de pavimentos rígidos foram os ingleses, em 1865. O primeiro pavimento em concreto nos Estados Unidos, hoje funcionando como um calçadão, foi executado em Bellefontaine, Ohio, em 1891. Auto-estradas formadas de pavimentos em concreto foram bastante utilizadas na Alemanha e nos Estados Unidos, antes da Segunda Guerra mundial. Em meados de 1930, a Alemanha possuía aproximadamente 92% de suas auto-estradas em concreto e, em meados de 1950, os Estados Unidos tinham 89% de suas grandes vias urbanas e 79% das rurais pavimentadas em concreto.

No Brasil, o primeiro pavimento de concreto foi executado no Caminho do Mar – ligação de São Paulo a Cubatão em 1926. Em seguida foi realizada em 1932, em concreto, a pavimentação da travessia de São Miguel Paulista, da antiga estrada Rio - São Paulo. (Rodrigues, 2006).

Com o avanço da indústria do petróleo que ocorreu entre 1960 e 1990 uma quebra na construção de pavimentos de concretos, favorecendo a pavimentação asfáltica na América Latina.

Já os pisos industriais de concreto começaram a ser utilizados no Brasil na década de 90, do século passado, começando com estruturas de concreto simples, por ser uma tecnologia nova na área industrial em nosso país. O uso do concreto simples apresentava muitas patologias acabavam por aparecer no piso, por conta de o mesmo apresentar uma pequena dimensão e grande espessura, encarecendo a manutenção e diminuindo a produtividade.

Com o passar do tempo, o conhecimento sobre está tecnologia de piso foi aprofundado e começou-se a utilizar outros tipos de piso com: concreto armado, concreto com adição de fibras de aço, concreto armado e com reforço e concreto protendido, cada um escolhido para determinadas situações e finalidades.

Nos anos 2000 houve uma expansão da base industrial, principalmente nos setores de alimentos e bebidas, de papel e celulose, automotivo e farmacêutico, o que acabou por abrir novas oportunidades para a execução de pisos industriais de concreto.

Embora o potencial de crescimento do mercado de pisos fosse bastante significativo, eram necessárias ações que propiciassem o desenvolvimento técnico, a formalização e a expansão setorial. Mais que isso, a representatividade setorial deveria ser discutida para que todo este potencial pudesse ser desenvolvido. E foi com esta finalidade que nasceu a ANAPRE – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, oficialmente fundada em 30 de abril de 2004, que passou a representar o setor de pisos e revestimentos no Brasil, apoiando projetos e promovendo iniciativas para o avanço do setor em todos os níveis, focada principalmente no fato de a grande maioria das obras de pisos ocorrer sem maiores controles, sem observância a projetos,

de maneira informal. (O MERCADO DE PISOS INDUSTRIAIS NO BRASIL CENÁRIO E PERSPECTIVAS DO SEGMENTO, 2012, p.14).

Após a criação da ANAPRE, o piso em concreto começou a se firmar como uma solução valorizada no ramo industrial, por sua funcionalidade estética e seu ótimo desempenho. Outro aspecto que mudou com sua criação foi a relação com o cliente, pois a ANAPRE padronizou, com uma alta exigência técnica, a execução dos pisos, que acabou se tornando mais técnica e sendo imprescindível a presença de um bom projeto, que alguns anos atrás era desvalorizado, para se garantir a qualidade de execução e um produto final de qualidade.

A evolução dos pisos industriais tem sido marcante nas últimas duas décadas, e o Brasil vem se destacando de maneira clara como detentor de conceitos firmes na área de projeto, tendo adotado a Escola Europeia (Rodrigues, 2006).

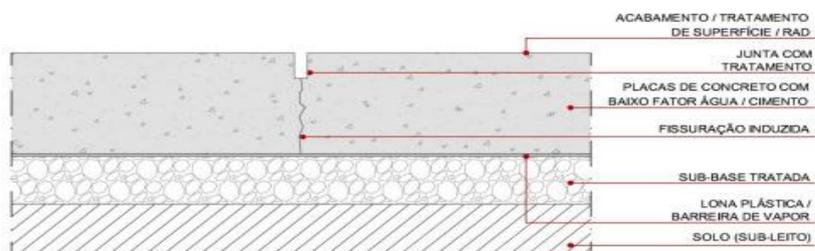
4.3 Tipos de Pisos Industriais em Concreto

A determinação de qual tipo de piso que será usado depende diretamente da natureza e da finalidade que o empreendimento terá. Com relação à presença ou não de armadura na placa de concreto, temos os seguintes tipos:

4.3.1 Pisos de Concreto Simples

Segundo Pitta (1989), “É o sistema de pavimentação no qual os esforços atuantes (tração/compressão) são revestidos apenas concreto, sem a presença de armaduras. Resultam em pavimentos de espessura elevada como correção da deficiência do concreto em relação à sua baixa resistividade para esforços de tração”.

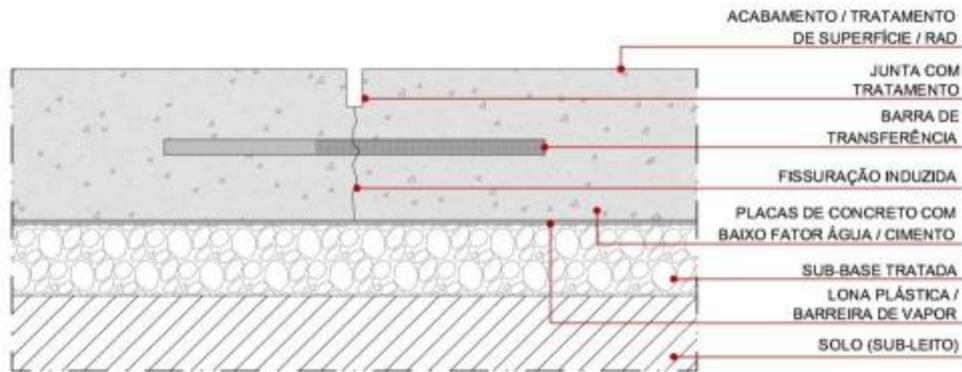
Figura 3: Pavimento de concreto simples sem barra de transferência



(Carvalho, 2009)

São pisos com uma dimensão pequena e sobre um subleito geralmente reforçado, neste tipo não se tem a presença de uma armadura estrutural, podendo haver a presença de dispositivos de transferência de cargas como barras de ligação ou de transferência.

Figura 4: Pavimento de concreto simples com barra de transferência



(Carvalho, 2009)

Boyd & Anderson (1995) diz que:

O dimensionamento da espessura do piso está íntima e diretamente ligado às tensões de tração na flexão produzidas pelas cargas solicitantes. O dimensionamento do piso pode ser efetuado condição de concreto não fissurado, ou seja, limitando-se a tensão de tração na fibra inferior da placa de concreto a certo valor, chamado admissível (tensão admissível), correspondente a resistência à tração na flexão dividida por um coeficiente de segurança.

O piso de concreto simples, mesmo sendo bastante utilizado em pavimentos rodoviários e urbanos, não é muito utilizado na área industrial, quando é executado neste tipo de obra se adicionada uma fibra sintética (não estrutural), o que não o descaracteriza como sendo um piso de concreto simples pois a fibra apenas tem função de baixo impacto nas propriedades de endurecimento do concreto.

Um dos fatores que mais contribuem para a não utilização deste tipo de piso é limitação nas dimensões de suas placas, sendo elas de 4 a 6 metros. Abaixo temos uma tabela que associa as dimensões máximas da placa de concreto simples com o diâmetro máximo do agregado usado no concreto:

Tabela 1: Dimensões máximas da placa, em função do diâmetro máximo do agregado

Espessura da placa	D _{máx} <19 mm	D _{máx} >19 mm
12,5 cm	3,00 m	3,75 m
15,0 cm	3,75 m	4,50 m
17,5 cm	4,25 m	5,25 m
20,0 cm	5,00m	6,00 m

Fonte: Chodounsky; Viccili, 2007

Os espaçamentos máximos de juntas nas placas de concreto deste tipo de piso dependem da espessura do mesmo, da plasticidade do concreto (fator água/cimento), de suas dimensões máximas, de seus tipos agregados e das condições do ambiente da obra.

Patologias como esborcinamento e empenamento são geralmente ligadas às juntas do pavimento, especialmente em pisos que se tem tráfego de paleteiras ou empilhadeiras. Para evitar esses problemas se faz o uso de barras de transferência e um tratamento de juntas mais elaborado, feito com materiais nobres (epóxi semi-rígido, lábio polimérico). Como as placas de concreto simples têm dimensões pequenas se tem a necessidade muitas juntas, o que acaba por encarecer a obra, por isso ele é pouco utilizado.

[...] a placa de concreto simples apresenta rigidez bastante superior aos dos pisos armados em razão de espessuras maiores, fato que diminui o risco e a incidência de problemas de empenamento [...] (Chodounsky; Viecili, 2007)

4.3.2 Pisos de Concreto Armado

Este piso consiste na adição de uma armadura em aço no concreto, para sanar o déficit que este tem de conseguir uma boa resistência à tração.

É o sistema de pavimentos industrial mais popularmente empregado atualmente na indústria da construção civil brasileira. A partir de ensaios, constata-se que a presença da tela (armadura distribuída) não só controla a fissuração, como também apresenta uma resposta estrutural ao sistema de pavimentação (Rodrigues et al; 2003)

Deve-se ter um cuidado especial quanto ao uso do aço no concreto em pisos onde haverá tráfego de veículos guiados por indução magnética, pois o mesmo poderá atrapalhar nos sinais eletromagnéticos. Para que o aço não interfira recomenda-se um cobrimento de no mínimo 5 cm do aço para a superfície da placa, isso para aço com bitolas de até 16 mm, para bitolas superiores o cobrimento passa a ser de 7,5 cm no mínimo.

O piso de concreto armado pode se dividir em com armadura distribuída ou de concreto estruturalmente armado.

Nos pisos de concreto com armadura distribuída temos uma tela de aço posicionada, geralmente, no terço superior da placa de concreto deixando um cobrimento mínimo de concreto de 5 cm, servindo como reforço para evitar empenamento de placas e fissurações muito pequenas (fissuras fechadas) causadas por retrações de secagem do concreto por conta de variações térmicas.

A confecção destas telas pode ser feita na obra, por meio da amarração das barras de aço de acordo com as especificações do projeto (aço, bitola e espaçamento) ou podem ser

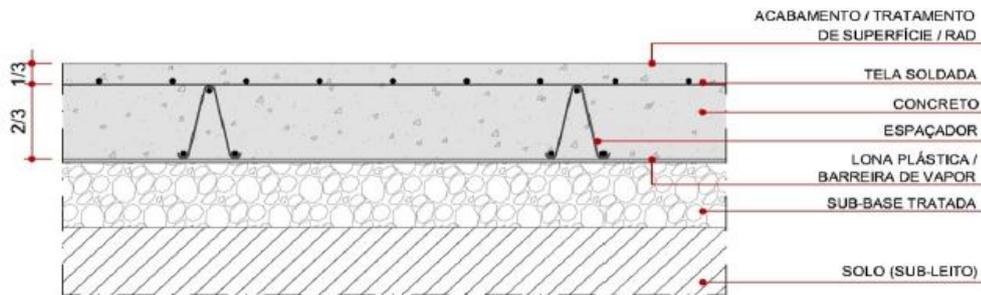
adquiridas pré-fabricadas, comumente chamadas de telas soldadas, constituídas de fios de aço transversais e longitudinais, de aço CA-50 ou CA-60, soldados em suas interseções por caldeamento, sendo encontradas no mercado em vários tamanhos e densidades de malhas.

Segundo Dal - maso (2008):

As malhas compostas por fios de diâmetro reduzido possuem pequena rigidez e não combatem com eficiência a fissuração das placas de concreto causada pelo processo de retração hidráulica. A redução e eliminação das trincas e fissuras podem ser alcançadas com a utilização de barras com maiores bitolas e espaçamento adequado entre fios.

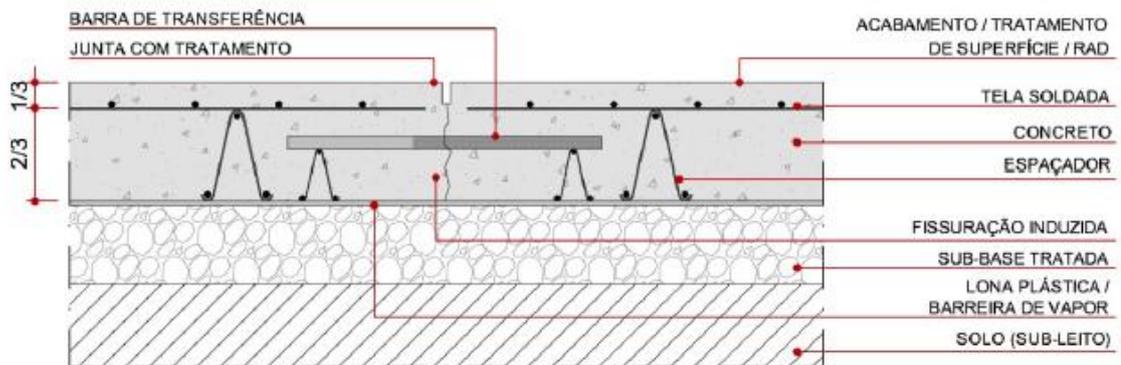
As armaduras distribuídas ainda se dividem em contínuas e descontinuas. De acordo com a necessidade de juntas no pavimento, para o combate de fissuras causadas por retração e dilatação, opta-se por uma armadura descontinua com barras de transferência nas interrupções de armação.

Figura 5: Pavimento de concreto com armadura distribuída continuamente



(Carvalho, 2009)

Figura 6: Pavimento de concreto com armadura distribuída descontinuamente



(Carvalho, 2009)

A utilização das malhas reduz consideravelmente o número de juntas necessárias, permitindo construção de placas de até 30 metros de comprimento e 6 metros de largura, embora o comprimento usualmente praticado seja de cerca de 15 metros (Oliveira, 2000).

Os pisos de concreto estruturalmente armados possuem uma armadura principal (na parte inferior da placa) para combate aos esforços que tracionam o piso, e uma secundária (na parte superior da placa, semelhante ao de concreto com armadura distribuída) para amenizar o surgimento de fissuras causadas por retrações do piso. Neste piso o aço acaba por resistir inteiramente as tensões de tração ocasionadas pelos carregamentos, podendo se considerar que o concreto não será solicitado por este esforço.

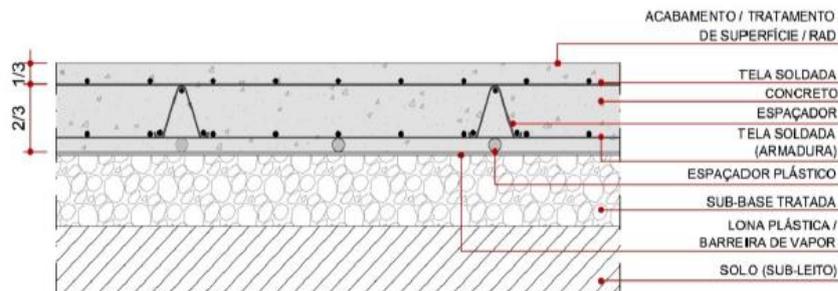
No dimensionamento dos pisos estruturalmente armados, tira-se proveito da boa resistência à compressão do concreto associada, à elevada resistência à tração de aço, o que resulta sempre em placas de menores espessuras em comparação aos pisos de concreto simples (Chodounsky; Viecili, 2007).

Este tipo de piso, por conta do reforço estrutural do aço presente em sua composição, acaba sendo indicado para ser aplicado sobre solos com baixa resistência ou com resistências consideravelmente variáveis na extensão onde a pavimentação em concreto será realizada, neste caso o pavimento apresentará um determinado tipo de armação para cada área, de acordo com a resistência da mesma e o projeto da obra.

Com este tipo de piso, além da vantagem de se obter um piso com comprimentos e larguras maiores e uma espessura menor sem perder a capacidade de resistir os esforços solicitados, temos uma liberação do pavimento mais rápida e menores prejuízos estruturais, em razão de a capacidade de carga do mesmo ser pouco dependente do concreto.

Outra vantagem é a diminuição do número de juntas (mais ainda do que nos pisos de concreto com armadura distribuída) reduzindo o preço a obra, por conta dos os panos de concreto possuírem áreas maiores. Juntas estas que também possuem a mesma composição, com as barras de ferro circulares ou quadradas como dispositivos de transferência.

Figura 7: Pavimento de concreto estruturalmente armado



4.3.3 Pisos de Concreto Reforçados com Fibras

A aplicação de fibras permite um certo incremento da tenacidade no concreto, representada pela energia que é suficiente para que a placa entre em estado de colapso, fazendo com que o concreto consiga ter maiores deformações antes da ruptura.

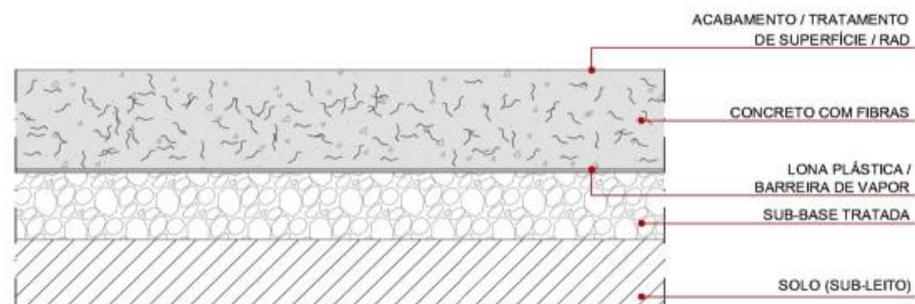
“[...] está tecnologia chegou ao Brasil a partir da década de 1990, promovendo grande avanço na engenharia de pavimentação industrial, e permitindo aperfeiçoamento de técnicas de dimensionamento baseadas na escola europeia” (Rodrigues et al; 2003).

Para Chodounsky e Viecili, (2007) “O concreto reforçado com fibras nada mais é que um composto, constituído de duas fases – a matriz e as fibras. As propriedades deste compósito são determinadas pela interação entre as propriedades da matriz e das próprias fibras”.

Neste piso a fibra acaba por fazer o papel da armadura de aço no concreto, suprimindo sua carência de resistência aos esforços de tração, combatendo a retração e minimizando o aparecimento de fissuras. A fibra também ajuda a placa de concreto obter um elevado índice de ductibilidade e ocasiona uma diminuição do número de juntas por conta das tensões criadas no interior do pavimento.

O uso da fibra no concreto é feito em dosagens, por exemplo 25 kg de fibra/m³ de concreto (no caso de fibras de aço). Essa dosagem é determinada analisando fatores como o agregado usado no concreto, dimensões da placa a ser concretada, o valor da carga máxima estimada em projeto, clima, entre outros.

Figura 8: Pavimento de concreto reforçado com fibras



(Carvalho, 2009)

Algumas vantagens econômicas advindas do uso da fibra no concreto são: Uma diminuição no tempo de execução do pavimento e da quantidade da mão de obra para executá-lo (por conta de não necessitar de armação em aço), uma otimização no uso do espaço físico do canteiro de obras (pela reduzida quantidade de aço usada na obra), um concreto com uma

melhor compactação, acabamento de alta qualidade, uma manutenção menos frequente e facilita o processo de juntas pois não há a necessidade de barras de transmissão.

Também podemos citar vantagens técnicas como: elevado controle de fissuras, aumento da resistência ao impacto, aumento da resistência a fadiga, aumento da capacidade portante (de carga) do concreto, entre outras.

Bina e Teixeira (2002) afirma que, “o controle tecnológico do concreto deve ser bastante cuidadoso, assegurando comportamento previsto em projeto e evitando formação de “ouriços” (bolas formadas pela aglomeração de fibras e da fração mais fina dos agregados e cimento)”.

Um dos tipos de fibras usadas é a fibra em aço, os pisos onde há a presença desta fibra possuem uma capacidade de carga bem elevadas, se comparadas a capacidade dos pisos de concreto simples. A fibra em aço consegue mudar a característica do concreto de frágil para dúctil, fazendo o mesmo resistir a acréscimos de carregamentos mesmo após o processo de fissuração ter início.

Figura 9: Fibra de aço carbono



(Catálogo Arcelormittal, 2012)

No Brasil temos 3 tipos de processos de produção diferentes para a produção desta fibra: produzidas a partir da sobra da produção de lã de aço, produzidas a partir do corte de chapas de aço e produzidas a partir da trefilação de fios-máquina (fibras de aço de arame trefilado).

