



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

JOSÉ GERALDO MOREIRA DA SILVA

**PAVIMENTOS DE CONCRETO E A UTILIZAÇÃO DE FIBRAS METÁLICAS NA
COMPOSIÇÃO DOS PISOS INDUSTRIAIS COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA**

UBÁ – MG

2016

JOSÉ GERALDO MOREIRA DA SILVA

**PAVIMENTOS DE CONCRETO E A UTILIZAÇÃO DE FIBRAS METÁLICAS NA
COMPOSIÇÃO DOS PISOS INDUSTRIAIS COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Me. Liliane Souza Oliveira
Moni

UBÁ – MG

2016

RESUMO

Os pavimentos de concreto de alta performance são uma realidade na composição dos pisos de grandes galpões e indústrias. Destinados a suportar altas cargas de compressão devido ao peso dos estoques e maquinários, esses pisos são particularmente distintos dos pisos tradicionais por necessitarem suportar grandes solicitações de tração, em virtude do tráfego de veículos pesados nessas instalações. Para que esses pisos atendam a todas as solicitações de cargas, é importante que sejam elaborados por meio de projetos técnicos específicos e que utilizem, ao máximo, os recursos tecnológicos disponíveis atualmente no mercado. Este Trabalho de Conclusão de Curso se propõe apresentar a utilização de fibras metálicas compondo pavimentos de concreto simples como a alternativa mais eficiente na construção de pisos industriais de alta performance.

Palavras-chave: Pavimentos de concreto. Pisos industriais. Concreto. Concreto com adição de fibras metálicas.

ABSTRACT

High-performance concrete floors are a reality in the composition of the floors of large sheds and industries. Designed to withstand high compression loads due to the weight of stocks and machinery, these floors are particularly different from floors because they need to withstand heavy draws due to heavy traffic at these facilities. In order for these floors to meet all load requests, it is important that they be developed through specific technical projects and that use up to the maximum technological resources available in the market. This Course Completion Work is presented as a use of metallic fibers and concrete components as a more efficient alternative in the construction of high performance industrial floors.

Keywords: Concrete floors. Industrial floors. Concrete. Concrete with addition of metal fibers.

1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem experimentou o início da produção em massa e a tomada de controle no processo produtivo pelas grandes fábricas durante a Revolução Industrial, em meados do século XIX, não houve economia de esforços para se tratar o ambiente industrial o mais produtivo, e conseqüentemente, o mais lucrativo possível. Entretanto, o lucro máximo obtido pela burguesia era alcançado por meio de longas jornadas de trabalho dos operários e péssimas condições das instalações fabris.

Após a formação das associações e sindicatos, momento esse em que a classe operária reivindicou melhores condições de trabalho e jornadas de trabalho reduzida, houve a necessidade de repensar o arranjo produtivo de forma que, igualmente lucrativo, também fosse confortável e salutar para todos os trabalhadores. Teóricos também começaram a produzir estudos relacionados à atividade fabril e o seu impacto na qualidade de vida dos operários, podendo ser citados Henri Fayol, Henry Ford e Max Weber, pioneiros da Administração, conforme ensina Chiavenato (2014).

Já no século XXI, experimentando grandes avanços tecnológicos e sociais e principalmente a quebra das fronteiras físicas e virtuais, concebidas através do fenômeno da globalização e do surgimento da internet, as grandes indústrias se tornaram mais competitivas, uma vez que não havia mais um limite geográfico para sua atuação. Surgiram então, estruturas gigantescas destinadas a produzir e enviar produtos a qualquer parte do planeta.

Todo esse processo de crescimento implementado por grandes indústrias foi então repensado por uma equipe multidisciplinar contendo, basicamente, administradores, contadores, psicólogos, advogados, arquitetos e claro, engenheiros. Aos últimos, foi incumbida a tarefa de projetar máquinas e instalações, além de pensar o processo produtivo e preocupar-se com as condições de trabalho dos trabalhadores e os impactos que os empreendimentos poderiam gerar ao meio ambiente.

Às tarefas pertinentes aos engenheiros civis, nesse grande conjunto, podem ser incluídas todas aquelas que exijam a criação e manutenção das instalações físicas dessas grandes indústrias e a conservação do espaço criado, desenvolvendo

projetos estruturais que atendam às necessidades desses grandes complexos industriais.

Dentre os projetos estruturais desenvolvidos pelo engenheiro civil em uma grande indústria, um dos mais importantes é a criação de um excelente projeto de pavimentação, popularmente conhecido como “piso industrial”, segundo Rodrigues (2010). Os pisos industriais precisam, necessariamente, resistir a uma alta carga de tração e compressão, provenientes dos pesos dos maquinários, da circulação de operários e o agrupamento da matéria prima, além do trânsito dos veículos de transporte de cargas. Quanto maiores forem as cargas atuantes, mais preciso e eficiente precisa ser o projeto e a execução de um piso industrial.

O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é apresentar a execução dos projetos de piso industrial de alta performance, dos quais se destacam os pavimentos de concreto simples com adição de fibras de aço em sua composição como melhor alternativa no processo de pavimentação, comparados aos tradicionais pisos de concreto armado com malhas de aço, conforme comprova o estudo de caso na seção 2.2. Esse trabalho não abordará o processo de dimensionamento dos pavimentos, entretanto realizará os todos os comentários que se fizerem necessários para o entendimento do processo executivo em fundação direta, ou seja, em terrenos capazes de absorver as cargas neles atuantes.

Em tempos de mercado competitivo, faz-se necessário avaliar o melhor custo/benefício no momento de projetar e executar uma obra de engenharia civil. Sendo assim, torna-se importante pensar na melhor alternativa para produzir resultados duráveis e satisfatórios, adotando o menor custo possível, justificando o tema proposto.

2 DESENVOLVIMENTO

De acordo com a Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (ANAPRE)¹, o mercado de pavimentação em concreto iniciou seu desenvolvimento nos anos 1980, quando os revestimentos autonivelantes de resina chegaram ao mercado revolucionando o segmento em função de suas propriedades físicas e químicas, além de sua estética e facilidade de conservação e limpeza.