As fibras produzidas com lã de aço são cortadas em comprimentos que variam de 1” a 2 ¼”, equivalente a 25 e 60 mm, sendo moldadas longitudinalmente para que tenham um perfil ondulado. Estas são fibras mais baratas e com um menos desempenho, porém, se a obra exigir do piso acabado uma resistência para apenas cargas menores, pode ser a melhor solução

para uma boa relação custo-benefício, podendo ser mais barata do que uma armadura de aço (em tela soldada e barras transversais) ou outros tipos de fibras.

No meio termo nos quesitos preço e desempenho a fibra produzida pelo corte de chapas de aço, possuem uma seção transversal retangular, com suas extremidades moldadas para que fiquem em forma de ganchos de ancoragem.

Já as fibras de aço de arame trefilado, provenientes da trefilação (encruamento) de fios-máquinas, podem possuir ganchos de ancoragem nas extremidades ou serem totalmente onduladas. Após a trefilação, o fio de aço tem seu diâmetro diminuído de 6 mm para 1 mm deixando-o com uma alta resistência, de até 1000 Mpa. Quando o fio de aço trefilado possui um alto teor de carbono a fibra pode chegar a ter resistências ainda maiores, podendo chegar a 1700 Mpa. Este tipo de fibra de aço é líder de vendas no Brasil e no resto do mundo.

A adição de fibras de aço (classificadas como fibras de alto módulo) ao concreto inibe e dificulta a propagação das fissuras, devido ao seu alto módulo de deformação, resultando em uma grande capacidade de redistribuição de esforços e controle de fissuração do concreto, mesmo em dosagens baixas (Grzybowski, 1990 apud Figueiredo, 200).

Tabela 2: Características das principais fibras de aço:

Material	Densidade (g/cm ³)	Módulo de deformação (GPa)	Resistencia à tração (Mpa)
Aço	7,85	160 - 200	350 - 2100

Fonte: PCA, 1991

O volume crítico para fibras de aço é um fator que influencia bastante, de acordo de como será o comportamento esperado do piso final quanto aos carregamentos que o mesmo será exposto. Este volume é, de acordo com a modelagem de Aveston, Cupper & Kelly (1971), de aproximadamente 78 kg/m³, dosagens abaixo deste volume, mais comuns, a fibra acaba por contribuir na não-propagação das fissuras e no aumento da tenacidade (representação do trabalho dissipado no material até um determinado nível de deformação).

Quando a dosagem da fibra supera o volume crítico o pavimento de concreto acabado consegue continuar resistindo a acréscimos de carregamentos mesmo após a ruptura de sua matriz.

O posicionamento da fibra junto ao concreto também tem seu fator de importância no bom desempenho do piso. Recomenda-se que a fibra deve ter o comprimento igual ou superior a duas vezes o a dimensão máxima característica do agregado, desta forma a fibra fica

alinhada às fissuras mais facilmente, fazendo com que estas de uma forma mais eficaz na transferência de tensões nas fissuras.

Outro tipo de fibra usada é a sintética, que pode ou não aumentar a tenacidade do concreto, de acordo com suas características e das propriedades do material que foi confeccionada.

As fibras sintéticas possuem duas dificuldades maiores para serem usadas, uma é o seu preço maior do que outros tipos de fibras e o outro é a considerável perda de consistência do concreto com seu uso. Mas os avanços no desenvolvimento de fibras especiais vêm ajudando a resolver estas dificuldades e garantindo espaço para sua expansão.

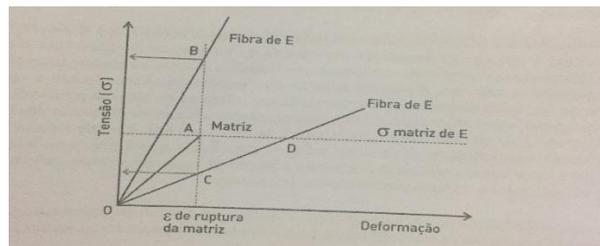
As fibras sintéticas – polipropileno e nylon – que hoje são bastante conhecidas e utilizadas em larga escala no reforço de concretos e argamassas são classificadas como fibras de baixo módulo (em comparação com o módulo do concreto), o que restringe sua aplicação ao controle de fissuração na retração plástica (inicial), ou seja, enquanto o módulo de deformação do concreto for inferior ao da fibra (< 5 GPa) (Chodounsky; Viecili, 2007).

A grande vantagem do uso deste tipo de fibra é o controle de fissuras resultado da retração plástica do concreto. Enquanto o concreto está endurecendo (processo de pega), o piso fica sujeito a deformações causadas por um baixo nível de tensões, nível este baixo o suficiente para serem absorvidos pelas fibras sintéticas, assim combatendo as fissuras por retração plástica.

A utilização de fibras sintéticas com um alto módulo de deformação se faz necessária hoje em dia pois a mesma acaba por ter um tempo reduzido para atuar, por conta das características dos cimentos usados atualmente (alta finura e muito resistentes), uso de aditivos aceleradores de pega e redutores de água no concreto e o aumento na utilização de concretos de alta resistência (alcançam mais rapidamente sua resistência máxima).

Analisando a figura abaixo, trazendo um gráfico hipotético, se pode ter uma compreensão melhor sobre o comportamento da matriz usando dois tipos de fibra, uma com alto e outra com baixo módulo de deformação.

Figura 10: Gráfico de tensão por deformação elástica da matriz e das fibras de alto e baixo módulo de deformação



(Chodounsky; Viecili, 2007)

Observa-se que a curva de tensão por deformação da matriz se dá por O - A, e as da fibra de alto módulo e da de baixo são representadas por O - B e O - C, respectivamente.

No ponto A, momento de ruptura da matriz, as tensões passam a serem transferidas para a fibra. A fibra de baixo módulo de deformação tem o momento de ruptura da matriz representado pelo ponto C, neste ponto a tensão na fibra está abaixo da tensão transferida para a mesma, fazendo que com ela tenha que se deformar mais, até o ponto D, para que consiga suportar a está tensão.

Com isso conclui-se que a fibra com baixo módulo não poderá servir como reforço após o processo de fissuração se iniciar na placa de concreto ou acabará deixando que uma grande deformação ocorra, provocando grandes fissurações.

“Logo, as fibras sintéticas convencionais não devem ser empregadas para substituir a armadura (fibras metálicas ou armadura convencional) de reforço contra variações térmicas e/ou retração hidráulica, pois têm pequeno impacto nas propriedades de endurecimento” (ACI 302, 1996).

Figura 11: Fibras sintéticas de polipropileno para adição em concretos:



(Catálogo Fitesa, 2011)

Mas ainda existem as chamadas fibras sintéticas especiais que, mesmo com o módulo de deformação baixo, conseguem um aumento considerável na tenacidade do concreto e uma alta qualidade no controle de fissuras.

Outros parâmetros da fibra, além do módulo de deformação, são levados em consideração para caracterizar o desempenho da mesma, como seu teor na mistura, sua quantidade por 1 quilograma de concreto, seu fator de forma (identifica a relação diâmetro/comprimento da fibra), a presença de ancoragem ou não, entre outros.

Uso da fibra sintética tem seus pontos, assim como os positivos, os negativos como: a diminuição da trabalhabilidade do concreto e a possível ocorrência de um possível afloramento da fibra, pois a mesma possui uma baixa densidade. Esta perda de trabalhabilidade deve ser de conhecimento do profissional que fará o controle tecnológico do concreto, para que a consistência anterior ao incremento da fibra seja alcançada novamente por meio de uma adição não programada de água no concreto.

Os primeiros tipos de fibras sintéticas usadas para reforço de pisos industriais foram as de polipropileno e nylon. As fibras em polipropileno são de grande aceitação no mercado norte-americano, sendo líder de vendas, e no Brasil dividem o lugar de fibras mais utilizadas com as de vidro do tipo AR (Álcali Resistente).

A seguir temos uma tabela que apresenta algumas informações dos tipos de fibras sintéticas mais usadas na atualidade.

Tabela 3: Tipos de fibras sintéticas e suas características:

Material	Densidade (g/cm ²)	Módulo de deformação (GPa)	Resistencia à tração (Mpa)
Polipropileno	0,9	3,5 – 5	450 – 700
Nylon	1,10	5	900 – 1.100
Vidro	2,60	70 – 80	2.500 – 3.500
Kevlar	1,45	60 -120	3.600
Carbono	1,90	230 – 380	1.800 – 2.600
Celulose	1,50	10 – 40	350 – 2.000
Amianto	2,60 – 3,40	160 – 200	200 – 3.500

Fonte: Chodounsky e Viecili, 2007

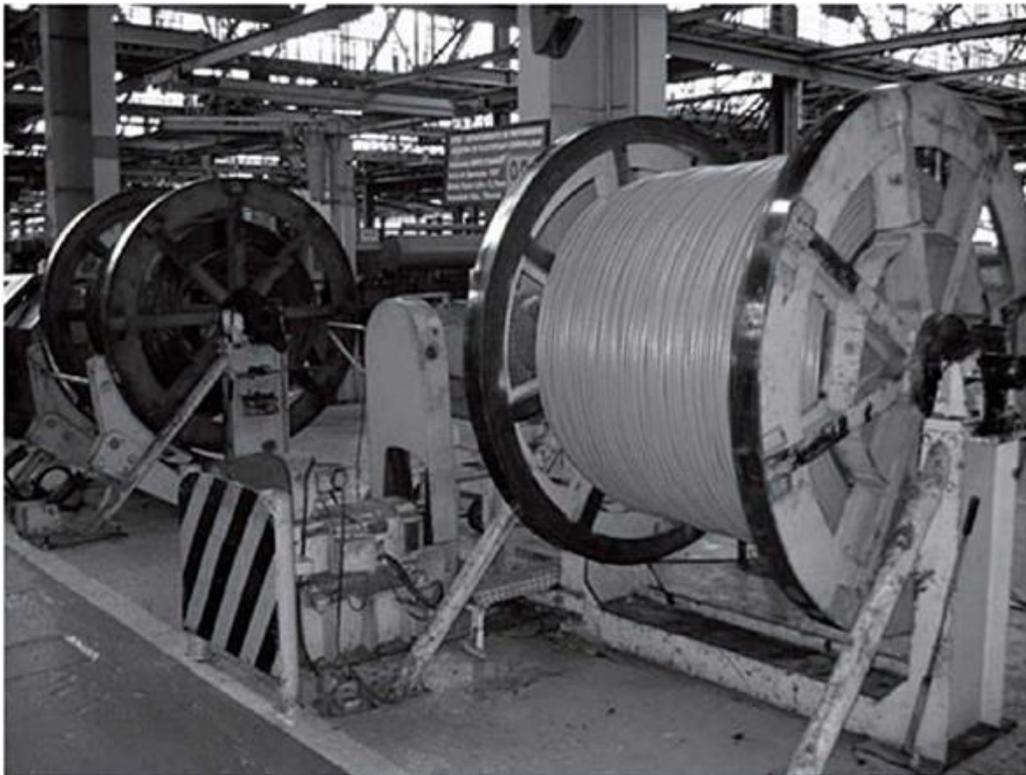
4.3.4 Pisos de Concreto Protendido

Dal-Maso (2008) afirma que, “Os pisos de concreto protendido como a tipologia que utiliza armadura tracionada por cabos através de macacos hidráulicos, sendo essa força transferida à placa de concreto por meio de ancoragens situadas nas extremidades”.

O uso de pisos protendidos se deu início por volta dos anos de 1940, na Europa e nos Estados Unidos. Já no Brasil essa tecnologia começou a ser praticada em 1970, na construção de pavimentos para pistas e hangares do Aeroporto Internacional do Galeão.

Este tipo de piso acabou por não ter um crescimento muito notório no mercado logo de imediato, mesmo tendo sucesso em casos anteriores. Em 1997, o uso de cordoalhas engraxadas e plastificadas impulsionou a utilização deste tipo de piso.

Figura 12: Cordoalha engraxada e plastificada:

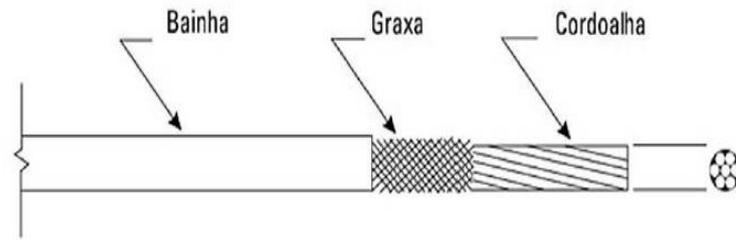


(Rodrigues, 2006)

A estrutura da cordoalha consiste em um conjunto de sete fios de arame previamente trefilados em um processo a frio, que possuem pouco relaxamento, grande resistência mecânica e resistência à tração em torno de 175 kgf/mm^2 .

Este conjunto de fios é todo revestido por uma camada de graxa, que permite os fios se movimentarem dentro da bainha, no ato de tensionamento dos fios, e os protege da corrosão. Por fim, se tem a última camada de polietileno de alta densidade (PEAD), chamada de bainha, com espessura mínima de 1 mm, com função de proteger todo o conjunto.

Figura 13: Cordoalha engraxada:

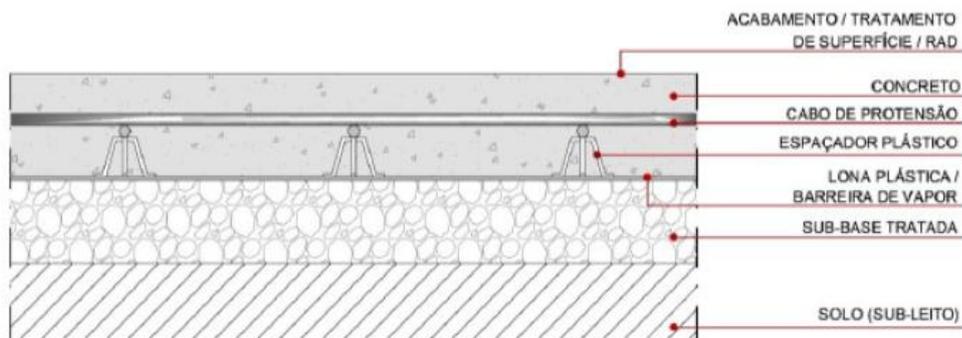


(Rodrigues, 2006)

“Considerando o fato de que a durabilidade da placa de concreto diminui com o aumento do número de juntas, os custos de manutenção podem ser reduzidos nos pisos protendidos, uma vez que a protensão é um meio eficiente de redução do número de juntas” (Chodounsky; Viecili, 2007).

Com essa redução no número de juntas o piso protendido acaba por correr menos riscos de ocorrência de patologias, garantindo durabilidade grande e uma manutenção mais barata do pavimento acabado, o que permite o tráfego de equipamentos móveis de forma mais fácil. Pavimentos com esta tecnologia construtiva podem chegar a ter placas com 100 metros comprimento.

Figura 14: Pavimento de concreto protendido:



(Carvalho, 2009)

Algumas vantagens deste tipo de piso são:

- Combate tensões de tração provenientes por esforços cortantes e flexões
- Número reduzido de fissuras, causando uma maior durabilidade
- Proporciona a criação de momentos fletores em sentido contrário ao das cargas, o que permite a placa vencer vãos maiores

Uma vantagem no uso deste piso é a relação custo/ganho de resistência. A resistência alcançada por pavimentos protendidos é bastante superior a resistência dos pavimentos com concreto armado ou reforçado com fibras e o aumento de preço para executá-lo não é tão impactante, dependendo do tipo de empreendimento.

Outro ponto importante é de que no pavimento de concreto protendido toda a seção trabalha efetivamente, isso faz com que se tenha uma economia de aproximadamente 20% no consumo de concreto, comparado a pisos de concreto armado, e de aproximadamente 60% no consumo de aço.

O processo de protensão deve ocorrer em duas etapas, a primeira delas horas após o início da concretagem do piso (por volta de 12 horas) onde se aplica nos cabos uma carga de 20 a 30 % da carga de tração total final que será imposta à placa, para combater a retração inicial da placa. A segunda etapa se dá quando o concreto atinge sua resistência mínima, depois de alguns dias (de 3 a 10) de sua concretagem, aplicando-se toda a carga de protensão, de acordo com o projeto, nos cabos previamente tracionados, para que ele possa resistir ao aumento de retrações, a variações térmicas e aos carregamentos que ele será solicitado.

Para certificar-se de que o processo de protensão está sendo efetivo se faz uma análise da força aplicada no cabo, que é indicada no manômetro do aparelho de protensão, e do alongamento do cabo, esses parâmetros devem estar de acordo com os previamente determinados no projeto.

Um controle organizado dos alongamentos de todos dos cabos para que haja uma posterior conferência com os alongamentos teóricos presentes no projeto, assim qualquer desconformidade pode ser identificada e sanada posteriormente.

[...] Mesmo nos pavimentos com elevada taxa de protensão, como nos casos de aeroportos, a força de compressão na placa imposta pela protensão é, na maioria das vezes, insuficiente para que a abertura da fissura seja completamente eliminada. Nos pisos industriais, para as taxas de aço normalmente empregadas, essa ocorrência é ainda mais improvável (Chodounsky; Viecili, 2007).

A proteção nos pisos de concreto acarreta em um altíssimo combate às fissuras, mas não consegue sanar esta patologia 100%. As fissuras podem ocorrer antes mesmo do processo de protensão começar a ser realizado, também não se pode dizer que este processo possa “fechar” fissuras já existentes.

4.4 Tipos de Cargas em Pisos Industriais

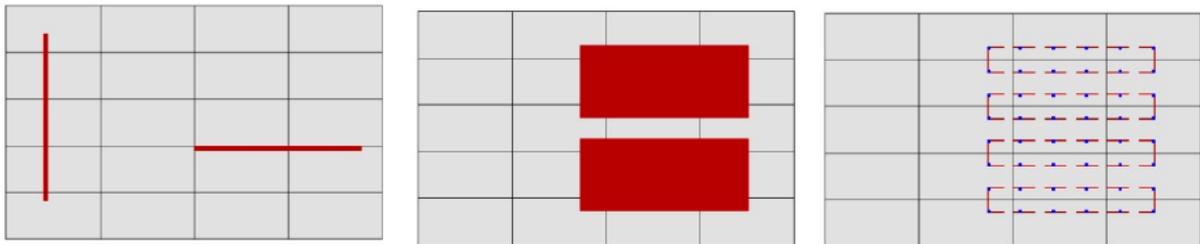
Um dos fatores que darão as características finais do piso de concreto acabado são as cargas que atuarão no mesmo, dependendo de qual será a natureza destes carregamentos o pavimento deverá ser projetado e executado de forma diferente.

Os carregamentos se dividem em estáticos e móveis. Os estáticos ainda se dividindo em distribuídos, lineares e concentrados, e os móveis, que são os equipamentos que irão circular no pavimento, sendo distinguidos um do outro pelo porte e tipo do aparelho que o gera.

4.4.1 Cargas Estáticas

Estas cargas são geralmente geradas por estantes de estocagem, maquinário industrial e quaisquer outros elementos que ficarão estocados e fixos no pavimento acabado. De acordo com a relação de distribuição dos esforços causados pelo carregamento estático e sua área de atuação podemos identificar se o mesmo é de natureza distribuída, linear ou concentrada.

Figura 15: Carregamentos estáticos: lineares, distribuídos e pontuais, respectivamente.



(Autor, 2017)

Tabela 4: Caracterização dos carregamentos estáticos.

Carregamentos Estáticos	Definição	Comportamento Estrutural	Exemplo
Cargas Lineares	Esforços concentrados em grande extensão	Aumento das tensões internas da placa causado por momento fletor	Alvenarias apoiadas sobre placas de concreto sem vigamento inferior
Cargas Distribuídas	Distribuição dos esforços em grandes áreas	Elevada solicitação de resistência mecânica do piso e necessidade de grande capacidade de suporte do sistema do piso no regime elástico	Estocagem de pallets/Depósito de grãos
Cargas Concentradas	Concentração dos esforços em pequenas áreas	Elevado esforço cortante, efeitos de puncionamento nas placas de concreto, superposição de esforços, evita-se a disposição dos apoios nas proximidades das bordas.	Base de estantes que apresentam apoio com área reduzida

Fonte: Cristelli, 2010

4.4.1.1 Cargas Estáticas Distribuídas

A carga estacionaria distribuída é gerada por um grande volume de mercadorias apoiado diretamente no piso, como estoque em pallets, bobinas de papel (em pé), materiais a granel (grãos, madeiras, entre outros). Esse carregamento se distribui em grandes áreas com uma intensidade limite de aproximadamente 20 tf/m^2 e uma altura de empilhamento que não costuma a chegar mais que 9 metros.

Como resultado desse carregamento tem-se o surgimento de grandes momentos negativos nas bordas das placas ou nos corredores livres, o que pode gerar fissuras na placa. Nesses corredores pode-se ter uma redução do momento na medida em que o tráfego das empilhadeiras neutraliza parte do momento negativo (OLIVEIRA, 2000).

Segundo Chodounsky e Viecili (2007), “Um carregamento distribuído sobre toda a superfície do piso não gera, na verdade, esforços de tração na flexão (e momento fletor) na placa de concreto. Contudo, um carregamento uniformemente distribuído sobre toda a placa é raro e pouco provável que exista”.

A distribuição desta carga no piso corriqueiramente ocorre da seguinte forma: grandes áreas de carregamento distribuído intercaladas por áreas, um pouco menores, descarregadas. Estas áreas descarregadas são usadas como corredores de acesso para as maquinas que realizam o manuseio dos materiais estocados que causam o carregamento no pavimento.

Figura 16: Mercadorias empilhadas carregadas em pallets



(Wikipedia, 2017)

Com esse tipo de carregamento, a situação mais crítica (momento fletor máximo) tem sua ocorrência no topo da placa (fibra superior), no ponto central da área não carregada. No cálculo para se dimensionar a espessura do piso leva-se em consideração este momento fletor crítico e a resistência à tração na flexão do concreto ou o uso de armadura na parte superior da placa de concreto.

No caso de haver a presença de armadura positiva, a mesma não apenas terá a função de combater a retração superficial, como muitos acreditam ser sua única utilidade, mas também terá um papel estrutural, combatendo este momento fletor superficial produzido pelo carregamento distribuído.

As fissuras causadas por este carregamento devem ter uma atenção maior pois as mesmas ocorrem no meio dos corredores de acesso (área do piso sem carregamento), onde ficam expostas à influência do tráfego das máquinas. Este tráfego pode agravar rapidamente a situação dessas fissuras, fazendo que sua abertura fique maior, e ajudando na rápida progressão do esborcinamento.

O lay-out do carregamento também influencia no cálculo da espessura da placa de concreto. Faz-se uma análise para se identificar qual distribuição do carregamento causará o momento fletor crítico mais desfavorável e se faz o cálculo com este esforço. Opta-se por esse método por conta do lay-out do carregamento ter mudanças constantes ao longo do tempo, então o piso é preparado para a pior situação, mesmo que está nem venha a acontecer.

4.4.1.2 Cargas Estáticas Lineares

As cargas lineares, que também podem ser caracterizadas com concentradas por possuírem uma pequena largura em sua área de concreto, constituem um caso especial por conta de sua relação comprimento/largura de área carregada ser muito alta.

Esse é o efeito típico que uma parede apoiada diretamente sobre o piso sem o apoio de vigas causa no pavimento. Poderia ser considerada uma carga concentrada se não fosse uma dimensão do carregamento muito maior que a outra (OLIVEIRA, 2000).

São exemplos de cargas lineares bobinas (de papel ou aço), apoiadas sobre sua geratriz, alvenarias construídas sobre o piso e estoque de barras de aço apoiadas sobre trilhos ou barrotes de madeira.

Semelhante ao método de dimensionamento usado para cargas distribuídas e concentradas, para esse tipo de carga também se leva em consideração a intensidade da carga e

a largura da linha de contato da carga com o piso. Além de depender das características do concreto usado e da condição de suporte da fundação.

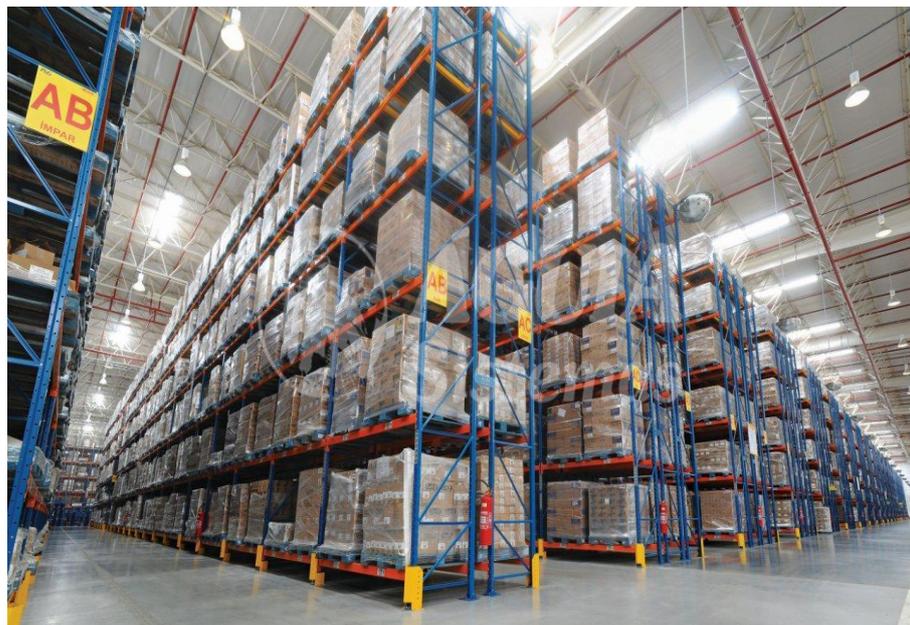
Chodounsky e Viecili (2007) dizem que:

Para a carga posicionada no centro da placa, a tensão máxima de tração ocorre diretamente sob a linha de aplicação da força por unidade de comprimento, na face inferior da placa. Quando posicionada perto de uma das bordas, a carga linear gera uma tensão máxima na face superior da placa, a uma distância próxima ao raio de rigidez relativa.

4.4.1.3 Cargas Estáticas Concentradas

Já as cargas concentradas se caracterizam por terem a relação intensidade de carga e área de contato com o piso ser bastante elevada, por esta área ter pequenas dimensões. As mercadorias acabam por serem estocadas em prateleiras ou racks.

Figura 17: Estrutura porta-pallets com elevada altura de estocagem



(Site Aguiá Sistemas de Armazenagem, 2015)

Com este tipo de carregamento, os esforços críticos têm sua ocorrência na parte inferior da placa de concreto. Dessa forma o pavimento deve ser dimensionado de acordo com dois cenários, um com o concreto resistindo a todos os esforços, considerando a seção não fissurada, e outro com a presença de uma armadura ou fibras de aço na parte inferior da placa tendo a função de resistir aos esforços solicitantes.

Neste caso de carregamento surge outro fator que influencia na magnitude do esforço mais solicitante e no cálculo da espessura e armação do pavimento (além da carga no apoio e suas dimensões), que são as distâncias (nas duas direções) entre os apoios.

Nos sistemas mais comuns de porta-pallets, os apoios possuem uma proximidade muito grande um do outro, causando uma sobreposição de efeitos. Esta sobreposição deve ser analisada atentamente pois pode gerar uma carga equivalente aproximadamente 100% maior do que a carga simples no apoio.

Segundo Oliveira (2000), “[...] esse tipo de carregamento gera momentos máximos positivos na placa de concreto. Quando os montantes são posicionados de maneira consecutiva há uma sobreposição de esforços que podem levar a efeitos de carregamentos 100% maiores. Uma boa solução para carregamentos concentrados elevados é a utilização de armaduras na parte inferior ou a adoção de uma espessura maior da placa.”

Para pisos de depósitos, costuma-se colocar uma base (geralmente em chapa metálica) maior nos apoios, afim de uma redução na carga resultante em cada um dos mesmos e uma melhor redistribuição dos esforços ocasionados pelo carregamento para o pavimento. Para essa redução de carga ocorrer a placa necessita ter uma rigidez suficiente para que haja essa distribuição maior.

Para um sistema de armazenagem auto-portante (que também se caracteriza como carga concentrada), onde a cobertura e a vedação lateral do edifício se apoiam na estrutura porta-pallets. Outros parâmetros devem ser levados em consideração para a determinação das características do pavimento.

Neste caso se necessita uma boa análise do subleito, para avaliar a estabilidade do solo com relação a recalques, e um piso mais criterioso quanto a rigidez final necessária e a quantidade de ferro usada na armadura, por conta de a estrutura porta-pallets ter uma função de contraventamento na estrutura do edifício, o que acaba por ocasionar esforços de tração nos apoios da estrutura porta-pallets.

Já em áreas onde o piso será solicitado por cargas concentradas ocasionadas por apoios de equipamento (áreas de produção), também se atenta para os esforços provenientes da vibração e impactos produzidos pelos mesmos quando se vai dimensionar a espessura do pavimento acabado.

4.4.2 Cargas Móveis

Estas cargas comumente atuam no pavimento acabado por um curto período de tempo e com uma frequência alta. São causadas geralmente por tráfego de máquinas ou equipamentos, sendo estudadas com foco na fadiga do piso de concreto.

Neste tipo de carregamento o tráfego de máquinas e de suas características (espaçamento entre eixos, rigidez do material das rodas e tipo de rolamentos) têm seu fator de

importância na determinação das características do piso final. Também podem ser consideradas como cargas concentradas.

Quando estas cargas atuam no piso, o projetista deve atentar ao posicionamento das juntas de construção, para que as mesmas fiquem o mínimo possível na zona de tráfego, afim de evitar patologias, como a de esborcinamento, e impactos prejudiciais nas bordas da placa de concret. A influência destes carregamentos no pavimento de concreto difere de acordo com o tipo de máquina.

As empilhadeiras enquadram-se dentro de cargas concertadas, visto que sua carga é transferida ao piso através de apoios discretos representados pelas rodas, cuja área de contato com o piso pode ser bastante reduzida (Chodounsky; Viecili, 2007).

Figura 18: Empilhadeiras de rodas pneumáticas



(Empton, 2015)

Para o cálculo das dimensões do piso o projetista analisa a carga do eixo mais solicitado pelo carregamento, a distância entre rodas e sua quantidade neste eixo e a área de contato das rodas com o pavimento (que é definida pela pressão de enchimento dos pneus).

A carga no eixo mais solicitado é definida para cada tipo de empilhadeira, sendo apresentada no catálogo com as características da máquina. Já a área de contato é mais difícil de se chegar a um número preciso, pois a mesma depende de qual pressão os pneus estão calibrados e esta pressão acaba variando com o tempo, fazendo com que esta área seja apenas estimada.

Para empilhadeiras pneumáticas, a área de contato poderá ser identificada através da relação entre carga na roda e a pressão de enchimento dos pneus, sendo a área do pneu diretamente proporcional à carga e inversamente proporcional à pressão de enchimento.

A pressão de enchimento fica estimada em 2,5 Mpa para empilhadeiras com pneus de borracha maciça e entre 0,7 e 0,84 Mpa para pneus infalíveis. Para as empilhadeiras de rodagem maciça, temos a pressão de contato, variando entre 4,5 a 6 Mpa nas empilhadeiras comuns e podendo chegar a 15 Mpa em alguns tipos especiais (tri-lateral ou AGV).

A carga máxima no eixo mais solicitado de uma empilhadeira geralmente varia de 4000 kg a 30000 kg, podendo chegar a 120000 kg quando esta maneja contêineres.

Quando não se encontra essa carga crítica exemplificada nas especificações do fabricante considera-se a que ela seja 95% da carga proveniente da situação de içamento mais desfavorável (carga içada na altura máxima do equipamento) no eixo dianteiro (eixo mais solicitado), sendo está o somatório do peso próprio da empilhadeira e da carga no içamento.

Para pisos onde a presença de empilhadeiras é constante também se deve levar em consideração sua planicidade e nivelamento final, que deveram ser de acordo com a altura máxima de içamento do equipamento. Estes parâmetros devem ser mais elevados quando se tem uso de empilhadeiras especiais, que apresentam maior precisão, velocidade e alcance.

Tabela 5: Índices de planicidade e nivelamento em função da altura de içamento de carga:

Altura de içamento	Índices de planicidade	Nivelamento
$\leq 5,5$ m	20	15
5,5 – 8,0 m	≥ 30	≥ 20
$\geq 8,0$ m	≥ 50	≥ 30

Fonte: Chodounsky e Vicili, 2007

Outro equipamento que gera cargas móveis que influenciam de forma específica no piso são as transpaleteiras, estas transportam menos carga que as empilhadeiras tendo cargas que não ultrapassam 2000 kg.

As transpaleteiras constituem os equipamentos mais simples de transporte de mercadorias e são largamente utilizadas em praticamente todas as instalações industriais, seja para transporte de matéria-prima para alimentação da produção, seja para movimentação do produto acabado para as áreas de estoque ou de carregamento (Chodounsky; Vicili, 2007).

Figura 19: Transpaleteiras manuais TX 25



(Still, 2017)

Mesmo não tendo uma carga com uma magnitude que prejudique a estrutura do pavimento, a ação dos esforços produzidos pelas peleteiras é bem agressiva quanto as juntas do piso, por conta de suas rodas terem uma elevada dureza e as dimensões das de suas rodas serem bem menores.

Essa alta rigidez das rodas e pequenas dimensões acarretam em uma elevada pressão incidente na placa de concreto, rodas feitas de poliuretano podem realizar a incidência de pressões de contato de aproximadamente 9 Mpa.

Equipamentos com rodas metálicas tendem a submeter o piso à uma intensa abrasão na sua superfície e a um efeito prejudicial de suas rodas nas juntas do mesmo. Estes problemas não sanados com o aumento ou diminuição da espessura da placa de concreto, e sim por um conhecimento prévio do material das rodas e um lay-out de juntas do piso que proporcione a mínima incidência de tráfego sobre as mesmas.

Mais um equipamento que causa cargas móveis no piso que influenciam em sua estrutura são as carretas. O comportamento das cargas produzidas por este tipo de máquina se assemelha ao das produzidas por empilhadeiras, mas tem sua diferença na pressão de enchimento dos pneus, que nas carretas tem um valor bem superior.

As cargas provenientes deste equipamento têm sua influência no dimensionamento do piso mais atenciosamente analisada por conta de alcançar elevadíssimos pesos e ter um grande número de solicitações.

Figura 20: Carreta transportadora



(Scania, 2016)

“O peso bruto total pode chegar próximo de 50 tf, para veículos tipo semi-reboque. Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são definidos pelo Contran (Conselho Nacional de Trânsito)” (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.5 Subleito

Pisos instruais em concreto possuem como camada de fundação a camada de subleito, que assume a função de absorver os carregamentos transmitidos pela placa de concreto e sub-base.

“Atualmente, com a utilização de sistemas de pavimentos mais delgados o subleito é bastante solicitado, devendo apresentar resistência adequada para receber tais carregamentos” (Rodrigues, 2006).

Choudounsky e Viecili (2007) afirmam que:

O conhecimento mesmo que básico de solos fornece subsídios para seleção dos ensaios (de laboratório e de campo) necessários para caracterização do material, pode servir de guia para identificação de problemas potenciais, além de proporcionar ao projetista condições de efetuar estimativas mais precisas do comportamento do solo, o que reflete em maior segurança na busca de soluções otimizadas e grande durabilidade.

No dimensionamento da espessura da placa de concreto do pavimento, leva-se em consideração a capacidade de suporte, módulo de reação (k), do solo que constitui o subleito utilizado como sua fundação. Este módulo de reação pode ser encontrado através de ensaios de placa ou por correlações obtidas por análises do índice de suporte Califórnia (CBR) do solo, mas este parâmetro apenas indica a qualidade de sua camada superficial.

Um conhecimento mais sucinto do comportamento subleito é necessário para o alcance de um satisfatório desempenho do pavimento, para isso se faz um estudo sobre as características intrínsecas do solo, como granulometria, textura, forma dos grãos, composição, mineralógica e índices de consistência, e sua relação com umidade, compactação, entre outros.

A estabilidade dimensional do subleito também é um parâmetro importante pois está relacionada a problemas que influenciam na vida útil do piso, como variação de volume (índice de vazios diferentes no decorrer da área de influência do pavimento) ocasionados pela presença de solos colapsáveis, expansivos ou compressíveis.

4.5.1 Natureza dos Solos

O solo pode ser visto com um sistema constituído de partículas sólidas, ar e água, tendo as relações entre seus componentes (porosidade, teor de umidade, grau de saturação, etc.) identificando seu estado.

“Todos os solos se originam da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos, químicos ou biológicos (hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, carbonatação, etc)” (Pinto, 2002).

Os principais parâmetros analisados para a caracterização do comportamento do solo são: granulometria, composição mineralógica e limites de Atterberg.

A granulometria, em geral, é encontrada através de duas etapas, o peneiramento, para a parte mais grossa da amostra de material, e a sedimentação (Lei de Stokes), para se caracterizar a porção mais fina. Este processo visa identificar quais as dimensões características das partículas que constituem o solo em questão.

Um solo “bem graduado” (ou que possui distribuição granulométrica contínua) é composto de partículas em quantidades tais de cada tamanho que os vazios formados pelas maiores são preenchidos pelas partículas menores, sucessivamente, acarretando em grande entrosamento entre os grãos, o que confere maior densidade e resistência e menor compressibilidade (Choudounsky; Vecili, 2007).

Conhecer o formato das partículas do solo ajuda a determinar como o mesmo irá se comportar quando solicitado por esforços mecânicos, pois possibilita saber como eles se encaixarão e deslizarão durante a incidência de forças externas no solo.

Já a composição mineralógica dos grãos tem sua área de influência nas propriedades das poções mais finas do solo. Para a mesma porcentagem de fração de argila, o solo pode ter um comportamento muito diferente, dependendo das características dos minerais presentes.

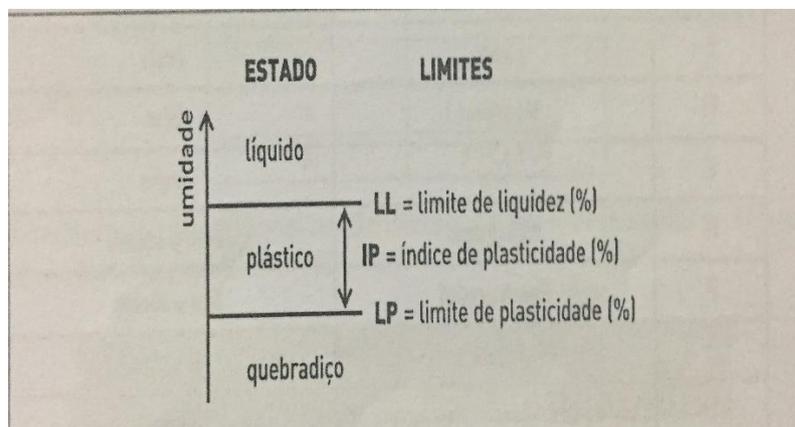
O comportamento dos solos finos, em geral designados por solos argilosos, é comandado pela presença de água. Enquanto que nos solos arenosos a arrumação das partículas, logo o índice de vazios, é independentemente do teor de umidade do solo, nos solos argilosos o teor de água que determina a disposição das partículas, interferindo no índice de vazios e na consistência. Desta forma, verifica-se que para solos com características argilosas, seu comportamento mecânico é dependente de parâmetros que exprimam a relação do solo com a água (limites de consistência ou limites de Atterberg) (Fernandes, 1997).

Para se identificar o comportamento dos solos constituídos por uma mineralogia fina (argila), deve-se analisar o efeito da água no mesmo. Está análise é feita levando em consideração os Limites de Atterberg, que são: limite de liquidez, índice de plasticidade e limite de plasticidade. Segundo Choudounsky e Viecili, (2007), “Os limites de consistência, criados por Atterberg e padronizados por Casagrande, se baseiam na constatação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos forme seu teor de umidade”.

O teor de umidade (porcentagem da massa de água presente no solo) é quem identifica o comportamento deste tipo de solo. Quando muito úmido, o solo apresenta características líquidas, ou ter sua quantidade de água reduzida, passando a apresentar um comportamento plástico, ou ainda perder quase que totalmente toda sua água, tornando-se quebradiço.

Os teores de umidade que limitam essas mudanças de característica no comportamento do solo argiloso caracterizam os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP). A diferença entres esses limites caracteriza o intervalo de porcentagem presente de água no solo em que o mesmo apresenta um comportamento plástico, índice de plasticidade (IP).