¹ <http://site.anapre.org.br>

Embora o mercado estivesse atravessando uma fase generalizada de instabilidade econômica na década de 1990, o fenômeno da globalização capacitou diversos setores da indústria, principalmente automotivo, alimentação, papel e farmacêutico a investirem no ampliação de suas atividades e demandar uma gama de soluções específicas.

Nesse cenário, um grupo formado por fabricantes de revestimentos e equipamentos, consultores e tecnólogos foi criado para normatizar os vários tipos de revestimentos, aplicações e processos construtivos para os pavimentos de concreto e seu correto revestimento. Logo, uma plataforma mercadológica deveria ser criada no intuito de expandir de forma organizada o setor. Em 2004 então, foi oficialmente instituída a ANAPRE, cuja

finalidade principal da Associação é trabalhar de forma participativa e compromissada com a qualidade e com a permanente atualização tecnológica, através de ações que promovam o crescimento sustentado do mercado de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (RAD). (ANAPRE, 2016)².

Segundo a ANAPRE (2009, *apud* Cristelli, 2010), os pisos industriais são definidos como elementos estruturais capazes de resistir e distribuir esforços verticais provenientes dos carregamentos ao subleito e são “considerados como elemento de grande importância para logística de operação das empresas, visto que é sobre ele que as atividades produtivas se realizam, proporcionando movimentação de cargas e equipamentos” (ANAPRE, 2009, *apud* CRISTELLI, 2010, p. 25).

Com base no exposto, faz-se necessário dissertar sobre a composição e a execução dos pisos industriais, bem como analisar os sistemas executivos mais eficientes oferecidos pelo mercado nos dias de hoje.

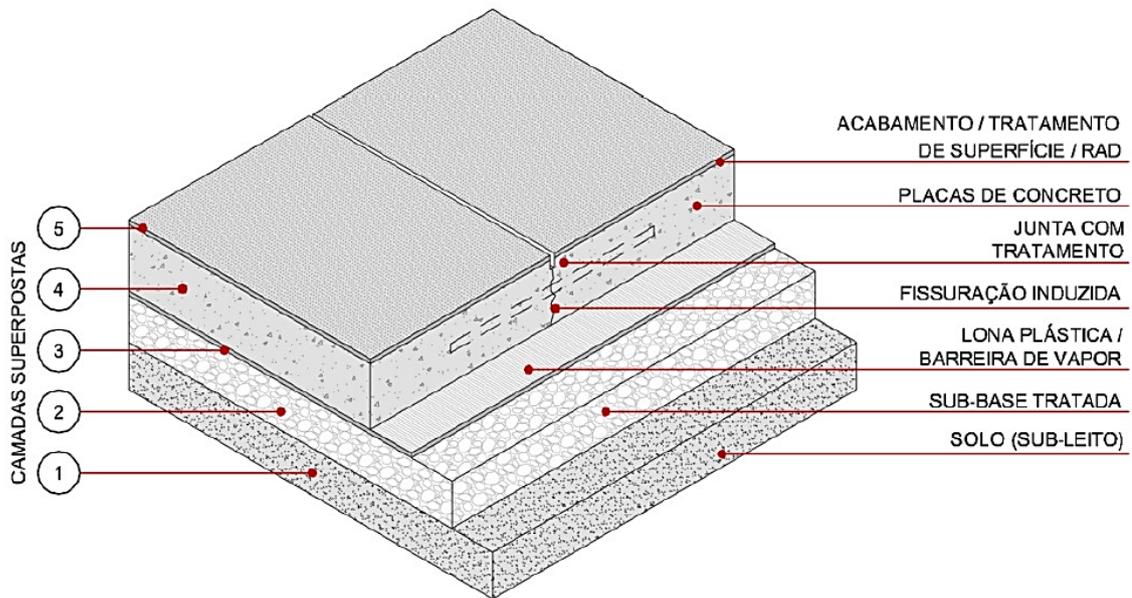
2.1 O sistema de pavimentação industrial em concreto e seus componentes

Segundo Rodrigues (2010), o sistema de pavimentação industrial em concreto é constituído basicamente por cinco camadas principais sobrepostas. A fundação direta, ou seja, o solo, representa a primeira camada e também é nomeada pela literatura especializada como subleito. A seguir, prepara-se a sub-base: camada que receberá a base, constituída pelo maciço de concreto simples ou

² *Ibidem*

estruturado com armaduras de aço, a depender do projeto desenvolvido. Entre a sub-base e a base normalmente, aplica-se uma lona plástica, com a função de impedir que o concreto perca água para a sub-base. Finalizando o processo executivo, a última camada representa a superfície tratada, polida ou recipiente de alguma resina com a finalidade de garantir a durabilidade do piso construído. A FIG. 1 apresenta a disposição das camadas citadas nesse parágrafo.

FIGURA 1 – Principais componentes do sistema construtivo de pisos industriais



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 26)

2.1.1 Preparação do subleito (solo)

As atividades referentes à preparação do subleito iniciam-se com os serviços de terraplenagem e sua regularização resume-se na correção e compactação do terreno escolhido, conforme orienta Balbo (2009). Essencialmente, a compactação do solo tem a função de aumentar o contato entre os grãos e tornar o terreno mais homogêneo, elevando sua densidade e diminuindo o índice de vazios do solo, conforme se verifica em Pinto (2006). Além disso, é papel da compactação ser empregada nos solos com o intuito de reduzir futuros recalques, aumentar a rigidez e a resistência do solo, além de reduzir a permeabilidade, ou seja, diminuir sua

capacidade de transportar fluidos, mais especificamente, a água, ainda em conformidade aos ensinamentos de Pinto (2006).