Figura 21: Limites de Atterberg



(Choudounsky; Viecili, 2007)

Solos com um maior índice de liquidez tendem a serem mais compressíveis, e assim, mais sucessíveis a recalque.

4.5.2 Classificação dos solos

“O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento do solo, ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema” (Hachich et al., 1996).

Os métodos classificatórios dos solos diferem uns dos outros de acordo com as características de seus argilo-minerais (Limites de Atterberg, comportamento do solo na água) e tamanho de seus grãos (granulometria).

Como um sistema de classificação de solos bastante usado podemos citar o Sistema Unificado de Classificação (Unified Soil Classification -USC). Neste sistema a identificação dos solos é realizada pelas iniciais de suas traduções em inglês, por exemplo, GP corresponde a pedregulho mal graduado, que tem sua tradução em inglês gravel poorly graded.

Tabela 6: Símbolos - Sistema Unificado de Classificação

Símbolo	Significado (em inglês)	Significado (em português)
G	Garvel	Pedregulho
S	Sand	Areia
M	Mo (sueco)	Silte
C	Clay	Argila
W	Well graded	Bem graduado
P	Poorly graded	Mal graduado
O	Organic	Orgânico
L	Low liquid limit (low compressibility)	Baixa compressibilidade
H	High liquid limit (high compressibility)	Alta compressibilidade
Pt	Peat	Turfa

Fonte: Chodounsky e Viecili, 2007

Este método classifica os solos em 3 grupos, os de graduação grossa, fina e os altamente orgânicos. Os de graduação grossa apresentam menos de 50 % de seus grãos não conseguindo passar na peneira # 200 (malhas com 0,075 mm de espaçamento) e os de fina têm mais de 50 % de seus grãos passando por essa peneira. Já os altamente orgânicos, apresentam fibras vegetais em decomposição em sua composição.

Tabela 7: Classificação geral dos solos segundo o USC

Classificação Geral	Material	Símbolo
Solos de graduação grossa ($< 50\%$ passando na peneira # 200)	Pedregulhos ou solos pedregulhosos	GW, GP, GM e GC
	Areias ou solos arenosos	SW, SP, SM e SC
Solos de graduação fina ($> 50\%$ passando na peneira # 200)	Siltos ou argilas	Baixa compressibilidade ($LL < 50\%$) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade ($LL > 50\%$) MH, CH e OH
Solos altamente orgânicos	Turfas	Pt

Fonte: Choudounsky e Vecili, 2007

Outro sistema é o do Highway Research Board (HRB ou AASHO Classification), este se assemelha com o USC na caracterização do solo através de ensaios que indicam o limite de liquidez e índice de plasticidade do solo e do ensaio de granulometria.

O HBR diferencia os solos também pela quantidade de seus grãos que passam na peneira # 200. Chamando de solos granulares os que tem menos de 35 % de seu material passando pela peneira # 200 e de solos siltosos e argilosos os que mais de 35 % de seu material consegue passar nesta peneira.

O valor divisório (35 % passando na peneira # 200) que distingue os materiais granulares dos solos siltosos e argilosos, adotado neste sistema, parece ser mais apropriado que o valor proposto no sistema USC, pois um solo com 40 % de finos tem um comportamento característico dos solos finos e não dos granulares (Hachich et al., 1996).

Esse sistema ainda subdivide os solos granulares de acordo com o tamanho do diâmetro de seus grãos: pedregulhos (grãos entre 76 mm e 2 mm, peneira # 10), areia média e grossa (grãos entre 2 mm, peneira # 10, e 0,42 mm, peneira # 40) e areia fina (grãos entre 0,42 mm, peneira # 40, e 0,075 mm, peneira # 200).

Tabela 8: Classificação de solos: Highway Research Board (HRB) adotada pela AASHTO

Classificação geral	Materiais granulares (p) 35 % ou menos passando na peneira # 200							Materiais siltosos e argilosos (p) mais de 35 % passando na # 200			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupo	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5
% que passa											
#10	50 máx										
# 40	30 máx	50 máx	51 máx								
# 200	15 máx	25 máx	10 máx	35máx	35máx	35máx	35máx	36 min	36 min	36 min	36 min
LL				40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min	40 máx	41 min
IP	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 min	11 min	10 máx	10 máx	11 min	11 min
IG	0		0	0		4 máx		8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento do subleito	Excelente a bom							Fraco ou pobre			
$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d$ $a = \% \text{ passante na } \# 200 - 35 \%, \text{ com } 0 < a < 40$ $b = \% \text{ passante na } \# 200 - 15 \%, \text{ com } 0 < b < 40$ $c = LL - 40, \text{ com } 40 < LL < 60$ $d = IP - 10, \text{ com } 10 < IP < 30$											

Fonte: Choudounsky e Viecili, 2007

4.5.3 Compactação dos solos

Este processo visa a diminuição de vazios no solo, fazendo com que sua resistência e densidade aumentem, ocasionando uma maior impermeabilização e reduzindo deformações no solo. Consiste em imprimir ao solo uma energia de compactação para que este obtenha a resistência necessária para suprir a função de fundação do pavimento.

[...] seja na execução de camadas de pavimentos ou pisos, aterros, barragens ou outros maciços de terra, a obtenção de maior densidade do solo está intimamente ligada à segurança e estabilidade [...] (Senço, 1997).

O ganho de densidade é obtido com a expulsão do ar do solo (redução do volume de fase gasosa, sem se perder uma considerável quantidade de água. Com essa diminuição de ar não afetando o teor de umidade, a compactação também acaba por aumentar o grau de saturação do solo.

O estado do solo compactado é representado pelo seu peso específico seco, por se manter quase que constante com a variação do teor de umidade e ser de fácil determinação. Através de estudos, se concluiu que o peso específico seco, obtido exercendo uma determinada energia de compactação no solo, é uma função de seu teor de umidade.

O teor de umidade em que o solo se encontra quando lhe é aplicada uma determinada energia de compactação e se acaba por atingir o peso específico seco máximo deste solo é chamada de umidade ótima.

Ralph R. Proctor é um nome importante nesses estudos, a partir de seus trabalhos criou-se o ensaio de Proctor, que consiste em compactar (com número de camadas e soquete com dimensões, peso e altura padronizados) o solo com porcentagens crescentes de umidade num molde cilíndrico de dimensões específicas, medindo-se a massa específica aparente que juntamente com a umidade, permite calcular o peso seco específico.

Com esse ensaio traça-se o gráfico densidade (peso específico seco) x umidade, podendo então encontrar a densidade máxima que faz par com a umidade ótima. Tendo este gráfico seu ramo da esquerda sendo seco e o da direita úmido.

A curva de compactação dos solos argilosos apresenta uma pequena inclinação, quanto que, nos solos siltosos e granulares a inclinação da curva é bastante acentuada, o que gera a necessidade de um controle muito mais rigoroso da umidade durante a compactação no campo destes dois tipos de solos (Yoder, 1959).

Solos com característica grossa costumam ter uma umidade ótima menor do que solos finos, o que acarreta na obtenção de altos valores em suas densidades. Estes solos finos (siltosos) possuem uma compactação mais difícil.

Para isso deve se usar em sua compactação rolos compactadores vibratórios, do tipo pé-de-carneiro, que compactam o solo de baixo para cima. Para materiais granulares, a compactação deve ser realizada com rolos compactadores vibratórios do tipo liso.

O processo de compactação, em obras de pavimentos de concreto, se dá com passadas do equipamento compactador sobre o subleito, de 6 a 10 vezes, a cada camada de 15 a 25 cm de material. Este número de passadas varia dependendo com o peso do equipamento, equipamentos com peso elevado atingem a compactação desejada com menos passadas.

4.5.4 Ensaio de caracterização do solo

Após a identificação do tipo, intensidade e incidência da carga que será imprimida ao pavimento deve-se determinar o quanto o subleito poderá resistir dessa carga, para assim poder dimensionar a espessura da placa de concreto e das possíveis camadas de sub-base e

reforço. Ensaios e investigações geotécnicas são realizados no subleito para se obter estas informações.

Por falta de ensaios prévios no subleito, o projetista acaba estimando o seu comportamento e assim dimensionando o pavimento. Neste caso ocorre, na fase de execução do pavimento, uma comprovação, ou não, por meio de ensaios, de que a estimativa do projetista se aproxima da realidade do subleito.

Mas o mais indicado ainda é a realização antecipada dos ensaios caracterizantes do solo onde será a fundação do pavimento.

[...] custos de recuperação de pisos com problemas de desempenho decorrentes de deficiências do subleito são normalmente são muito elevados, exigindo em boa parte dos casos a reconstrução parcial ou total do piso. [...] (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.5.4.1 Sondagem de simples reconhecimento à percussão (SPT)

Este ensaio, normalizado pela NBR 6484, é bastante comum e simples, permite uma visão ampla sobre o subleito, através da retirada de amostras do mesmo. Quando este é realizado simultaneamente com o ensaio de penetração dinâmica, consegue identificar a resistência do solo ao longo da profundidade.

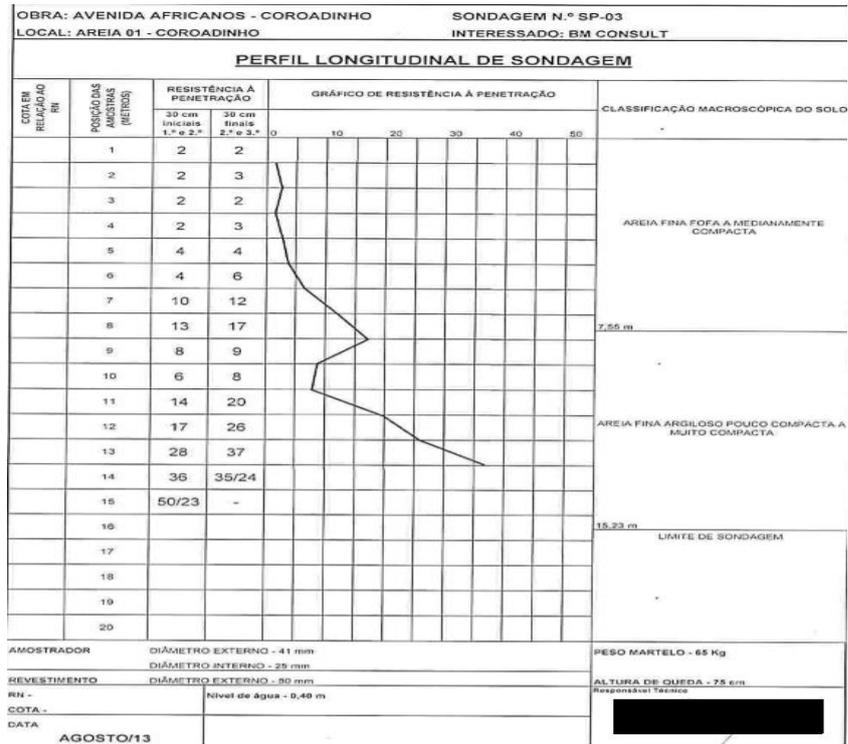
O ensaio SPT consiste basicamente na cravação de um amostrador padrão no solo, através da queda livre de um martelo de peso padronizado (65 kg), que é solto de uma altura determinada (75 cm). O número de golpes dados para cravação de cada segmento de 15 cm, do total de 45 cm, é registrado. A resistência do solo (NSPT) é definida pela soma do número de golpes necessário para cravação dos últimos 30 cm do amostrador, após os 15 cm iniciais. Realiza-se a abertura do furo até a próxima cota de ensaio (1 metro abaixo), com auxílio de trado (avanço a trado) ou por meio de circulação de água sob pressão (perfuração por lavagem) (Choudounsky; Viecili, 2007).

O ensaio de sondagem simples visa identificar: o tipo e as características do solo que compõe o subleito, sua resistência (NSPT), estimada a partir da resistência da cravação do amostrador oferecida pelo solo e a identificação e o posicionamento de um possível nível de água.

Os resultados deste ensaio são exemplificados com perfis do solo, um para cada furo, onde é mostrado as descrições encontradas do mesmo para cada nível de cota escolhida em sua realização.

Para se avaliar bem o subleito, deve-se atentar bem aos seguintes quesitos: determinar o número de furos necessários, distribuí-los de forma uniforme por toda a área do subleito e marcação da cota do ponto de partida da sondagem em relação a um nível de referência externo (permitindo o traçado preciso de seções do subleito).

Figura 22: Exemplo de Perfil de Sondagem SPT



(Vital Construção, 2013)

4.5.4.2 Prova de carga (ensaio de placa)

A quantidade de carga que um subleito de fundação resiste, sua capacidade de carga, é identificada através de seu módulo de reação (k). Este módulo é muito importante pois influencia bastante no dimensionamento da placa de concreto do pavimento.

Nas hipóteses adotadas por Westergaard, o sistema de apoio da fundação é assimilado como um conjunto de molas elásticas, onde as deformações verticais (deflexões) são proporcionais à pressão aplicada (lei de Hooke), cuja constante de proporcionalidade (k) representa a rigidez do conjunto de molas (fundação) (Choudounsky; Viecili, 2007).

Este módulo de reação pode ser definido como o resultado da divisão de uma determinada pressão, que provoca uma deflexão unitária no subleito, por esta deflexão unitária sendo medido nas unidades de Mpa/m ou em Kgf/cm²/cm.

Realizando provas de cargas estáticas (ensaios de carregamento de placa) se consegue determinar o módulo de reação do subleito. Segundo Souza & Thomaz (1986), para uma boa aproximação com a teoria de Westergaard, o módulo de reação deve ser determinado

com auxílio de placas de 76 cm ou mais de diâmetro, tomando-se como referência a deflexão unitária de 0,127 cm.

Embora o valor do módulo de reação não reflita os efeitos da presença de camadas compressíveis em profundidades maiores no subsolo (possibilidade de recalques por adensamento), é correto o emprego do valor de k no dimensionamento do pavimento para cargas concentradas (estáticas ou dinâmicas), pois para as espessuras de placa usualmente obtidas, a pressão sobre o subleito não é significativa. Entretanto, nas situações de cargas distribuídas elevadas sobre o piso, deverão ser avaliados também a pressão admissível do solo (segurança à ruptura) e os recalques previstos (estimados com base na teoria do adensamento) (PCA, 2001).

Para se executar este ensaio necessita-se de sistemas de reações, normalmente composto por caminhões que produzam reação entre 8 a 10 tf, uma placa de prova de carga circular, com diâmetro de 79,9 cm assentadas sobre colchão de areia e são submetidas a um carregamento prévio para acomodamento.

Utiliza-se macacos hidráulicos com manômetros, de 10 a 20 tf de capacidade, para imprimir o carregamento às placas. Carregamento este que é realizado em etapas, com um aumento gradual de carga de 15 a 20 % da carga da etapa anterior até se atingir a carga de 1,50 a 1,80 kgf/cm².

Com o auxílio de defletômetros (no mínimo 3 e com precisão de 0,01 mm), mede-se as deflexões causadas pelo carregamento. Monta-se pares de deflexões com a intensidade da carga que as causou para elaboração da curva de pressão x deformação, de onde obtém-se o módulo de reação, que será a pressão que leva a uma deformação de 0,127 cm.

4.5.4.3 Índice de suporte Califórnia (ISC)

Este índice também retrata a resistência do subleito, também nomeado por sua tradução para o inglês, Califórnia Bearing Ratio (CBR).

É o ensaio no qual é medida a resistência do solo ao cisalhamento por penetração de um cilindro-padrão. O mesmo procedimento é realizado em suporte de brita graduada de boa qualidade. Os resultados são comparados, gerando taxas percentuais de resistência que ainda podem ser confortadas com o coeficiente de recalque (K) (Rodrigues et al., 2006).

Neste ensaio é medida a pressão necessária para que um pistão cilíndrico padrão, de 50 mm de diâmetro, possa penetrar em uma amostra do subleito uma profundidade de 2,5 mm ou 5 mm. Esta amostra deve estar contida em um corpo de prova com dimensões de 0,15 cm de diâmetro e 0,17 cm de altura.

Este corpo de prova ficará imerso em água durante 4 dias, onde ocorrerá uma expansão na amostra de 0,1%. Após este processo se inicia a penetração do pistão e se identifica a pressão no pistão quando este atinge a profundidade de penetração padrão.

O valor do CBR é calculado pela divisão da pressão encontrada pela pressão de penetração padrão (70, 31 kgf/cm², pressão para penetração de 2,5 mm em uma amostra de pedra britada, material padrão), multiplicado por 100 para se obter um valor final em porcentagem.

Tabela 9: Tipos de solo e suas capacidades de suporte

Tipo de solo	Resistência	CBR (%)	k (Mpa/m)
Siltes e argilas de alta compressibilidade (LL > 50) e densidade natural	Baixa	< 2	13,6
Siltes e argilas de alta compressibilidade compactados	Média	3	27,1
Siltes e argilas de baixa compressibilidade (LL <50)			
Siltes e argilas arenosas			
Areias mal graduadas	Alta	10	54,0
Solos granulares			
Areias bem graduadas			
Misturas de areias e pedregulhos isentas de finos plásticos			

Fonte: Choudounsky e Viecili, 2007

4.6 Sub-base

As sub-bases, geralmente constituídas de solo natural, são camadas que compõem o pavimento quando se encontram condições de instabilidade e heterogeneidade do subleito, ela vem com a função de sanar essas imperfeições presentes na camada de fundação do pavimento.

É o elemento estrutural intermediário entre placas e subleito, com grande responsabilidade perante o bom desempenho do piso. Uma sub-base adequada é um investimento necessário e requer a devida atenção (Rodrigues et al., 2006).

Devem ser sempre empregadas, podendo ser dispensadas somente nos casos de pisos de carregamentos baixos e onde o subleito comprovadamente apresente suporte homogêneo e elevado, granulometria isenta de finos plásticos e clima predominantemente seco (Choudounsky; Viecili, 2007).

A sub-base também funciona como uma barreira que impede o bombeamento de solos finos plásticos, da superfície para o subleito, pelas juntas, fissuras e bordas das placas de concreto, quando se tem a incidência de grandes carregamentos e presença de água no subleito.

Esse bombeamento é conhecido como pumping, quando ocorre acarreta em uma diminuição da área de contato do concreto com o subleito, ocasionando em tensões de flexão não previstas nas placas e, conseqüentemente, podendo levar ao rompimento da mesma.

Quando se tem um subleito composto com solo expansivo a sub-base age evitando uma expansão ou retração hidráulica excessiva do mesmo, que poderiam criar condições de suporte não uniformes no subleito, levando a deformações em seu regime plástico que podem comprometer parcial ou totalmente a utilização do pavimento.

A sub-base atua também ajuda a distribuir as tenções provenientes do carregamento em uma área maior de suporte, uniformizando o comportamento mecânico da fundação do pavimento, o subleito, fazendo com que a mesma apresente um suporte homogêneo.

Sob ação de cargas concentradas, tais como os apoios de porta-pallets ou rodas de empilhadeiras ou carretas, a presença da sub-base modifica o comportamento elástico da fundação e, portanto tem influência nas tenções induzidas da placa de concreto, e particularmente, na redução das deformações nas juntas e bordas do piso (CSTR 34, 1994).

4.6.1 Tipos de sub-base

Existem dois grandes grupos de classificação dos diferentes tipos de sub-base para pavimentos industriais de concreto, que são as sub-base granulares e sub-bases tratadas (podendo ser com cimento ou outro aditivo).

As sub-bases granulares são constituídas de materiais naturais ou artificiais, tendo sua estabilização sendo feita de forma mecânica apenas, devendo atender a certas faixas granulométricas. Estas se subdividem ainda pelo seu tipo de granulometria, sendo aberta ou fechada.

Já as sub-bases tratadas são compostas pela mistura de alguns materiais naturais com aditivos, dependendo de sua finalidade.

Tabela 10: Tipos de sub-base

Tipos de sub-base	Sub-bases granulares	Granulometria aberta	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento
			Solo melhorado com cimento
			BGTC
		Com outros aditivos	Concreto rolado
			Cal
			Pozolana
			Asfalto
		Aditivos químicos	

Fonte: Choudounsky e Vicili, 2007

Atualmente as sub-bases de solo melhorado com cimento são bastante utilizadas, salvo em casos onde são detectadas necessidades de maior capacidade de suporte, sendo então mais utilizadas os sistemas de BGTC (brita graduada tratada com cimento) e CCR (concreto compactado com rolo) (Rodrigues et al., 2006).