“Na compactação, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes; o aumento da massa específica corresponde à eliminação de ar dos vazios” (PINTO, 2006, p. 78). Em determinado momento, com um certo teor de umidade, a compactação não mais consegue expulsar o ar presente no solo. Dessa forma, para uma quantidade de energia aplicada obtém-se um teor de umidade que conduz a uma densidade seca máxima, de acordo com Pinto (2006), consoante aos ensinamentos de Ralph Proctor.

Referência mundial em geotecnia, o engenheiro americano Ralph Proctor desenvolveu e normatizou pela primeira vez em 1933 os ensaios de compactação do solo. No Brasil, a execução do ensaio possui os mesmos preceitos do geotecnista e é regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela Norma Brasileira Recomendada (NBR) 7182, de 1986 – Ensaio de Compactação.

A NBR 7182 (ABNT, 1986) define que o ensaio deve ser inicializado com solo previamente seco e destorroado. A seguir, é acrescentada água suficiente para que o solo fique com cerca de 5% a menos de sua umidade ótima. Visualmente, a umidade ótima representa o teor de água presente no solo muito próximo de conceder a ele uma aparência plástica, moldável.

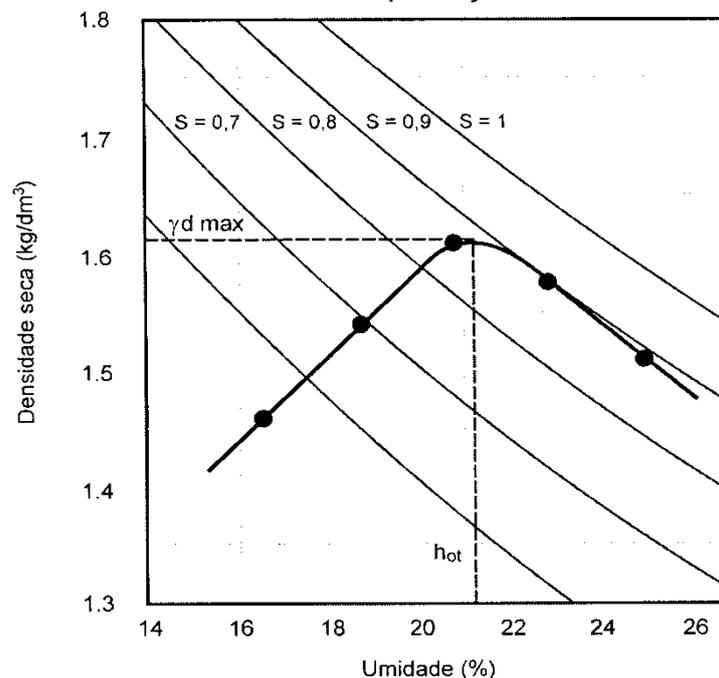
Após a umidade regularizada, coloca-se o solo em um recipiente a ser ensaiado em camadas e quantidades definidos em norma, cujo método de preparo e aplicação de energia é igualmente descrito. O objetivo, nesse processo, é determinar a massa específica do solo e compará-la à umidade preestabelecida.

O ensaio se repete aumentando o teor de umidade do solo e repetindo o ensaio para determinar a massa específica até o ponto em que após duas tentativas sucessivas, a massa específica se mantém constante. A interpretação desse fato é que, nesse momento, a amostra já expulsou de seu interior todo o ar possível.

Após a realização do ensaio, monta-se um gráfico no qual, para cada teor de umidade adotado no eixo das abscissas, encontrou-se uma densidade seca no eixo das ordenadas. Os pontos de cada ensaio são inseridos no gráfico e uma curva é traçada. O ápice da curva representa a umidade ótima de compactação do solo, conforme apresenta a FIG. 2. Notam-se ainda curvas auxiliares, denominadas “S”. Essas curvas representam o grau de saturação do solo, sendo 1 representando

100% de saturação para o solo amostrado. Segundo Pinto (2006, p. 80), o “solo pode estar em qualquer posição da curva de saturação, mas nunca acima dela”. Isso porque supersaturado, “as forças de atração entre os grãos são desfeitas e começam a atuar como partículas dispersas em água”³. Ainda segundo Pinto (2006), os pontos ótimos situam-se entre 0,9 e 1 da curva de saturação. Para pavimentos rígidos, recomenda-se que estes pontos estejam entre 0,95 e 1, aceitando-se como excelentes os pontos acima de 0,98, segundo a ANAPRE (2016)⁴.

FIGURA 2 – Curva de compactação obtida em ensaio



Fonte: (PINTO, 2006, p. 79)

Após compactado, é necessário reconhecer a resistência desse solo e entender o comportamento que ele atinge ao ser saturado. Para esse caso, é adotado o ensaio normatizado pela NBR 9895 (ABNT, 1987). A norma “prescreve o método para determinar o valor do Índice de Suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratório” (ABNT, 1987, p. 1).

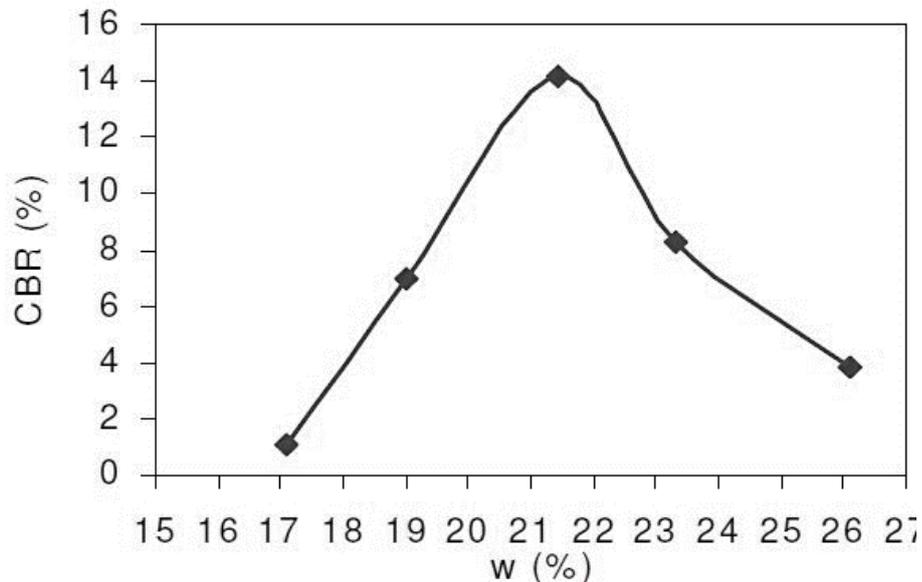
O ISC é mais conhecido pela sigla CBR, que significa *California Bearing Ratio*. Basicamente, o ensaio determina a relação entre a pressão exercida por uma peça para penetrar até determinada profundidade em um solo estabilizado e com umidade ótima e a pressão necessária para que a mesma peça penetre no solo de