4.6.1.1 Bica corrida (BC)

Bica corrida é constituída por agregados britados, possui uma má graduação por estes agregados britados não terem passado por um processo de peneiramento e classificação. Acaba sendo empregada apenas em obras de pisos de concreto que serão solicitados por carregamentos de baixa intensidade.

Por tratar-se de material não selecionado, a BC possui preços inferiores ao de uma BGS, mas obviamente apresentam valores de CBR e módulo resiliente também menores. Não há especificação de faixas granulométricas, nem normas para controle do material, sendo que sua resistência pode ser aferida pelo ensaio de CBR. O ensaio de compactação do material é importante para a determinação da umidade ótima, que deve então ser aferida em campo após a molhagem e homogeneização do material (Balbo, 2003).

Esse tipo de sub-base é executado com o espalhamento do material, realizado por uma motoniveladora ou distribuidor de agregados, e seu umedecimento, com caminhão pipa, após essa etapa se tem o processo de compactação na energia modificada usando um rolo de pneus com 2,5 t por roda ou um rolo liso, podendo ser vibratório ou não, metálico com cilindro de 3 t.

4.6.1.2 Brita graduada simples (BGS)

Tem sua composição por uma brita compactada, agregados de todas as faixas granulométricas e com uma distribuição definida. Por ter uma maior vantagem prática de aplicação, substituiu o macadame hidráulico como sub-base de pavimentos.

A brita graduada (BGS ou BGTC), procedente do desmonte de rochas maciças ou ainda de pedregulhos naturais, deverá após a britagem e seleção de diâmetros convenientes apresentar distribuição granulométrica “contínua” ou “bem graduada”. Deverá ainda ser isenta de solos vegetais, de matéria orgânica, de grãos frágeis ou susceptíveis a ações do intemperismo, bem como de toda substância que venha a ser deletéria ao conjunto no qual o cimento é um de seus elementos (Balbo, 1996).

Os agregados da sub-base de brita graduada simples devem apresentar seu diâmetro máximo igual a 1/3 da espessura de sua camada final. Estes agregados devem atender uma das curvas de distribuição (faixas) granulométrica especificadas pelo DNER-ES 303/1997, sendo as mais usadas as faixas B e C.

O processo de utilização da brita graduada simples se inicia na seleção dos agregados de acordo com uma faixa granulométrica específica, logo após adiciona-se aos agregados selecionados água e se faz seu transporte, espalhamento e compactação semelhante a bica corrida.

As BGS podem sofrer degradação, com perda de resistência ao cisalhamento, por um processo denominado contaminação da base. Com a passagem de cargas pesadas sobre o pavimento, em presença de subleito plástico saturado, ocorre o fenômeno de bombeamento. Estes finos, mesmo não atingindo a superfície do concreto através de juntas e trincas, se alojam na superfície dos grãos da BGS “contaminando-a”, o que acarreta em perda de resistência. O valor do CBR tende a cair a menos de 50 % em casos extremos e o módulo de resiliência pode ser reduzido de cinco a dez vezes; nestas condições tem-se uma estrutura que responderá muito mal às cargas, com o aumento sensível nas deformações resilientes, em especial em pavimentos asfálticos (Balbo, 2003).

4.6.1.3 Solo-cal (SCA)

O uso da cal no solo para uma estabilização do mesmo se dá por um processo de reações físico-químicas entre a fração de argila, constituinte do solo, e elemento adicionado, a cal, ocasionando uma redução da sensibilidade do solo à água e um aumento em sua capacidade de suporte.

O solo-cal, empregado em pavimentação, compreende camada proveniente de uma mistura compactada de solo, cal (vigem ou hidratada, conforme o caso) e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório (Choudounsky; Viecili, 2007).

A camada de sub-base constituída solo-cal acarretas em benefícios como, a redução da plasticidade, expansão e da umidade da fundação do pavimento e também aumenta seu módulo resiliente e seu índice de suporte (CBR).

A mistura da cal no solo deve ocorrer por gradeamento, sendo repetida pela quantidade de vezes necessária para se garantir uma uniforme e completa homogeneidade entre os elementos, apresentando uma tonalidade uniforme em toda a mistura final.

A estabilidade ocorre simultaneamente através de reações de troca de íons e floculação (substituição dos íons de sódio, magnésio e hidrogênio do solo pelos cátions da cal), cimentação pozolânica (reação química entre cal e a água dando origem a compostos de silicatos e alumínio hidratados de cálcio) e carbonatação (reação entre a cal e o anidrido carbônico resultando em carbonato de cálcio) (Azevêdo & Ramalho, 2000).

Pelo fato de a cal apresentar uma velocidade de reação menos rápida do que a do cimento, consegue-se ter um maior tempo de autonomia entre o término da mistura solo-cal e o fim da compactação, compactação esta que deverá ser feita com rolo tipo pé-de-carneiro e ter sua camada de superfície regularizada pelo rolo pneumático.

4.6.1.4 Solo-cimento (SC)

Este tipo de sub-base consiste em uma camada composta por solo compactado, cimento e água, em proporções determinadas por processos laboratoriais de dosagem. Obras em regiões onde não se consegue encontrar material britado ou agregados naturais acabam optando bastante pelo uso deste tipo de sub-base.

As primeiras experiências de campo, no Estado de São Paulo, foram realizadas no início da década de 50, na execução do pavimento da saída do aeroporto de Bauru (500 m) e posteriormente, no pavimento da estrada Presidente Prudente – Pirapozinho (14 km). A partir destas experiências, o uso do solo-cimento foi largamente difundido nos trabalhos de pavimentação no interior do estado, tornando-se o material de base mais utilizado (Senço, 1996).

Costuma ser mais utilizada em solos arenosos e finos, para se obter uma redução do índice de plasticidade e um melhor controle de sua expansão. É mais indicada para este tipo de solo pois aumenta seu suporte de carga e se tem uma fácil homogeneização.

Quando se tem uma maior quantidade de cimento adicionada ao solo, a sub-base recebe a nomenclatura de Solo-cimento (SC), tendo o objetivo de aumentar a resistência da camada de solo. Nos casos onde essa quantidade de cimento adicionada é menor, onde o cimento apenas melhora algumas propriedades do solo, usa-se a nomenclatura de Solo Melhorado com Cimento (SMC).

O SMC tem baixa porcentagem de cimento na mistura, variando de 3 a 6 % do volume total. Já no SC, os teores de cimento variam de 7 a 12 % de acordo com a granulometria ensaiada do solo. (Rodrigues et al., 2006).

Esta camada atua como um reforço do subleito, quando este tem características como: baixa capacidade de suporte, elevada expansão e plasticidade, e possui sua dosagem determinada de forma que a camada de solo-cimento possua valores mínimos de resistência à tração na flexão e de módulo resiliente.

A mistura do cimento com o solo pode ser feita em usinas ou no campo, sendo a mistura em usinas a solução que leva a um produto final de melhor qualidade. No campo, coloca-se os sacos de cimento por toda extensão do solo, de forma transversal e longitudinal, e posteriormente espalhando-os de forma uniforme.

Sua compactação é realizada com rolo pé-de-carneiro, com uma regularização final feita pelo rolo pneumático e um acabamento final com motoniveladora.

Face ao elevado consumo de cimento das misturas de SC, principalmente com o emprego de solos mais finos (solos argilosos), há significativa ocorrência de retração durante a hidratação do cimento, o que implica no surgimento de fissuras. Esta fissuração da camada de SC pode implicar em reflexão das fissuras para o revestimento em pavimentos flexíveis e em redução acentuada do módulo resiliente (Balbo, 2003).

4.6.1.5 Brita graduada tratada com cimento (BGTC)

Camada constituída da mistura de brita graduada compactada, cimento Portland e água, também sendo possível a presença de aditivos, em quantidades de acordo com dosagens determinadas em laboratório. A quantidade de cimento na mistura é baixa, sendo por volta de 4 % da massa de brita graduada simples.

O sistema de BGTC é indicado para sistemas de piso reforçados que apresentam espessuras das placas reduzidas, pois apresentam elevado módulo de elasticidade (Rodrigues et al., 2006).

As BGTC, para os teores de cimento normalmente empregados (3 a 5%), apresentam resistência à compressão uniaxial aos 7 dias entre 3,5 e 8,0 Mpa, valores de resistência à tração na flexão entre 0,5 e 1,5 Mpa, e valores do módulo de deformação entre 3000 e 12000 Mpa (Choudounsky; Viecili, 2007).

Sua mistura ocorre com processos semelhantes ao de mistura solo-cimento, porém com a presença de alguns cuidados em seu lançamento, como a duração dos intervalos de tempo do início da mistura e do início da compactação, de 2,5 horas, e do início da compactação e de seu termino, 1 hora.

A compactação deverá ser feita com rolo liso e vibratório, tendo o acabamento final sendo feito por rolo pneumático. Seu grau de compactação mínimo deve ser de 98 % em relação à massa específica aparente seca.

As BGTC, apesar de serem menos susceptíveis ao fenômeno de retração que as misturas de CCR em virtude dos baixos teores de cimento empregados, devem também receber cuidados especiais com relação aos procedimentos de cura. Em traços mais ricos pode ser necessário executar corte de juntas na camada de BGTC. A execução de juntas serradas com espaçamentos da ordem de 10 m e executadas entre 15 e 24 horas após o término da compactação, minimiza a ocorrência de fissuras por retração (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.1.1.6 Concreto Compactado com Rolo (CCR)

A utilização de concreto em uma sub-base é uma prática nova e consiste em uma camada de concreto de consistência seca e uma alta trabalhabilidade, permitindo uma compactação realizada por rolos compressores.

[...] para consumo de cimento maiores, o CCR pode apresentar resistência à tração na flexão de 5 Mpa ou mais, e módulo de deformação de 30 Gpa ou mais [...] (Choudounsky; Viecili, 2007).

O consumo de cimento neste tipo de sub-base varia em torno de 80 a 380 kg/m³, geralmente constituem camadas de 10 a 15 cm, com cuidados especiais para a não ocorrência de fissurações por retração hidráulica, como uma cura adequada e execução de juntas, devem ser tomados.

Segundo Dal-maso (2008), “quanto ao comportamento estrutural, apresenta elevada resistência à compressão e à tração na flexão, majorando os coeficientes de recalque do subleito em até três vezes”.

Os resultados mais satisfatórios em relação a resistências mecânicas e de economia são alcançados usando-se na composição do CCR agregados com graduação fechada (bem graúdos) e com diâmetros variando entre 19 e 25 mm. Com agregados menores também se diminui a questão da segregação e se melhora o acabamento superficial.

Tabela 11: Características de sub-base em CCR de acordo com seu consumo de cimento

Consumo de cimento	Resistência à compressão	Resistência à tração na flexão	Módulo de deformação estático
80 kg/m ³	5 a 7 Mpa	0,6 a 1,0 Mpa	7400 a 12600 Mpa
120 kg/m ³	10 a 15 Mpa	1,2 a 2,2 Mpa	17100 a 21900 Mpa
16 kg/m ³	16 a 23 Mpa	2,3 a 2,8 Mpa	20600 a 24900 Mpa

Fonte: Choudounsky e Viecili, (2007)

Seu processo de compactação assemelha-se ao de compactação da BGTC, utilizando os mesmos equipamentos e com o mesmo valor mínimo de grau de compactação, 98% em relação à massa específica aparente seca.

4.7 Juntas

As juntas funcionam como mecanismo de descontinuidade estrutural do pavimento, fazendo com que os segmentos do piso (placas de concreto) possam se movimentar de forma independente um do outro e que haja uma adequada transferência de carregamento entre placas adjacentes.

São os elementos mais sensíveis presentes no pavimento de concreto, por isso possuem a necessidade de uma atenção maior em sua execução, mais de 2/3 das patologias encontradas em pisos de concreto estão ligadas à problemas nas juntas.

Elas controlam as variações higro-térmicas do concreto, permitindo movimentações de retração e dilatação das placas. Além disso, servem como elementos auxiliares ao processo de execução (Rodrigues, 2003).

Sua execução ocorre com cortes no concreto com equipamentos especiais (máquina de corte), variando de 10 a 20 mm de profundidade. O sentido do corte, sua profundidade e quanto tempo após o término da concretagem ele será realizado são características que variam de junta para junta, identificando sua finalidade e tipo.

Para se impedir a penetração de materiais sólidos ou água através das juntas, que podem danificar as camadas inferiores do pavimento, usa-se um sistema de tratamento de junta, selamento de juntas, que se dá no preenchimento das juntas com material apropriado (selante híbrido), que proporciona uma boa vedação por possuir uma boa adesão e imprimação e serem bastante flexíveis.

[...] realizando-se o tratamento das juntas com selantes pouco flexíveis (ou materiais semi-rígidos) antes deste período haverá diversos pontos que apresentarão problemas de descolamento e fissuração do selante. A falha do selante deixará as bordas sem proteção e susceptíveis ao esborcinamento sob tráfego de veículos [...] (Choudounsky; Viccili, 2007).

Os tipos de juntas se dividem em quatro, cada um tendo sua finalidade específica contribuindo para um pavimento final atingindo o desempenho satisfatório esperado, que são: juntas de construção (JC), juntas serradas (JS), juntas de dilatação (JD) e juntas de expansão (JE).

4.7.1 Juntas de construção (JC)

Esse tipo de juntas geralmente se distribui de forma longitudinal à obra, limitando as bordas das placas concretadas em cada dia, tendo a presença de isopor separando uma da outra. O espaçamento de uma para outra é determinado por fatores da logística de execução da

obra, sendo limitada pela disponibilidade de equipamentos, índice de planicidade e do plano de concretagem.

Por conta de algumas deficiências executivas, as juntas de construção acabam por ter uma susceptibilidade a esborcinamentos. Essas deficiências executivas ocorrem pelo fato de as acabadoras mecânicas não conseguirem realizar sua função com qualidade nas boras (por conta das formas), então nessa área o acabamento superficial acaba sendo feito manualmente, tonando a mesma menos resistentes.

O corte da junta de construção deve ser realizado com profundidade de 25 mm. No caso de selantes flexíveis (poliuretano ou silicone) o preenchimento da junta deve ter profundidade mínima de 10 mm, devendo ser utilizado corpo de apoio (cordão de polietileno ou tarucel) para limitação da profundidade e conformação do fator de forma correto. Os selantes semi-rígidos (epóxi, por exemplo) devem ser aplicados na profundidade total do corte, com base deste servindo de apoio e nunca se utilizando limitadores de profundidade (ACI 302, 1996).

Nos casos onde as juntas de construção serão atingidas por cargas provenientes do tráfego de paleteiras ou empilhadeiras de rodagem maciça deve-se reforçar as áreas adjacentes a juntas com argamassa epóxi do tipo “lábio polimérico”. Este reforço terá uma largura de 25 a 30 mm em ambos os lados das juntas e uma profundidade de 20 a 25 mm.

Segundo Choudounsky e Viecili (2007), “a argamassa utilizada no lábio polimérico deverá apresentar resistência mínima à compressão de 55 Mpa e à tração de 7 Mpa. Na argamassa podem ser utilizados agregados minerais e metálicos”.

Toda a junta deve passar por um processo de limpeza antes do início de seu tratamento (aplicação do material selante). Nesta limpeza utiliza-se ferramentas com ponta em cinzel, que penetram nas ranhuras das juntas não as danificando, jatos de ar comprimido e vassouras de fios duros.

4.7.2 Juntas serradas (JS)

Também denominada de junta de retração, são executadas em uma disposição transversal ao eixo da placa, tendo o início do corte de 4 a 12 horas após o do acabamento do concreto. Esta junta tem finalidade de criar uma seção mais fraca para induzir a ocorrência de fissuras no alinhamento desejado.

Por apresentar uma grande movimentação, causada por variações higroscópicas e térmicas, estas juntas são preenchidas com material selante com baixa deformação à compressão, alta aderência às bordas e grande capacidade de alongamento na tração.

Tem seu corte feito com máquinas de corte equipadas com disco diamantado, tendo o corte final uma abertura de 3 a 4 mm e uma profundidade mínima de um terço da espessura total da placa de concreto.

Para o tratamento das juntas serradas valem algumas das recomendações feitas para juntas construtivas. As juntas sob tráfego de empilhadeiras de rolagem pneumática podem ser tratadas com selante mais flexíveis ou mais rígidos conforme o volume de tráfego. Nas áreas de baixo tráfego as juntas podem ser tratadas com selante de poliuretano ou silicone de dureza Shore A igual a 25 ± 5 ou ainda, poliuretano com dureza de 50 ± 5 (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.7.3 Juntas de dilatação (JD)

Choudounsky e Viecili (2007), afirmam que “as juntas transversais e longitudinais de descontinuidade do concreto denominadas de juntas de dilatação devem absorver as tensões permitindo a livre movimentação do piso, tendo maior abertura (10 a 20 mm).”

O material selante de preenchimento destas juntas deve apresentar alta elasticidade, boa estanqueidade, adsorver pouca água, ótima aderência às bordas e resistência à compressão. Outra característica que este material deve possuir é uma resistência a perfuração, mais propensos a ocorrer na presença de desníveis entre placas adjacentes.

Este tipo de junta não se faz necessária em pisos de concreto apoiados sobre o solo, pois as juntas de construção e serradas já suprem os a necessidade de absorver as movimentações da placa causadas por variações térmicas.

Choudounsky e Viecili (2007), ainda afirmam que “as juntas de dilatação são comumente empregadas nos pisos aderidos (overlay aderido) e nas capas de compressão de lajes pré-moldadas, onde as juntas de dilatação da estrutura devem ser repetidas no piso.

4.7.4 Juntas de expansão (JE)

Este tipo de junta, também chamada de junta de encontro, é utilizada para isolar o piso de concreto de algum elemento estrutural ou rígido, deixando a movimentação horizontal com a vertical da borda da placa de concreto livre e impedido a transferência de carregamento do pavimento para este elemento.

Apresentam espessura média entre 5 mm e 20 mm, é preenchida com material compressível com bom índice de resiliência, garantindo a absorção dos esforços e não os transferindo para outras estruturas (Dal-Maso, 2008).

Choudounsky e Viecili (2007) dizem que:

O tratamento das juntas de expansão deve ser realizado com material de grande flexibilidade, como poliuretano ou silicone. A profundidade de preenchimento da

junta é função da sua abertura, devendo-se seguir as especificações de projeto ou do fabricante do material quanto ao fator de forma (relação entre largura e profundidade de preenchimento) mais recomendado.

4.8 Revestimentos

É uma camada final do pavimento, usada apenas em casos específicos, que tem suas características de acordo com a finalidade do piso, podem exercer uma função de reforço e proteção.

Embora existam diversos tipos de composição, as principais bases químicas aglutinadas constituintes dos revestimentos de alto desempenho são poliméricas (resinas epóxi e poliuretano) e cimentícias (Oliveira, 2003).

Tabela 12: Tipos de revestimentos

Tipo	Classe	Descrição	Espessura	Natureza dos constituintes	Textura superficial
01	Monolítico	Argamassado ou Espatulado	3 a 10 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais	Lisa ou Semilisa ou Áspera
02		Autonivelante	1,5 a 6 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais	Lisa
03		Multi-camadas	1,5 a 4 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais + Pigmentos	Áspera
04	Pintura	Baixa espessura	0,1 a 0,18 mm	Resina + Endurecedor + (com ou sem pigmentos e solventes)	Depende da textura do substrato
		Alta espessura	0,18 a 1,0 mm	Resina + Endurecedor + (sem solventes)	Depende da textura do substrato
05	Decorativo monolítico	Argamassado ou Espatulado	1 a 10 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais	Lisa ou Semilisa ou Áspera
		Autonivelante	1,5 a 4,00 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais	Lisa
		Multi-camadas	1,5 a 4 mm	Resina + Endurecedor + Agregados minerais + Pigmentos	Áspera

Fonte: Choudounsky e Vicili (2007).

4.8.1 Pintura

Este revestimento necessita ser misturado de forma intensa e cuidadosa antes de ser aplicado no piso. Após sua mistura, a pintura é realizada por meio de rolos ou spray, aplicadas em duas ou três demãos. Seu tempo útil de aplicação varia de acordo com a forma de sua aplicação e a temperatura do substrato do pavimento, devendo ser de mais de 10 ° C.

As pinturas são materiais que tem um importante efeito protetor sobre o concreto, já que formam película seladora da superfície fazendo frente aos agentes externos, sejam químicos ou mecânicos. Modificam a textura, o aspecto e a cor da superfície já que todos eles são produtos coloridos. Em compensação oferecem um aspecto decorativo agradável (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.8.2 Revestimento multi-camadas (multi-layer)

São usados para se obter um piso anti-derrapante, em sua execução primeiramente aplicasse uma camada de primer. Após a secagem do primer se executa uma camada de resina com aspersão de agregados, que aumenta a espessura do revestimento.

Com o fim da cura dessa primeira camada de resina, se faz uma limpeza sobre sua superfície e se aplica uma nova camada de resina. Este processo se repete até que a espessura final do revestimento seja alcançada, sendo geralmente de 2 a 4 mm.

Este tipo de revestimento é aplicado em áreas úmidas ou onde se deseja promover uma maior rugosidade na superfície. É importante ressaltar que quanto maior a rugosidade da superfície mais difícil a remoção de resíduos e sujeira depositada na superfície (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.8.3 Revestimento autonivelante

Este revestimento apresenta uma grande fluidez, que acaba por permitir que seu espalhamento, feito com desempenadeiras dentadas, seja facilitado e assim seu adensamento ocorre naturalmente. Em uma única aplicação consegue-se uma cada com espessura de 2 a 6 mm.

Sua argamassa deve ser misturada com misturados em uma velocidade reduzida, não possibilitando a entrada de ar na mistura, com um dispositivo agitador imerso na massa. Essa mistura pode ser constituída de reninas do tipo epóxi, poliuretano ou metacrilato.

A aplicação deste revestimento também ocorre com o uso de desempenadeira dentada e é realizada por derrame e extensão, para se ter um melhor controle de sua espessura. Ainda se utiliza rolo fura bolha, após sua aplicação, para expulsar o ar presente na mistura.

Segundo Choudounsky e Viecili (2007), “os revestimentos autonivelantes proporcionam uma superfície extremamente lisa e brilhante, principalmente logo após a aplicação”.

4.8.4 Revestimento argamassado

Com espessura mínima de 3 mm, é um revestimento mais indicado para pisos da indústria pesada, com áreas agredidas quimicamente e com tráfego intenso e para revitalização de pisos desgastados.

Sua mistura ocorre por etapas, primeiro se adicionando a resina ao endurecedor e depois, após uma mistura inicial, coloca-se o agregado na mistura. Após uma aplicação de primer, com ele ainda úmido, aplicasse, por espalhamento, o revestimento argamassando, tendo a necessidade posterior de uma compactação da camada final, podendo ser manual ou com uso de uma acabadora mecânica.

Em alguns casos, após o endurecimento da argamassa se promove o polimento da superfície para remoção de imperfeições que poderiam refletir na pintura final. Após o polimento se promove o selamento da superfície e a pintura (Choudounsky; Viecili, 2007).

4.9 Execução de piso industrial em concreto

O processo de execução do piso se inicia na identificação das características do solo que formará o subleito do futuro pavimento, através de ensaios e investigações geotécnicas (exemplificadas em tópicos anteriores).

Com base nas informações obtidas sobre o solo, o conhecimento estimado dos futuros carregamentos que incidirão sobre o piso e na disponibilidade de materiais disponíveis para a obra e sua logística se encontra a melhor solução de subleito e uma possível sub-base, para que o pavimento final exerça sua função com qualidade.

Sugere-se a construção prévia de um trecho de teste para que os profissionais envolvidos possam avaliar o desempenho e condições ambientais do canteiro de obra, e anteciparem aos possíveis imprevistos e desconformidades (Rodrigues et al., 2006).

Sendo definidas as camadas constituintes do pavimento, se inicia o processo de regularização do terreno. Nesta etapa usa-se máquinas de regularização de grande porte, como Motoniveladores e Pá carregadora, que conseguem mover grandes quantidades de material.

A regularização do terreno é realizada de modo a garantir o nivelamento da superfície e remover todo solo residual. A regularização do solo é feita pela empresa de terraplenagem. Além de conformar o terreno, o solo é compactado para se obter maior resistência (Tamaki, 2011).

A terraplenagem é guiada pelas informações planialtimétricas fornecidas pela topografia, ela quem aponta os locais onde a cota do terreno natural se apresenta mais alta ou mais baixa do que da cota em projeto do pavimento, identificando os locais de corte e de aterro. Deixa-se o terreno alguns centímetros acima da cota de projeto por conta o rebaixamento posterior ocasionado pela compactação do solo.

Figura 23: Terraplenagem e regularização do subleito



(Guimarães, 2015)

Após a execução de todos os cortes e aterros se começa o processo de compactação do solo, que acontece com o uso de máquinas compactadoras, sendo o tipo de rolo de acordo com o solo que será compactado.

A compactação pode ser por compressão, feita por rodas metálicas com grandes pesos e reduzida superfície de contato, por amassamento, com o uso de rolos pneumáticos e rolos pé-de-carneiro ou por impacto, sendo realizada por equipamentos tipo sapo mecânico e bate-estacas.

Figura 24: Compactação com rolo pé-de-carneiro



(Guimarães, 2015)

Com a finalização da compactação começa a etapa de assentamento das fôrmas, que servirão como contenção lateral para o concreto e delimitarão as extremidades do pano de concretagem. Esta fôrma poderá ser de madeira ou metálica (mais utilizada), as quais já vêm presentes os encaixes para o posicionamento das barras de transferências para os casos de pisos em concreto com armadura distribuída descontinuamente.

O topo das fôrmas deve coincidir com a superfície do piso final, verificando-se o alinhamento e nivelamento em cada peça assentada. As tolerâncias são determinadas em função dos requisitos de planicidade e nivelamento da obra em questão e devem ser especificadas no projeto geométrico. Caso estes valores não sejam especificados, não se deve admitir erros superiores a 3 mm, no sentido vertical, e a 5 mm, no alinhamento longitudinal (Choudounsky; Viecili, 2007).

Depois das fôrmas assentadas aplica-se nas mesmas um produto desmoldante para facilitar sua remoção na desforma. Para se evitar danos nas bordas das placas deve-se remover as fôrmas após 24 horas o fim da concretagem do pano.

Realizada a etapa de posicionamento e preparo das fôrmas se inicia a colocação da barreira de vapor, comumente chamada de lonas plástica, por toda a extensão do pano de concretagem, sendo recomendado que a mesa seja colocada com uma sobra passando do limite das formas.

Juntamente com a colocação da lona, posicionam-se também os espaçadores, do tipo pré-moldados (plásticos), feitos na obra (argamassa de concreto) ou metálicos (treliça), com altura de acordo com o projeto para receber a armadura em aço, nos casos de pisos em concreto armado. No caso de concreto simples após o posicionamento da lona já ocorre a concretagem.

Figura 25: Barreira de vapor posicionada com espaçadores plásticos no pano de concretagem



(Habitissimo, 2014)

A próxima etapa é a de posicionamento da armação do piso (para pisos de concreto armado). As armaduras devem ser posicionadas bem antes da concretagem, para haver uma precisa conferência e possíveis correções em tempo hábil.

Para pisos de concreto com apenas com armadura superior (com armadura distribuída), deve-se apenas posicionar as telas em cima dos espaçadores, para que as mesmas fiquem na altura correspondente a de protejo.

Já no caso de pisos onde se tem armaduras tanto inferiores quanto superiores (concreto estruturalmente armado), deve-se ter as telas da armadura inferior, apoiadas nos espaçadores, logo após temos a colocação de treliças (espaçadores metálicos) e por fim a armadura superior apoiadas nelas. Todos os elementos posicionados com alturas e espaçamentos de acordo com o projeto, afim de garantir o cobrimento de concreto necessário sobre o aço.

Figura 26: Armação em aço posicionada para concretagem



(Casa Doce, 2015)

Simultaneamente à colocação da armadura, outro elemento estrutural do piso já deve estar sendo posicionado, as barras de transferência. Essas barras, com diâmetro, comprimento e bitola de acordo com o projeto, são colocadas nos espaços (furos), já presentes nas fôrmas nas bordas do pano de concretagem.

Elas são fixadas de forma a ficar com metade de seu comprimento para dentro da fôrma e metade para fora., sendo uma dessas metades untada com graxa, geralmente a metade que será concretada por último.

Figura 27: Barras de transferência posicionadas na fôrma



(Belgo, 2014)

Tanto a movimentação da equipe de execução como apoio das tubulações das bombas de concreto sobre as telas montadas podem acarretar no deslocamento da armadura da posição projetada, fato que pode comprometer o seu funcionamento no controle de fissuração e/ou no reforço estrutural da placa. Assim, seja qual for o sistema adotado, os distanciadores das armaduras devem ser suficientes para garantir que elas permaneçam nas posições projetadas (Choudounsky; Viecili, 2007).

Com o todos os elementos estruturais da placa de concreto posicionados, o piso fica liberado para a realização de sua concretagem. Em casos de panos de concretagem com grandes extensões, utiliza-se pedaços de ferro distribuídos pelo pano, fincados no subleito ou sub-base, com equipamento de nível indicando sua altura, de maneira a determinar a altura de concretagem.

A concretagem deve ser um processo bem controlado, com um cronograma (semanal ou mensal) de execução e um conhecimento pleno de todos os equipamentos disponíveis para sua execução.

O lançamento do concreto pode ocorrer direto da bica do caminhão betoneira ou por meio de um caminhão bomba do tipo lança, de acordo com a disposição da área da obra. O intervalo de tempo entre o termino da mistura do concreto e o fim do lançamento do concreto não deve ultrapassar 90 minutos, quando este tempo é excedido a ocorrência de problemas no acabamento do piso é maior.

O controle da velocidade de lançamento do concreto é fundamental para garantir pega uniforme e evitar manchamento da superfície. Indica-se o valor de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ como referencial. Porém, a compatibilidade entre o volume a ser vibrado e acabado deve ser compatível com o lançado. Outros cuidados para evitar a segregação a partir do lançamento de alturas inadequadas, controle da homogeneização da mistura, e os

ensaios de abatimento e modelagem dos corpos de prova para ensaios de resistência também devem ser observados (Rodrigues, 2003).

Figura 28: Lançamento de concreto



Já com o concreto despejado sobre o pano de concretagem se tem início seu processo de adensamento, obtido por meio do uso de equipamentos vibratórios (régua vibratória manual ou vibrador por imersão), para garantir que o concreto preencha todo o volume do pano de concretagem.

Os vibradores de imersão devem ter o diâmetro externo de, no máximo 40 mm, e frequência igual ou superior a 60 Hz (3600 rpm). Devem ser empregados na vertical, mas nunca usados para espalhamento do concreto deixando as enxadas para tal tarefa (Choudounsky; Vicili, 2007).

A régua vibratória é ajustada de acordo com a consistência do concreto, diminuindo-a com o aumento do abatimento, seu uso evita uma concentração excessiva de argamassa na superfície da placa de concreto, que acarreta patologias no acabamento do piso.

Com o concreto já espalhado e adensado o processo de nivelamento começa, que pode ser por meio do uso do laser de nível que emite um sinal ao longo da concretagem identificando a cota desejada e assim se cria “mestras” no próprio concreto (mestras úmidas) que guiam o sarrafeamento com régua de alumínio. O nivelamento também pode ser feito com o sarrafeamento sendo orientado por pedaços de aço fincados no solo, com a altura do piso acabado.

Figura 29: Nivelamento do concreto com régua de alumínio



(Equipe de obra, 2011)

Após o concreto estar totalmente nivelado deve-se iniciar seu processo de acabamento superficial, que ocorre para se alcançar uma superfície densa, com textura superficial e resistência mecânica satisfatória.

A superfície deve garantir a facilidade de limpeza, o escoamento de líquidos, a movimentação de cargas e equipamentos, boa durabilidade e resistência à abrasão. O processo prévio de acabamento, chamado de flotação, é feito com a utilização de máquinas acabadoras de concreto que funcionam como “lixadeiras”, deixando o concreto uniforme e plano.

Figura 30: Acabadora simples com discos de flotação



(Hugenmaq, 2013)

O uso da máquina de acabamento ocorre em duas etapas, a primeira, com o uso de um disco alisador encaixado em suas hélices, aumentando a produtividade de acabamento, e na outra etapa, já sendo chamada de acabamento final, se retira este disco e se deixa apenas as hélices da máquina trabalhando diretamente no concreto, também podendo ser auxiliada pelo rodo de corte.

A flotação compreende a operação de desempenho mecânico com finalidade de conduzir argamassa para a superfície e eliminar pequenas imperfeições deixadas durante a fase de adensamento e nivelamento, proporcionando acabamento razoavelmente homogêneo. As acabadoras de superfície empregadas nesta fase podem ser dotadas de pás de flotação (flat shoes) ou discos de flotação (panfloats ou float disks), podendo ser usadas máquinas simpres (walk-behind machines) ou duplas (ride-on machines) (Choudounsky; Viecili, 2007).

A hora exata para o início da flotação varia de concreto para concreto, dependendo de suas características e condições do clima. Seu início se dá de acordo com a sensibilidade do operário, que já possui uma experiência na execução de pisos de concreto.

Figura 31: Acabamento final da superficial de piso de concreto



(Finiti, 2011)

O comportamento do concreto durante a flotação também é um bom indicador do momento ideal para início do acabamento. Se ocorrer um lançamento excessivo de argamassa pelas pás (ou pelo disco) de flotação deixando a superfície ondulada, é indício que o acabamento está sendo executado prematuramente. A flotação prematura acarreta na formação de uma camada espessa de argamassa na superfície do piso prejudicando a resistência à abrasão e tornando-a mais susceptível ao aparecimento de micro-fissuras (Spannenberg, 1996).

Após o termino do acabamento o concreto já necessita iniciar seu processo de cura, impedindo perda água pela superfície exposta do concreto para que o cimento continue a se

hidratar corretamente, empenamentos por ressecamento da face superior e fissuras por retração não ocorram e garantindo a resistência à abrasão na superfície.

“Depois de um lançamento e acabamento adequados de um bom concreto, a cura é simplesmente o mais importante fator na obtenção de um piso de alta qualidade” (ACI 302, 1996).

A cura, dependendo da obra e recursos de quem a está realizando, poderá ser de dois tipos, a cura úmida, consiste no “molhamento” do concreto diário, tendo a quantidade de vezes que deverá ser realizada por dia e a quantidade de dias em que deverá ocorrer serão determinadas pelo grau de hidratação do concreto, seu fator água/cimento, seu tipo de cimento, a geometria da peça concretada e as condições climáticas do local da obra.

A cura úmida pode divergir em como a água ficará em contato com o concreto, podendo estar: represada por toda a placa, por meio de contenções de areia, posicionada sob uma lona de polietileno de vedação do concreto ou presente em mantas geotêxteis umidificadas colocadas em cima da placa de concreto.

Figura 32: Cura do concreto utilizando mantas umidificadas



(ASAMIX, 2016)

O outro tipo de cura é a cura química, que pode ocorrer simultânea a úmida, sendo realizada com a aplicação de compostos (resinas ou ceras) na superfície do concreto, formando membranas que reduzem a perda de água do concreto.

Figura 33: Cura química do concreto



(Alphapiso, 2016)

A aplicação do produto de cura deve ser iniciada logo após o término das operações de acabamento superficial. A aplicação mecânica conduz a um resultado mais uniforme na cobertura do concreto, mas este tipo de aplicação restringe-se, em geral, a obras de pavimentos rodoviários. Em obras industriais, comumente a aplicação é realizada manualmente com auxílio de bombas de baixa pressão, o que exige cuidados especiais para garantia de aplicação uniforme em toda a extensão da placa (Choudounsky; Viecili, 2007).

A cura química tem a vantagem de ter um preço de mercado menor, não necessita de um monitoramento frequente e adianta o início da cura, começando com o concreto ainda em estado plástico, reduzindo retrações plásticas.

Juntamente com as a cura já se deve executar o corte das juntas, realizados por máquinas cortadoras de concreto, após um período de 4 a 12 horas após o fim do acabamento do pano concretado. O horário para se efetuar o corte é determinado de acordo com o tipo de cimento usado, presença de aditivos no concreto e das condições do clima onde a obra é realizada.

O executor deve se atentar a profundidade do corte especificado no projeto para as juntas serradas e para as construtivas. Cortes com profundidade insuficiente podem resultar no aparecimento de fissuras de retração (Choudounsky; Viecili, 2007).

Figura 34: Máquina de corte de concreto



(Alphapiso, 2016)

Dependendo da presença ou não de uma finalidade especial do piso de concreto, ainda se faz necessária a aplicação de revestimentos especiais, que ajudarão o mesmo exercer sua função especial final.

O tratamento das juntas também é um processo que depende da finalidade do piso, e deve ser executado com bastante cautela para que uma série de patologias seja evitada ou ao menos amenizada.

5 ESTUDO DE CASO

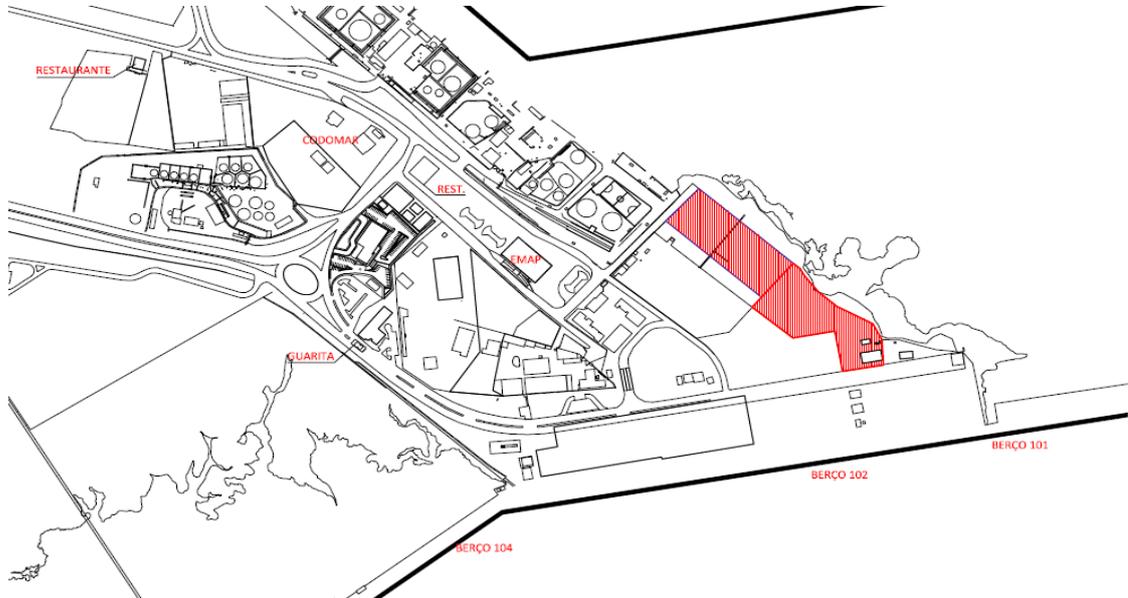
O objeto de estudo desse projeto foi uma obra de pavimentação de pátios em concreto armado, situada no Porto do Itaqui. É uma obra industrial, viabilizada pela EMAP (Empresa Maranhense de Administração Portuária) e executada por meio de licitação. Ela compreendeu a pavimentação de uma área total de 20.353,26 metros quadrados, pátios F, G e H, em concreto armado com elementos de drenagem superficial e instalação de torres de iluminação. O foco desse estudo se dará nas atividades de execução do pavimento em concreto, através de um acompanhamento fotográfico e teórico, detalhando cada fase dessa execução e trazendo informações sobre técnicas, materiais e equipamentos utilizados nesta etapa da obra.

5.1 Conhecendo o Projeto

A obra consiste na pavimentação em concreto armado dos pátios F, G e H, no Porto do Itaqui, sendo o pátio H preparado para recebimento de contêineres Reefer, IMO e Gerais e

tendo seu sistema de drenagem em canaletas de drenagem retangular em concreto armado por todo seu contorno.