³ <https://sites.google.com/site/geotecniaefundacao/terraplenagem/compactacao-de-solos>

⁴ <http://site.anapre.org.br/>

referência. Do resultado, obtém-se o índice CBR, expresso em porcentagem, que correlaciona o índice de umidade utilizado na compactação à resistência adquirida pelo solo nesse processo, conforme ilustra a FIG. 3.

FIGURA 3 – Curva do índice CBR expresso em função da umidade ótima (w)



Fonte: (GEOTECNIA E FUNDAÇÃO, 2016)⁵

Segundo a ANAPRE (2016)⁶, para que um solo seja caracterizado como subleito, ele deve possuir CBR mínimo de 10% e expansibilidade do solo saturado em no máximo 1% de seu volume, quando seco. Valores inferiores a 10% de CBR representam solos fracos, com necessidade de reforço, geralmente realizados com pedra brita e expansibilidade maior que 1% representa um solo com elevado índice de permeabilidade, podendo comprometer o piso acabado. Pode ser observado, na FIG. 4, um solo compactado com essas características, escarificado e preparado para receber a sub-base. A imagem em questão faz parte do processo executivo do piso industrial da empresa Móveis Itatiaia S/A, realizado na cidade de Sooretama, no Estado do Espírito Santo (ES).

⁵https://sites.google.com/site/geotecniaefundacao/_/rsrc/1382791489899/terraplenagem/compactacao-de-solos/FIGURA%2010.JPG.

⁶ <http://site.anapre.org.br/>

FIGURA 4 – Solo compactado em condições ideais de projeto



Fonte: (ACERVO DO AUTOR, 2013)

2.1.1 Sub-base

Segundo Balbo (2009), a sub-base é a camada intermediária entre o subleito e o piso de concreto, responsável pelo bom desempenho do piso. A sub-base faz-se necessária em virtude do caráter instável do solo, que mesmo apresentando-se compactado nos níveis recomendados em obra, possui substâncias agressivas ao concreto.

De acordo com Pitta (1990, *apud* CRISTELLI, 2010), a construção da sub-base é importante para evitar o bombeamento de solos finos, fenômeno que ocorre quando, ao ser supersaturado, a porção de finos do solo constituinte do subleito tende a se propagar pelas juntas das placas de concreto e emergir na superfície do piso, sob ação do alto carregamento a que ele está sendo submetido. Além do mais, é função da sub-base “uniformizar o comportamento mecânico da fundação ao longo do piso, distribuindo as tensões oriundas do carregamento em áreas maiores de suporte” (PITTA, 1990, *apud* CRISTELLI, 2010, p. 54).

Segundo Levy (2009)⁷, as sub-bases são podem ser divididas em dois grupos: as granuladas e as estabilizadas. Consideram-se granuladas as sub-bases compostas por materiais inertes de diversas granulometrias, como as rochas britadas, por exemplo. Já as estabilizadas um composto de solo e algum tipo de aglomerante. As sub-bases estabilizadas mais comuns são as compostas por solo melhorado com cimento, brita de baixa granulometria tratada com cimento (BGTC), e solo-cal. Dessas, as sub-bases compostas por solo melhorado com cimento são as que apresentam melhor desempenho. Segundo Cristelli (2010, p. 58), “suas propriedades garantem significativa diminuição das deformações do terreno, pois as tensões transmitidas ao subleito são reduzidas, o que assegura ganho de qualidade estrutural ao pavimento”.

Em conformidade com Levy (2009)⁸, as sub-bases devem ser caracterizadas por meio de ensaios laboratoriais. Quando granulares, devem ser submetidas aos ensaios normatizados pela NBR 7181 (ABNT, 1984) – Solo: Análise granulométrica. Se estabilizadas, devem possuir laudo que ateste as resistências à compressão e à tração axial. A FIG. 5 apresenta a realização de sub-base composta por brita, uma das técnicas mais utilizadas na composição dos pisos industriais

⁷ http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao15.asp

⁸ *Ibidem*

FIGURA 5 – Sub-base de solo melhorado com cimento



Fonte: (ECOSUL, 2016)⁹

2.1.3 Lona plástica

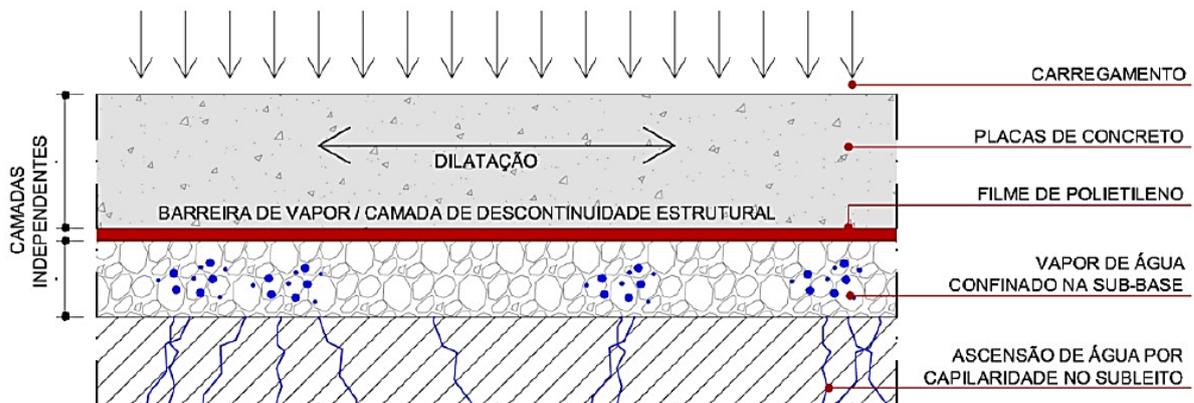
De acordo com Hovaghimian e Rodrigues (2008)¹⁰, as lonas plásticas de polietileno formam barreiras de vapor, evitando que o calor e o vapor de água vindos do solo e aprisionados na sub-base atinjam a placa de concreto ainda em seu estado fresco, evitando bolhas de ar e auxiliando o concreto a manter presente em sua constituição toda a água de amassamento, auxiliando assim, a cura.