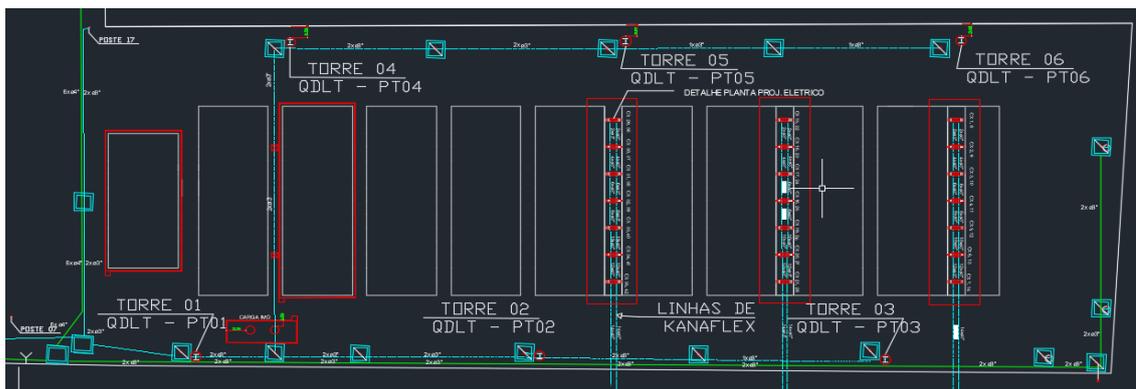
Figura 35: Detalhe da planta de localização dos pátios F, G e H



(Caderno de encargos, 2016)

Ainda na área do pátio H, que receberá contêineres futuramente, foram construídas passagens para as fiações elétricas, que levarão energia elétrica aos contêineres, usando eletrodutos do tipo kanaflex, e seis torres de iluminação, com 30 metros de altura e com fundação em manilhas com concreto armado.

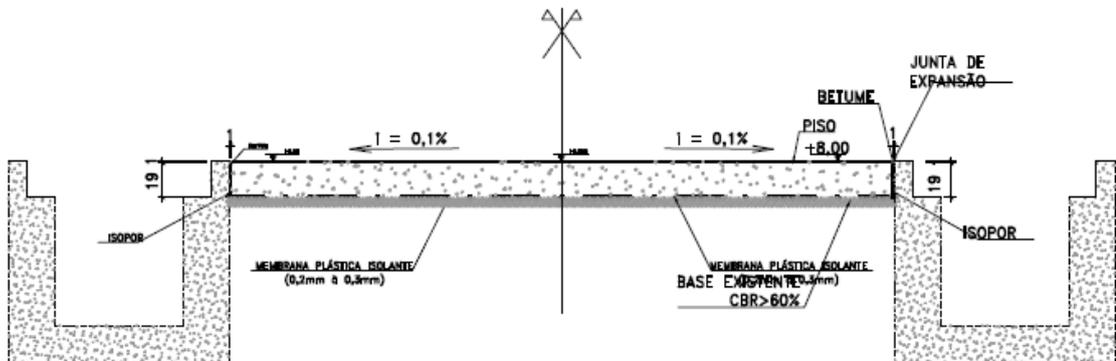
Figura 36: Detalhe do projeto elétrico PÁTIO H



(Autor, 2017)

Seu piso foi construído de forma a ter um caimento de 0,1 % de seu eixo central para as laterais, para facilitar o escoamento de águas pluviais para o sistema de drenagem de canaletas retangulares em concreto armado.

Figura 37: Detalhe do projeto de caimento transversal do pátio H



(Cadernos de encargos, 2016)

Nos demais pátios não haverá a instalação de contêineres, contendo apenas passagens elétricas já existentes.

Figura 38: Esquema computadorizado da obra acabada



(Caderno de encargos, 2016)

5.2 Análise do Projeto

A escolha pelo uso da pavimentação em concreto armado se deu por esta apresentar ótimas características estruturais, como boa resistência e durabilidade, que a tornaram a melhor solução para pisos em indústrias. O projeto de estruturação do pavimento foi feito com base nas informações sobre o solo da obra, proveniente de ensaios e investigações geotécnicas realizadas anteriormente ao lançamento da licitação.

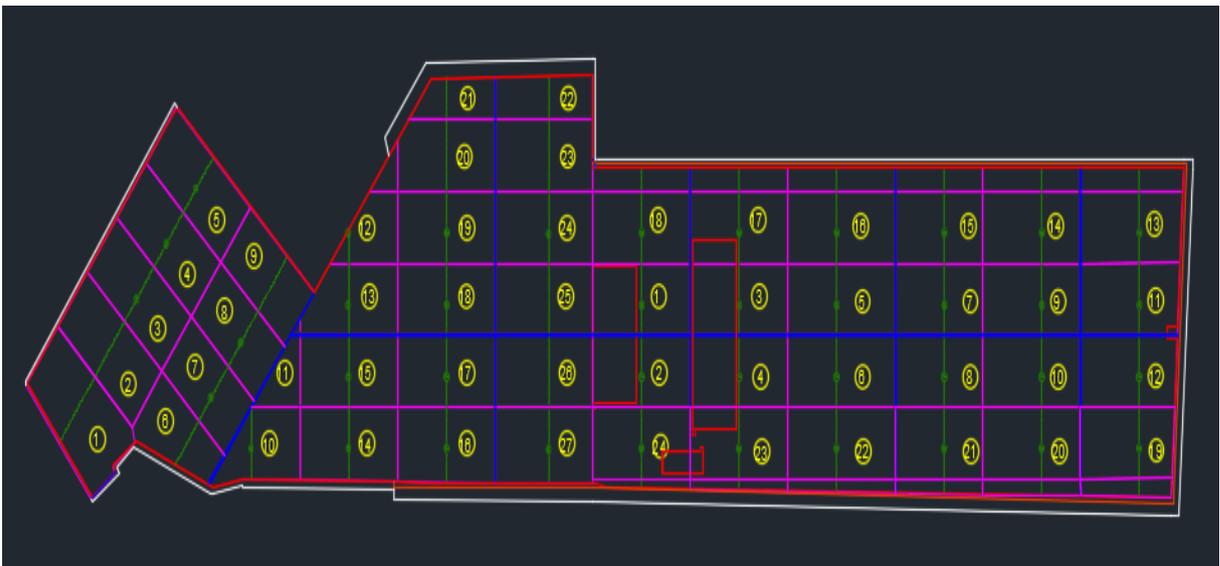
Nesta escolha também se levou em consideração as cargas ultra pesadas estáticas, os contêineres que serão posicionados no pátio H, e móveis, maquinário pesado que circulará

por toda a extensão dos pátios. O pavimento em concreto consegue suprir todas as solicitações que estas cargas imprimem em sua superfície de forma satisfatória.

A pavimentação em concreto possibilita uma melhor qualidade de rolamento. Por não sofrer deformação plástica, acaba-se por minimizar drasticamente a necessidade de realização de operações “tapa-buraco” e recapeamentos frequentes. Por exigir pouca manutenção, acaba se tornando uma solução ambientalmente amigável.

Após uma análise do lay-out da obra, sua logística e as características do material que iria compor o pavimento, em especial a dimensão das telas de aço de sua armadura, se dividiu a área a ser concretada em 51 panos de concretagem com, em média, 400 m² de área e espessura de 20 cm, de modo que o corte de telas e a ocorrência de juntas fossem os mínimos possíveis.

Figura 39: Detalhe do projeto de paginação da obra

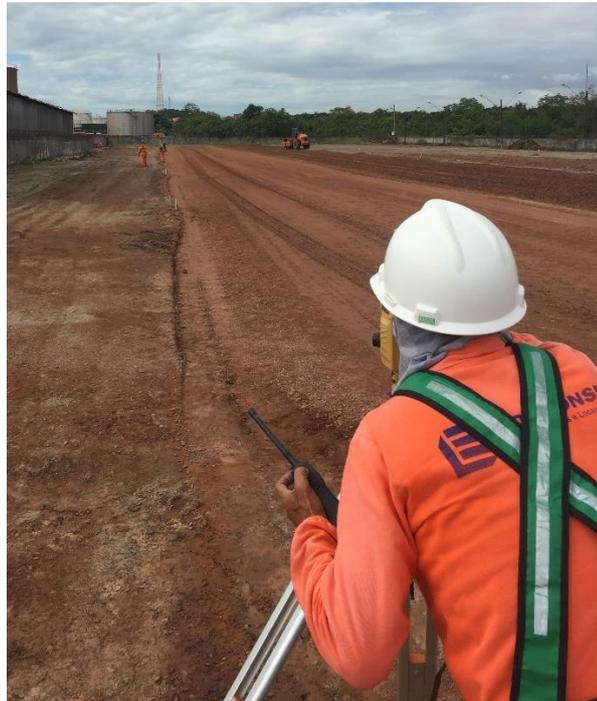


(Autor, 2017)

5.3 Execução

A obra teve início em 07/06/17, com a mobilização de canteiro e equipamentos e regularização da via de acesso. Logo após se começou a marcação dos pontos topográficos da obra e a análise altimetria do terreno, também feita pelo topógrafo, para se determinar cortes e aterros.

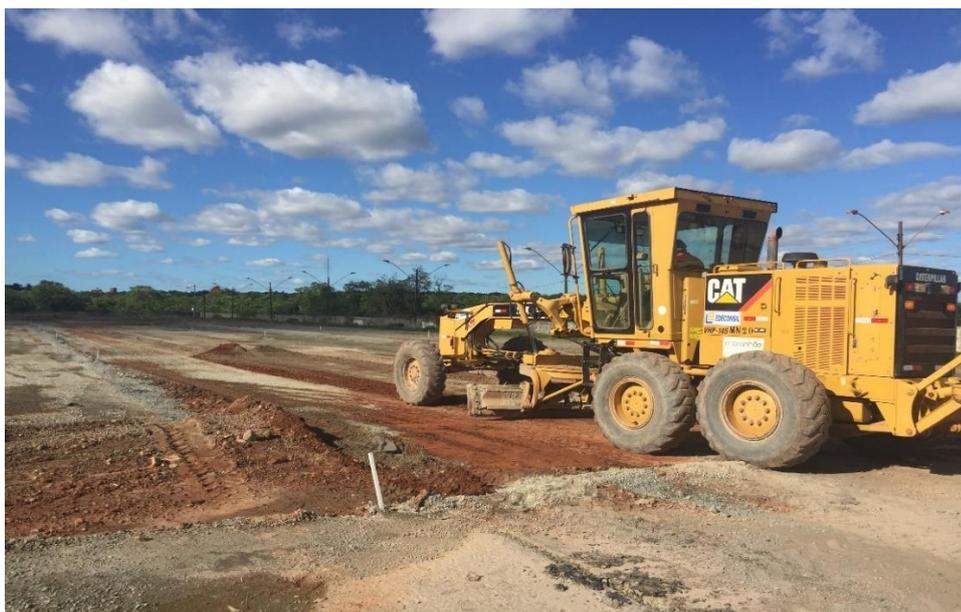
Figura 40: Marcação de pontos pela topografia



(Autor, 2017)

Finalizada a determinação da cota final do subleito, iniciaram-se a movimentação de terra, utilizando Motoniveladora para a execução dos cortes necessários. Não houve a necessidade de algum empréstimo de material e todo o material cortado, bota-fora, foi estocado na parte externa do canteiro e foi reutilizado pela EMAP.

Figura 41: Motoniveladora realizando cortes no terreno



(Autor, 2017)

Após a realização dos cortes, se realizou a compactação do subleito em duas etapas, ambas com a utilização de rolos compactadores vibratórios, sendo a primeira com rolo compactador do tipo pé-de-carneiro e a segunda, nas camadas de acabamento finais, com rolo do tipo liso.

Figura 42: Compactação do subleito



(Autor, 2017)

Para averiguar se o processo de compactação foi executado corretamente se realizou ensaios de compactação e de umidade em amostras recolhidas em campo e se comparou os resultados com os de ensaios realizados anteriormente, em laboratório. Os resultados obtidos das amostras em campo, comparados com os de laboratório, apresentaram índices satisfatórios, dentro da margem de erro.

Figura 43: Realização de ensaio de umidade em campo



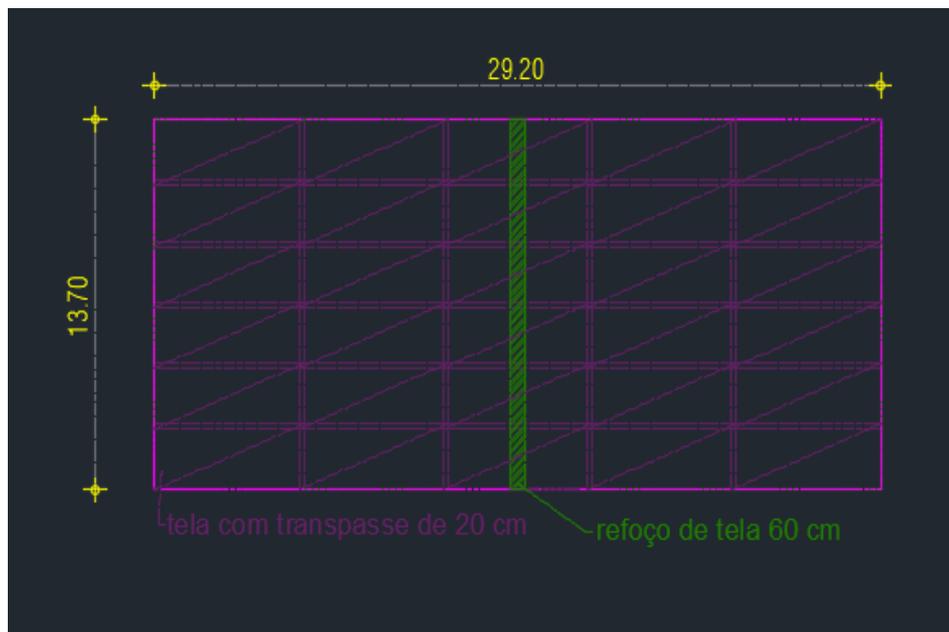
(Autor, 2017)

De acordo com as propriedades do solo, características dos componentes da placa de concreto e sua espessura e a estimativa de cargas que iria incidir no pavimento optou-se pela não utilização de uma camada de sub-base, deixando a placa de concreto tendo sua fundação apenas pelo subleito compactado.

A placa de concreto armado usada nesta obra foi do tipo estruturalmente armada, sendo composta por espaçadores de argamassa de concreto, telas de aço CA – 60 de 2,45 x 6,00 m, Q-283, malha 10 x 10 cm e bitola de 6 mm, com transpasse de 20 cm, e treliças metálicas do tipo TG-8M, posicionadas a cada 60 cm e com altura de 10 cm, como espaçadores entre as telas de armação inferiores e superiores.

Tendo ainda em sua estrutura barras de transferência de aço CA – 50, bitola de 16 mm e 1 m de comprimento por todo o perímetro do pano de concretagem, com espaçamento de 30 cm, e um reforço de tela de 60 cm posicionado no sentido perpendicular a maior dimensão do pano de concretagem, tanto na armação inferior quanto na superior, para se realizar posteriormente uma junta serrada.

Figura 44: Detalhe da armação de um pano de concretagem tipo



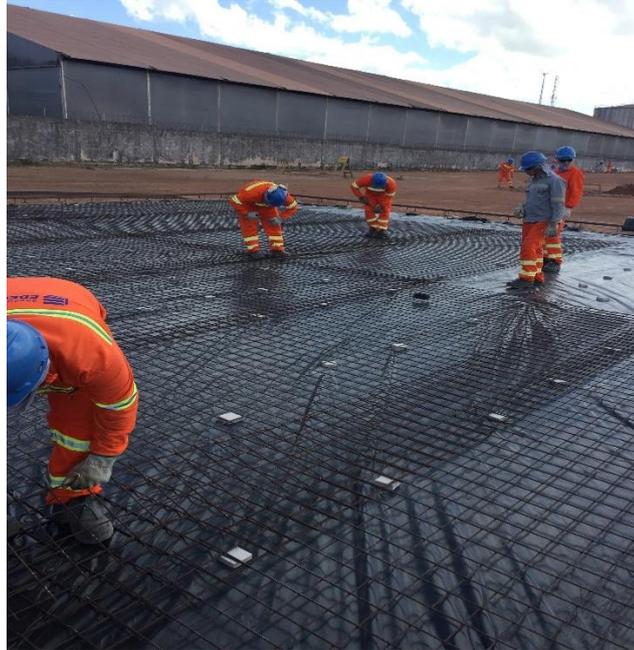
(Autor, 2017)

Alguns panos de concretagem, como os do pátio F e os das extremidades dos pátios, acabaram por ter dimensões e armaduras diferentes das do pano tipo, por conta de características físicas da obra.

Terminada toda a preparação do terreno, se deu início a colocação da barreira de vapor, do tipo lona plástica, que divide o subleito da placa de concreto, simultaneamente já se

posicionaram as telas de aço componentes da armação inferior da placa sobre espaçadores de argamassa de concreto, com 5 cm de espessura.

Figura 45: Posicionamento de lona plástica, espaçadores e telas de aço



(Autor, 2017)

Continuando a montagem da estrutura do pano de concretagem, posicionaram-se as fôrmas metálicas, em peças de 6 m, delimitando as extremidades do pano, com o acompanhamento do topógrafo para que estas fiquem na altura final do pavimento, enquanto outra equipe já colocava as treliças e as telas da armação superior.

Figura 46: Colocação de fôrmas metálicas e armação do pano finalizadas



(Autor, 2017)

Finalizando o preparo da estrutura da placa de concreto, foram colocadas as barras de transferência nos lugares específicos das fôrmas metálicas, com metade de seu comprimento para dentro do pano de concretagem, como auxílio do prumo de mão para que as mesmas ficassem no nivelamento certo e cumprissem sua função corretamente.

Figura 47: Posicionamento das barras de transferência



(Autor, 2017)

Com todos os elementos da estrutura da placa de concreto em seu devido lugar se começava a colocação de pedaços de ferro, chamados de baliza, que são fincados no subleito por toda a extensão do pano de concretagem, para guiar nivelamento da placa na durante a execução do sarrafeamento. Após uma conferência geral se liberava o pano para a concretagem.

Figura 48: Pano liberado para concretagem



(Autor, 2017)

Concreto usado para o piso desta obra possui a resistência à compressão de 40 Mpa, com a adição de fibra estrutural sintética de polipropileno, do tipo FIBERTECH – PP, fabricante Tec Machine fibras estruturais, com comprimento de 12 mm, densidade de 0,93 g/cm³, resistência a tração de 300 Mpa, em uma dosagem de 600 g para cada 1 m³. Usou-se em sua composição Cimento Portland IV pozolânico, da marca Bravo, com uma dosagem de 380 kg/m³ e foi lançado bombeado e com Slump de ± 10 cm.

O processo de concretagem consistia com a chegada do caminhão betoneira a obra, geralmente carregado com 8 m³ de concreto, onde logo se era adicionada a fibra, sendo a mesma mistura com o concreto.

Figura 49: Colocação da fibra sintética no caminhão de concreto



(Autor, 2017)

Após a fibra ser misturada ao concreto se realizava os procedimentos de controle tecnológico do concreto, através da execução do Slump test de cada carro de concreto, para determinar se a plasticidade do concreto estava aceitável, e da moldagem de corpos de prova, sendo 2 corpos de provas de 2 carros escolhidos (geralmente o 1º e o 7º).

Verificada a plasticidade do concreto, se começava seu lançamento, por meio do caminhão bomba do tipo lança. Simultaneamente ao lançamento do concreto, já ocorre o seu processo adensamento por vibração, com o uso de vibrador de imersão.

Figura 50: Lançamento bombeado do concreto



(Autor, 2017)

Após uma área considerada do pano ser preenchida pelo concreto, mesmo antes da concretagem acabar, já se entrava uma equipe realizando seu nivelamento, de acordo com as balizas posicionadas previamente, sarrafeando a superfície já adensada, utilizando régua de alumínio.

Figura 51: Nivelamento do concreto

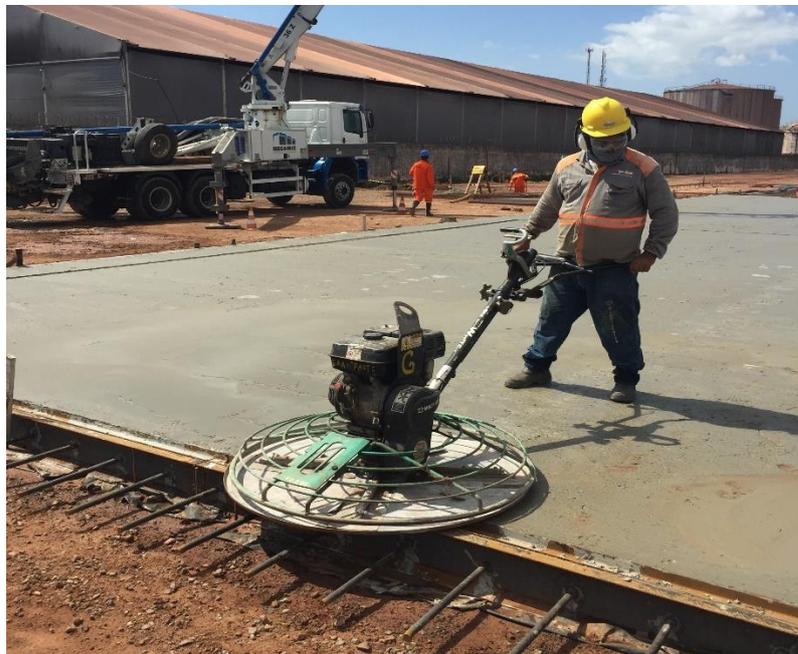


(Autor, 2017)

Após o nivelamento, com um intervalo de tempo por volta de 4 horas após o fim da concretagem, se iniciava a primeira etapa do processo de acabamento do concreto, a etapa de flotação, que é realizada por máquinas acabadoras de concreto acopladas com disco de flotação em suas hélices.