Complementando, Cristelli (2010) afirma que a lona plástica “garante boas condições de movimentação das placas em decorrência das variações de comprimento por retração e dilatação térmica do piso de concreto, caracterizando o sistema como placas não-aderidas” (CRISTELLI, 2010, p. 63). A FIG. 6 ilustra o comportamento das lonas plásticas constituindo parte do pavimento de concreto.

⁹ <http://blog.ecosul.com.br/wp-content/uploads/2013/12/Bloqueio-para-sub-base-Amanda-Montagna-STE-S.A.jpg>

¹⁰ http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao5.asp

FIGURA 6 – Comportamento de lonas plásticas no pavimento de concreto



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 63)

2.1.4 Placas de concreto

A quarta camada do pavimento industrial é composto pelas placas de concreto. De acordo com Hovaghimian e Rodrigues (2008)¹¹, a placa de concreto é “o elemento estrutural mais importante, pois é ela que vai absorver todos os carregamentos do piso, transferindo-os para a fundação”.

As placas de concreto devem trabalhar sempre no regime elástico, ou seja, não devem sofrer deformações permanentes. Para garantir a integridade do sistema do piso, “as placas devem ser tratadas adequadamente e podem receber diversos tipos de revestimentos, sendo sua superfície [...] solicitada a promover ancoragem eficiente para estes compostos. (CRISTELLI, 2010, p. 65).

2.1.4.1 O concreto

Segundo Bauer (2003), o concreto é o resultado da mistura, em proporções distintas, de cimento, areia, pedra e água. Ao ser hidratado pela água, o cimento forma uma pasta aderente aos demais agregados e através de reações químicas, endurece adquirindo elevada resistência à compressão. A dosagem das proporções ideais empregadas na produção da mistura é denominada “traço” e cada aplicação do concreto na construção civil possui um traço específico para sua finalidade. Nos pisos industriais, o traço de concreto empregado deve fornecer altas resistências à

¹¹ http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/edicao5.asp

compressão e uma considerável resistência à tração, a depender da carga atuante. Também deve proporcionar resistência aos agentes agressivos, tanto oriundos do solo, quanto provenientes da superfície de contato com o ambiente externo. Além disso, o concreto para pisos deve possuir baixa porosidade, a fim de elevar seu grau de durabilidade e impermeabilidade.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) – Concreto: controle, preparo e recebimento, estabelece um critério entre as classes de agressividade do ambiente e o impacto que essa agressividade pode gerar no concreto. Segundo a norma, pisos industriais de concreto possuem classe de agressividade III. Nesse caso, a relação água/cimento em massa deverá ser menor ou igual a 0,55 e consumo de cimento por metro cúbico de concreto maior ou igual a 320 kg/m³. Além disso, a resistência à compressão característica do concreto produzido nessas condições deverá ser igual ou superior a 30 MPa aos 28 dias de idade.

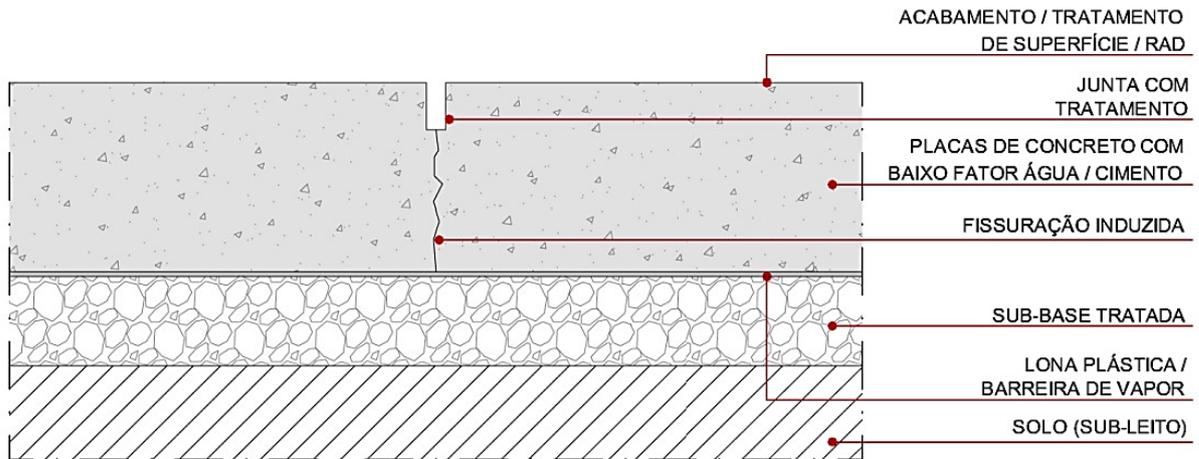
Como precisam possuir uniformidade, o ideal para os pisos industriais é que tenham o concreto fornecido por centrais dosadoras, dotadas de um sistema capaz de garantir a qualidade por meio de um rigoroso controle tecnológico de fornecimento. Além do mais, as centrais dosadoras possuem capacidade de atender às demandas de projeto em casos especiais, com a utilização de aditivos plastificantes para obter a trabalhabilidade desejada no lançamento do concreto, aditivos redutores de água para aumentar a resistência desejada, incorporadores de ar para evitar a exsudação, retardadores de pega para evitar a retração e fissuração do concreto e aditivos impermeabilizantes, responsáveis por ocluir os poros do concreto e reduzir a permeabilidade de água para seu interior.