Dependendo da execução da concretagem do pano, algumas áreas já tinham seu processo de flotação iniciado antes de a concretagem acabar por completo. Por o pano ter grandes dimensões e pela disponibilidade de caminhões por parte da concreteira, o fim do lançamento do concreto nas primeiras áreas do pano tinham intervalos de tempo por volta de 4 a 5 horas para o início do lançamento nas áreas finais.

Figura 52: Realização do processo de flotação



(Autor, 2017)

A segunda parte do acabamento, ocorria com o uso desta mesma máquina acabadora, agora sem o disco de flotação, tendo o contato direto de suas hélices na superfície do piso.

Figura 53: Acabamento do piso de concreto



(Autor, 2017)

Concluído todo o processo de acabamento, iniciava-se a etapa de cura química com a aplicação do produto químico Película PVA, do fabricante Reis e Reis, em baixas pressão, por toda a extensão do piso concretado, uma vez após a concretagem e outra na manhã seguinte.

Figura 54: Processo de cura química



(Autor, 2017)

Em conjunto com a cura química, também se realizou a cura úmida, com a irrigação dos panos de concreto sendo feita pelo caminhão pipa. A cura úmida era realizada duas vezes ao dia, no início da manhã e da tarde, durante 3 a 4 dias.

Figura 55: Cura úmida do concreto



(Autor, 2017)

No dia seguinte a concretagem do pano, se fazia a retirada das fôrmas metálicas, pela manhã, e se executava os cortes, com 5cm de profundidade e 10 mm de largura, utilizando máquinas de corte de concreto, de suas juntas de construção e serrada, pela tarde.

Figura 56: Corte de junta no concreto

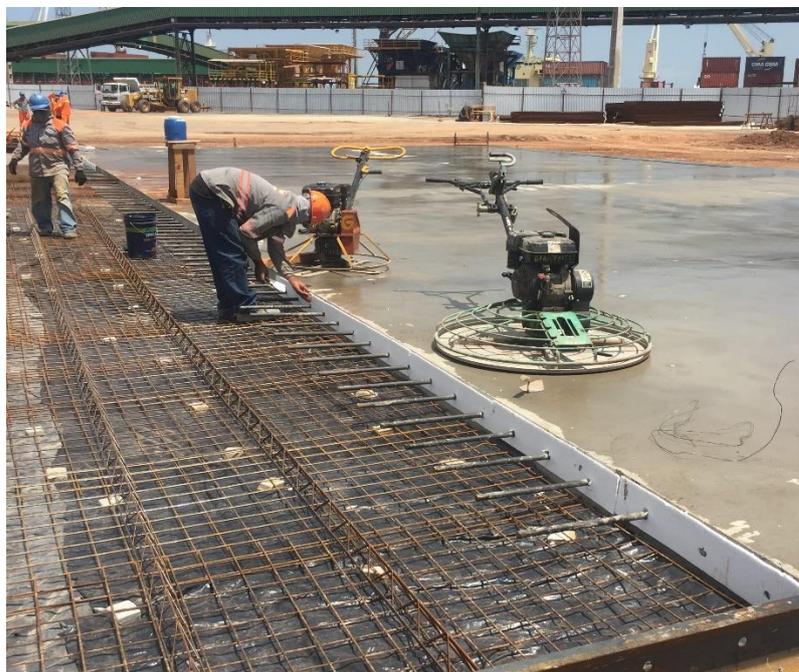


(Autor, 2017)

Como o plano de concretagem era de seguir uma sequência de concretagem de panos vizinhos, quando assim era possível, para se ter um ganho de tempo com colocação de fôrma, pois o pano concretado anteriormente teria sua face concreta servindo como fôrma para o próximo pano.

Por isso, após a desforma, no preparo do próximo pano para a concretagem, havia a colocação de isopor na face do pano já concretado, afim de diminuir os efeitos da dilatação de ambas e já se aplicava graxa na parte das barras de transferência não concretadas.

Figura 57: Posicionamento de isopor nas juntas de construção



(Autor, 2017)

Nesta obra não foi executada uma camada de revestimento, as atividades futuras serão realizadas sobre o concreto acabado.

O processo de tratamento das juntas presentes no pavimento se deu pelo preenchimento das juntas com um produto chamado Reis flex MS – 30, que consiste num selante híbrido a base de silano modificado, monocomponente de cura neutra inodoro.

Figura 58: Tratamento de juntas



(Autor, 2017)

Nesta obra também se teve a execução de calçadas em concreto armado com armadura distribuída contínua, localizadas no pátio H, de 15 cm de espessura, (apenas com armadura superior e sem a presença de barras de transferência). Sua armadura foi composta de treliças metálicas, com espaçamento de 80 cm entre si, e tela de aço, a mesmas usadas no piso de concreto, apoiada sobre essas treliças. Com cada placa de concretagem tendo áreas de 6, 14 e 15 m², dependendo da localidade da calçada.

Figura 59: Placa de calçada pronta para concretagem



(Autor, 2017)

Também se usou fibras no concreto das calçadas, também de 40 Mpa, na mesma dosagem que a dos pisos, sendo lançado de forma convencional, diretamente da bica do caminhão betoneira.

Figura 60: Concretagem de calçada



(Autor, 2017)

Na execução de alguns panos de concretagem, tiveram a necessidade de haver juntas de expansão, pois neles se encontravam elementos estruturais já existentes (manilhas de poste). Nestes panos se deixava uma parte retangular, abrangendo a manilha, isolada do restante do pano, em sua concretagem, para ser concretada alguns dias depois.

Figura 61: Junta de expansão



(Autor, 2017)

A obra teve sua primeira concretagem de piso no dia 08/08/17, o pano 1 – pátio H, tendo a última sendo realizada no dia 30/10/17, com a execução do pano 27 – pátio G.

Figura 62: Pátio H concluído



(Autor, 2017)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Produtividade da Obra

Nesta obra, a equipe responsável pelas etapas de colocação de lona plástica, montagem de fôrma, posicionamento de armação, concretagem, acabamento e cura do piso de concreto estruturalmente armado e execução e tratamento de juntas, serviços que foram terceirizados pela empresa vencedora da licitação, era composta por 7 ajudantes, 3 armadores e 4 pedreiros, sendo os ajudantes divididos em 3 para posicionamento de armação e 4 para execução da concretagem do piso.

A primeira atividade da empresa terceirizada na obra foi a preparação de dois panos para concretagem, com a concretagem de um deles ocorrendo apenas no dia seguinte, direcionando toda a equipe para estes serviços. No dia seguinte, a disposição das equipes pela manhã se dava com 4 pedreiros e 4 ajudantes na execução da concretagem, e acabamento do piso e 3 armadores e 3 ajudantes já realizando a montagem do próximo pano a ser concretado.

Após o fim do acabamento do pano, geralmente as 14 horas, a equipe de concretagem se dividia, indo 3 pedreiros e 3 ajudantes para a montagem do piso a ser concretado no próximo dia e 1 pedreiro e 1 ajudante para executar o corte das juntas do piso concretado no dia anterior e tratamento de juntas já executadas.

Esta distribuição de mão de obra e cronograma de atividades possibilitava se ter um piso pronto para concretagem toda manhã. No primeiro mês de obra, optou-se por uma pausa na concretagem na quarta-feira, já prevista no cronograma geral da obra, mas depois, por conta de atrasos em outras atividades da obra, acabou-se trabalhando para que todo os dias houvesse concretagem de piso.

Com esta distribuição de atividades e de equipe a execução de um pano de concretagem, da colocação da lona ao corte de sua junta, tinha duração de aproximadamente 1,5 dias.

Em média se teve uma área de 352,4 m² superficial concretada por dia, não contando as calçadas, e um consumo de aproximadamente 84 m³ por pano de concretagem.

6.2 Falhas e Dificuldades de Execução

A obra abordada apresentou algumas dificuldades em sua execução, como contratempos e falhas executivas. Estes fizeram haver a necessidade do aumento da carga horaria de alguns colaboradores, em determinados dias, e de mais dias trabalhados (sábados e domingos), para que o empreendimento não atrasasse, provocando um aumento no consumo de material, o que acarretou em um aumento no orçamento.

6.2.1 Planejamento de execução

O plano inicial de concretagem era de se executar todos os panos da parte central do pátio H, até o fundo, depois os panos do pátio F (enquanto se executava as canaletas nas extremidades do pátio H), em seguida terminar os panos da extremidade do pátio H, com concretagem alternada em cada lado e vinda do fundo para o início, e por fim executar os panos do pátio G.

Mas por conta de mudanças no projeto, atrasos em atividades, interferências não previstas no campo e execução de atividades não programadas o pano de concretagem acabou sendo bastante alterado.

A solução tomada foi a elaboração de uma programação de concretagem semanal que acabava por reger a global, que era feita de acordo com a situação atual da obra em cada semana. Por fim o plano de concretagem acabou tendo estas datas:

Figura 63: Datas das concretagens dos panos

DATA	CONCRETAGEM	PANO	PÁTIO	DATA	CONCRETAGEM	PANO	PÁTIO
08/ago	1*	1	H	19/set	26*	13.1	G
10/ago	2*	2	H			20	G
11/ago	3*	3	H	20/set	27*	11	H
14/ago	4*	4	H	21/set	28*	12	H
15/ago	5*	5	H	22/set	29*	13	H
17/ago	6*	6	H	25/set	30*	19	H
18/ago	7*	7	H	26/set	31*	20	H
21/ago	8*	8	H	27/set	32*	14	H
22/ago	9*	9	H	28/set	33*	15	H
24/ago	10*	10	H	02/out	34*	16	H
25/ago	11*	17	G	03/out	35*	21	H
28/ago	12*	18	G	04/out	36*	17	H
29/ago	13*	19	G	06/out	37*	21	G
31/ago	14*	1	F			22	G
01/set	15*	2	F	09/out	38*	18	G
04/set	16*	6	F	10/out	39*	23	G
05/set	17*	12	F	11/out	40*	24	G
06/set	18*	5	F	13/out	41*	22	H
09/set	19*	9	F	16/out	42*	14	G
11/set	20*	4	F	18/out	43*	25	H
12/set	21*	15	G	19/out	44*	26	H
13/set	22*	3	F	23/out	45*	23	H
14/set	23*	7	F	25/out	46*	24	H
		13	G	27/out	47*	16	G
15/set	24*	8	F	30/out	48*	27	G
18/set	25*	10	G				
		11	G				

(Autor, 2017)

6.2.3 Patologias no piso de concreto

Mesmo com uma equipe de execução treinada, matérias de qualidade, equipamentos em bom estado, um concreto dentro de todos os parâmetros para uso em pisos industriais e seguindo todas as diretrizes corretas de execução e tratamento do pavimento, ainda foram encontradas falhas no produto final da obra.

Uma delas foi o esborcinamento de uma placa de concreto. Pela disposição da concretagem, ocorreu que esta placa, pano 24 – pátio G, foi concretada com 3 de suas faces já limitadas por outras placas concretadas anteriormente, isso fez com que a mesma tivesse sua dilatação dificultada no sentido de sua maior dimensão. Mesmo com a execução das juntas de construção a ocorrência desta patologia não foi impedida.

A solução para o não avanço do esborcinamento foi o aumento da largura das juntas de construção, realizando mais um corte no concreto para que elas ficassem com 20 mm de largura. As placas 25, 26 e 27, também do pátio G, também se encontraram na mesma situação, mas o corte de suas juntas de construção já foi realizado com 20 mm de largura.

Figura 64: Detalhe do posicionamento das placas 24, 25, 26 e 27 do pátio G



(Autor, 2017)

Outra patologia bastante presente foi o aparecimento de fissuras ao redor das juntas de expansão. Estas fissuras se mostraram bem notórias e foram tratadas por meio de corte com profundidade de 5 mm, feito com uma maquina, por todo o seu traçado, sendo preenchido com material adesivo estrutural semi-flexível da marca Massadur adesivo.

Figura 65: Fissuras em torno de juntas de expansão



(Autor, 2017)

6.2.3 Falhas na execução da terraplenagem

Em alguns pontos, o subleito acabou por apresentar cotas inferiores as de projeto, esse problema foi identificado apenas na concretagem dos panos que abrangiam esses pontos mais baixos.

Dessa forma a espessura da placa de concreto nestes pontos acabava sendo maior do que a de projeto, 20 cm. Os primeiros panos a serem concretados, do tamanho padrão de 29,20 x 13,7 m, apresentaram a cota de terreno compactado bem abaixo da cota de projeto, acarretando em um acréscimo no consumo de concreto em sua contagem de quase 20 % do volume total estimado para o pano.

Para solucionar este problema se optou por uma correção da cota do subleito por meio do espelhamento e compactação de camadas de brita graduada simples, composta por brita 1, brita 0 e pó de brita.

Assim os panos concretados com esta correção tiveram o consumo de acordo com o previsto, havendo alguns com consumos menores do que o esperado para se tentar suprir o volume a mais usado nos panos com a cota do terreno mais baixa.

7 CONCLUSÃO

O pavimento industrial em concreto é um elemento semelhante a uma construção vertical, contendo fundação e estrutura. Para sua execução levar a um produto final satisfatório, todas suas etapas construtivas, desde sua base até o acabamento final, devem ser realizadas com um acompanhamento rigoroso de qualidade.

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou um acompanhamento detalhado da execução de todas as etapas necessárias para a execução de um piso industrial em concreto estruturalmente armado, ainda trazendo alguns possíveis problemas, e suas soluções, que podem ocorrer em sua execução.

Também permitiu uma apresentação didática deste tipo de construção, trazendo seu historio, seus diferentes tipos com suas características especiais, suas diferentes soluções para sua estrutura e os diferentes fatores determinantes para escolha dessas soluções, visando suprir a necessidade específica de cada tipo de obra.

Mesmo o concreto sendo bastante usado na construção civil, as tecnologias de tratamento atuais ainda não conseguem erradicar por completo a ocorrência se suas patologias, por conta de seu frágil comportamento. Nos pisos de concreto esta ocorrência de patologias acaba sendo facilitada por sua geometria com áreas bem maiores que sua espessura.

Este trabalho também teve a função de trazer um conhecimento necessário sobre pisos industriais em concreto, e suas estruturas em geral, para servir como material de apoio para a execução de alguma obra futura de mesma natureza ou a realização de pesquisas no assunto de concreto para áreas industriais. O trabalho também pode ajudar prevendo algumas intemperes que possam aparecer ao longo da execução.

Com a apresentação do estudo de caso (obra de pavimentação em concreto de pisos industriais) na forma de um “passo a passo” detalhando, ilustrado com fotografias de cada etapa, exemplificando materiais e equipamentos utilizados em todas as fases da execução do piso este trabalho também tem o intuito de servir como um “manual de execução” para obras semelhantes.

Também foi mostrado que mesmo seguindo todas as diretrizes de execução do piso, utilizando técnicas para o combate de patologias (fissuras e esborcinamento) e reforçando um concreto estruturalmente armado com fibras de retenção, ainda sim tais patologias ocorrem no piso acabado.

REFERÊNCIAS

- ACI, Committee 302. **Guide for Concrete Floor and Slab Construction**. ACI 302. 1R, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.
- AZEVEDO, André Luis C. de, & RAMALHO, Roner W. **Estabilização de Solos com Adição de Cal**. Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico, São Paulo, 2000.
- BALBO, José Tadeu. **Alguns Conceitos Diferenciadores dos Materiais Estabilizados com Cimento**. 7ª Reunião de Pavimentação Urbana, São José dos Campos/SP, 1996.
- BALBO, José Tadeu. **Materiais Granulares para Bases e Sub-bases de Pavimentos de Concreto**. Apostila do Curso Avançado de Pavimentos de Concreto, ABCP, 2003.
- BERNUCCI, Liedi Barriani... [etal.]. **Pavimentação Asfáltica, Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- BINA, P.; TEIXEIRA, A. O. F. **A Arte dos Pisos Industriais – do sistema de damos ao protendido**. Ibracon, São Paulo, 2002.
- CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pisos industriais de concreto**. São Paulo: ABCP, 2009.
- CHODOUNSKY, M. A., VIECILI, F. A. **Pisos industriais de concreto: aspectos teóricos e construtivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.
- CRISTELLI, Rafael. **Pavimentos Industriais de Concreto. Análise do sistema construtivo. Monografia, Escola de Engenharia UFMG**, 2010.
- DAL-MASO, Josiano. **Pisos industriais de concreto com armadura distribuída – projeto e execução**. Santa Maria, 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal da Santa Maria (UFSM, RS), 2008.
- DNER – ES 303. **Pavimentação – base estabilizada granulometricamente**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1997.
- FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos Solos**. Vol. I, FEUP, 1997.
- FIGUEIREDO, Antônio D. de. **Concreto com Fibras de Aço**. Boletim Técnico (BT-260), PCC-EPUSP, 2000.
- GUIMARÃES, Terraplenagem. **Aluguel de rolo compactador**. Disponível em: <http://www.terraplenagemguimaraes.com.br/wordpress/equipamentos/aluguel-de-rolo-compactador/> . Acesso em: 19 de novembro de 2017.
- HABITISSIMO. **Espaçador e lona plástica preta**. Disponível em: https://fotos.habitissimo.com.br/foto/espacador-e-lona-plastica-preta_472344 . Acesso em: 19 de novembro de 2017.

HACHICH, Waldemar, FALCONI, Frederico F., SALES, José Luíz, FROTA, Regis G. Q., CARVALHO, Celso Santos, & NIYAMA, Sussumu. **Fundações, Teoria e Prática**. Editora Pini, São Paulo, 1996.

OBRA, Doce. **Pisos e Revestimentos**. Disponível em: <https://casaconstrucao.org/revestimentos/piso-de-concreto/> . Acesso em: 19 de novembro de 2017.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. São Carlos, 216 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

PCA. **Fiber reinforced concrete**. Portland Cement Association, Skokie, 1991.

PINTO, Carlos Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Oficina de Textos, 2ª edição, São Paulo, 2002.

PITTA, Márcio Rocha. **Construção de pavimentos de concreto simples**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1989.

PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990.

PITTA, Márcio Rocha. **Projeto de Sub-bases para Pavimentos de Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Critérios de Projetos**. Revista Pisos Industriais, SP, 2003.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Controle da Fissuração do Overlay Aderido de Pontes e Viadutos**. ABPv, 373 Reunião Anual de pavimentação, Goiânia, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. et al. **Manual Gerdau de pisos industriais**. Ed. PINI, 1ª ed., São Paulo, 2006.

SCANIA. **Transporte de volume**. Disponível em: <https://www.scania.com/br/pt/home/products-and-services/trucks/industries/courier-express-and-postal.html> . Acesso em: 03 de outubro de 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. **O Solo-cimento no Estado de São Paulo**. 7ª Reunião de Pavimentação Urbana, 1996.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Vol. 1, Editora Pini, São Paulo, 1997.

STILL. **Transpaletes manuais**. Disponível em: <http://www.still.com.br/transpaletes-manuais-tx25.0.0.html> . Acesso em: 02 de outubro de 2017.

SPANNENBERG, Ralph H. **Use the Right Finishing Tool at the Right Time**. Concrete Construction Magazine, May, 1996.

TAMAKI, Luciana. **Reforço de Fibras**. Revista Técnica PINI 170ª Ed., São Paulo, 2011.

VIZZONI, Ronaldo. **Pavimento de Concreto: Solução sustentável e custo competitivo**. Seminário brazil road, 2015.

YODER, E. J. **Principles of pavements design**. John Wiley & Sons, Inc, 1959.

WIKIPÉDIA. **Sistemas de armazenagem**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_armazenagem . Acesso em: 02 de outubro de 2017.