2.1.4.2 Placas de concreto simples

Segundo Botelho e Marchetti (2015), os pisos industriais podem ser de concreto simples ou reforçado. No piso de concreto simples, os esforços atuantes são resistidos apenas pelo concreto, resultando pavimentos de espessura elevada e muitas vezes com baixa resistência à tração. “As áreas pavimentadas recebem juntas serradas [...] para a indução de fissuração em pontos específicos, combatendo retração, dilatação térmica e empenamento das placas” (CRISTELLI, 2010, p. 31).

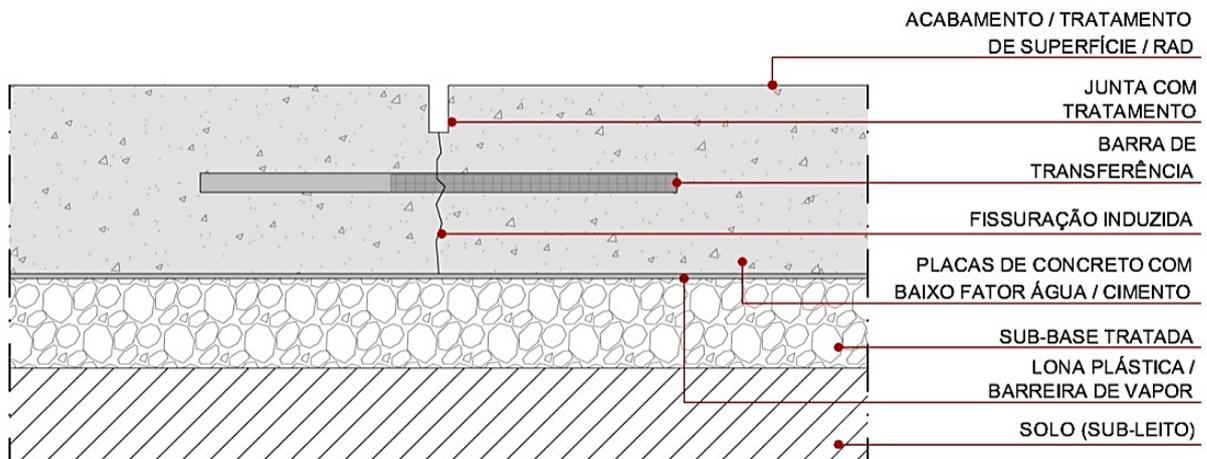
Em conformidade aos ensinamentos de Oliveira (2000, apud CRISTELLI, 2010), barras de transferência de esforços podem ser aplicadas entre as placas de concreto, melhorando seu desempenho e evitando patologias nas áreas de junta. A FIG. 7 apresenta a aplicação de juntas nos pisos de concreto simples e a FIG. 8 apresenta a aplicação da barra de transferência como componente auxiliar do sistema construtivo.

FIGURA 7 – Esquema de pavimento de concreto simples sem barra de transferência



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 32)

FIGURA 8 – Esquema de pavimento de concreto simples com barra de transferência



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 32)

Nesses casos, a quantidade de cimento deve ser elevada para aumentar a resistência do material e combater os esforços solicitantes, em conformidade com Oliveira (2000, *apud* CRISTELLI, 2010). Invariavelmente, a relação água/cimento é o fator que determina a eficiência e resistência do concreto. Sendo assim, uma quantidade mais elevada de cimento necessita de uma menor quantidade de água para elevar sua resistência.

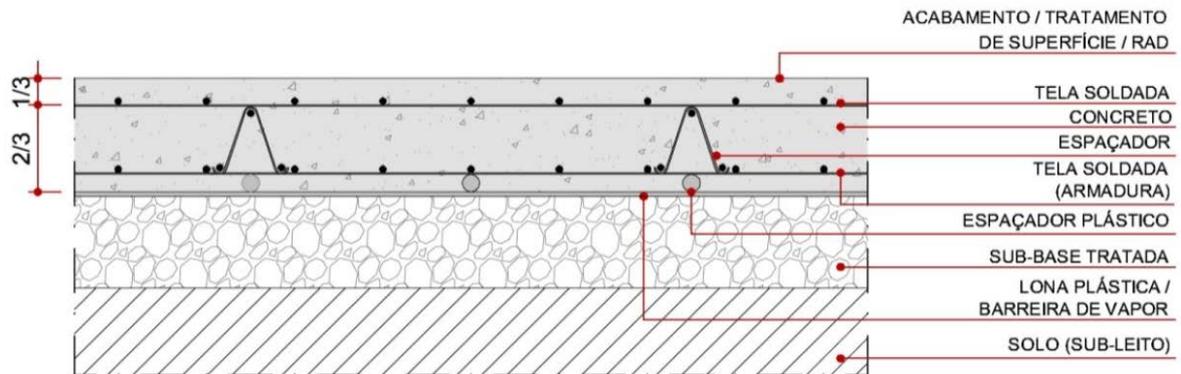
2.1.4.3 Placas de concreto estruturalmente armado

Nos pisos industriais de concreto reforçado, utiliza-se um conjunto de malhas de aço estruturando toda a pavimentação. Esse tipo de piso suporta altos carregamentos e possui dois níveis de armadura. O primeiro, espaçado de cerca de 3 centímetros da base do piso, é responsável por combater os esforços de tração. O segundo, espaço da superfície na altura de 1/3 da espessura da placa, é responsável por combater as fissuras por retração plástica, conforme orienta Botelho e Marchetti (2015)

As vantagens desse sistema é o a resistência elevada das placas a possibilidade da utilização de placas mais finas de concreto, respeitando, no entanto, as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014), que normatiza as obras de concreto armado. Nela, são definidas espessuras mínimas para pisos e recobrimento da estrutura. Segundo Oliveira (2000 *apud* CRISTELLI, 2010, p. 37), “as placas de concreto estruturalmente armado possuem, em média, 15 metros de comprimento e de 14 a 16 centímetros de espessura”.

Além disso, a concretagem das placas também exige a presença de barras de transferência, para garantir um comportamento estrutural mais uniforme. Nesse tipo de piso, utiliza-se menos junta, porém, devem se fazer presentes. A FIG. 9 apresenta o esquema do sistema construtivo de um piso estruturalmente armado.

FIGURA 9 – Esquema de pavimento de concreto estruturalmente armado

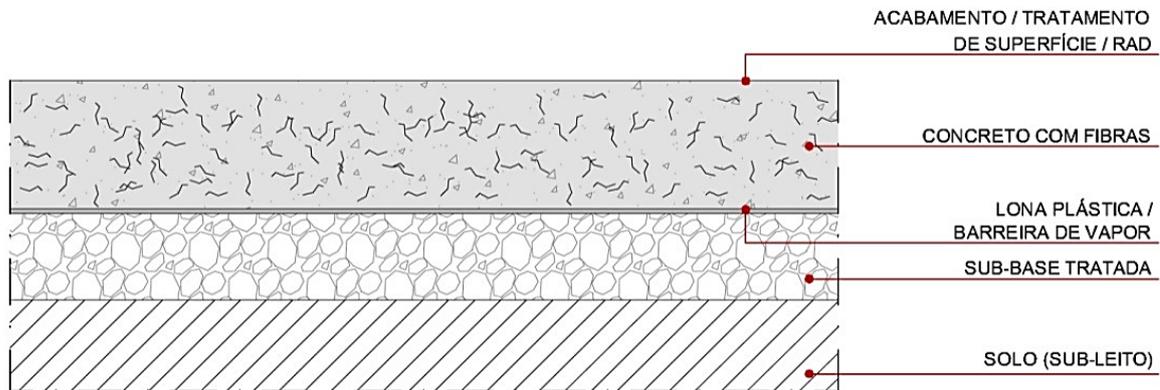


Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 37)

2.1.4.4 Placas de concreto simples reforçado com fibras

As placas de concreto simples reforçado com fibras dispensam as armaduras, e segundo Chodounsky (2007 *apud* CRISTELLI, 2010, p. 40) “resistem bem aos esforços de tração, devido ao seu alto módulo de deformação, gerando um material com “alto índice de ductibilidade e boa capacidade de redistribuição dos esforços”. As fibras, sintéticas ou naturais, orgânicas ou inorgânicas, são produzidas a partir de materiais de alta resistência e misturadas ao concreto antes do lançamento. A FIG. 10 apresenta o esquema de um piso industrial de concreto reforçado com fibras.

FIGURA 10 – Esquema de piso industrial de concreto reforçado com fibras



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 40)

2.1.5 Juntas

Segundo Rodrigues e Gasparetto (2003, *apud* CRISTELLI, 2010), as juntas controlam as variações de umidade e calor promovidas nas placas de concreto, permitindo a movimentação do material, que dilata e retrai em decorrência de variações climáticas. Sem as juntas, o bloco unitário não teria condições de expansão e retração e trincaria nas regiões de maior solicitação. As juntas por sua vez, induzem essas trincas em locais predeterminados e redistribuem os esforços para as placas vizinhas, assegurando a qualidade do piso e o conforto do rolamento dos veículos. As juntas são classificadas em três tipologias e a utilização do conjunto garante um desempenho satisfatório em obra. São elas: juntas de construção, juntas serradas e juntas de encontro.

2.1.5.1 Juntas de construção

As juntas de construção são formadas em virtude do tamanho da obra em contrapartida à quantidade de piso concretado em determinado espaço de tempo. Sendo o piso maior do que a possibilidade de construí-lo em uma única etapa, as juntas de construção fazem-se necessárias. Constituídas por barras de transferência, as juntas auxiliam as transferências de cargas de um piso para outro e garantem a unidade e planicidade do piso concebido. A FIG. 11 ilustra o esquema da junta de construção e a FIG. 12 apresenta o conjunto de barras de transferência da primeira etapa de um piso, aguardando a concretagem seguinte.

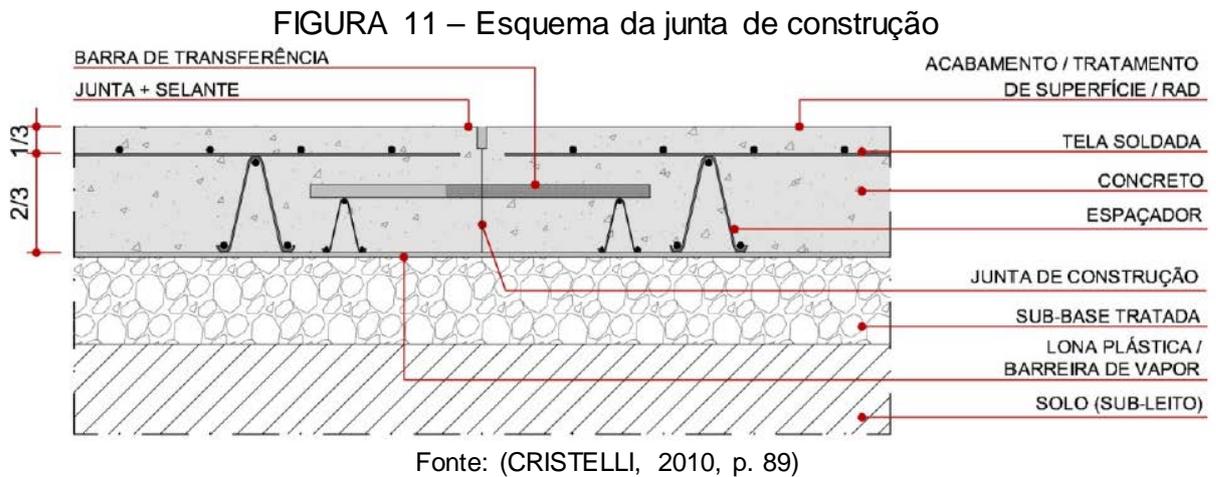


FIGURA 12 – Piso industrial de concreto estruturalmente armado composto por sistema de barras de transferência de esforços



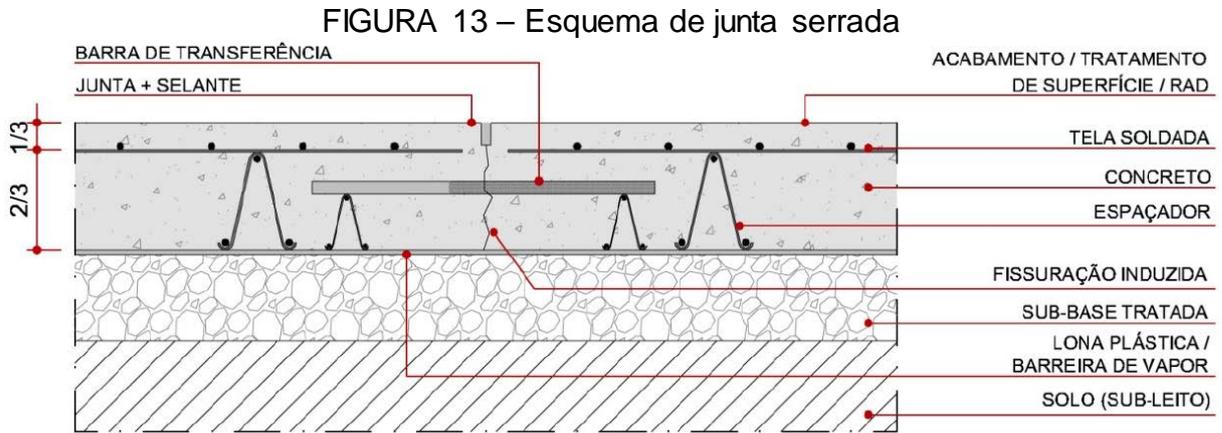
Fonte: (MANETONI, 2016)¹²

2.1.5.2 Juntas serradas

As juntas serradas se fazem presentes para induzir a fissuração causada pela retração do concreto. Produzidas com discos diamantados e máquinas específicas, as juntas serradas inibem trincas nos pontos de maior solicitação dos esforços do piso. “ Para que a junta serrada trabalhe na seção planejada, é necessário que o corte tenha profundidade de no mínimo 40 mm e pelo menos 1/3 da espessura do piso. A abertura do corte é definida pelo disco de corte utilizado,

¹² <http://www.manetoni.com.br/img/arquivos/barra-transferencia2.jpg>

normalmente próximo a 3 mm.” (CECCATO, 2009)¹³. A FIG. 13 mostra o esquema de uma junta serrada.



No caso de operação de empilhadeiras de rodas rígidas, o preenchimento das juntas deve ser realizado com epóxi semirrígido. Nos demais casos, o preenchimento pode ser feito, por exemplo, com selante de poliuretano. O momento do preenchimento deverá ser retardado o máximo possível, para evitar problemas com os materiais de preenchimento (CECATTO, 2009)¹⁴.

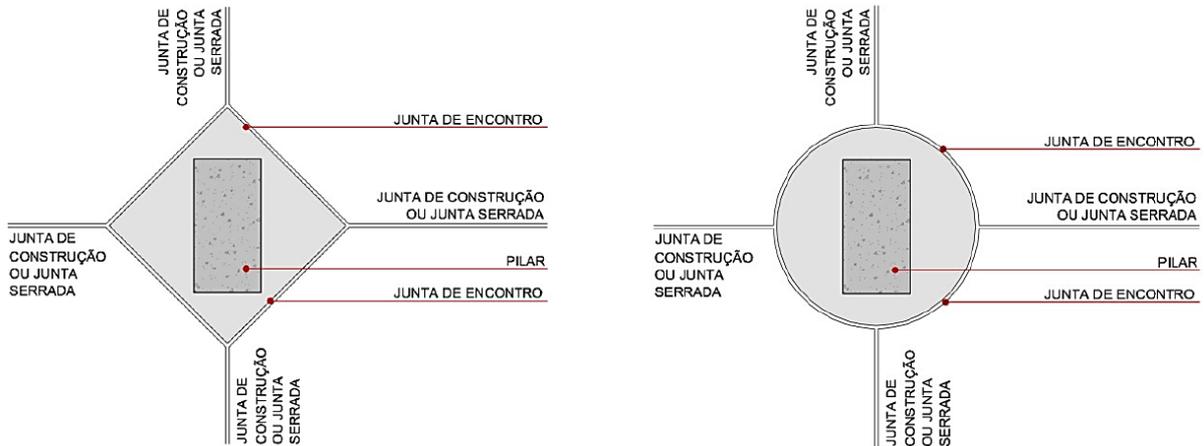
2.1.5.3 Juntas de expansão

As juntas de encontro ou expansão são as juntas previstas para isolar o piso das estruturas adjacentes, como vigas baldrames, pilares, bases de estruturas metálicas, entre outras peças, que não devem se associar aos pisos durante a concretagem. Como distanciadores, devem ser utilizados materiais compressíveis de boa resiliência, como os isopores, por exemplo. Além disso, as peças citadas necessitam de um reforço de armadura em seus arredores, com o intuito de minimizar a transferência de esforços e evitar assim, o aparecimento de fissuras ou trincas no piso. A FIG. 13 representa as juntas de encontro ideais para pilares. Também são necessárias no encontro dos pisos com as paredes e com qualquer outra peça estrutural que caracterize um impedimento na continuidade do piso.

¹³ <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/151/melhores-praticas-execucao-de-juntas-de-piso-de-concreto-285780-1.aspx>

¹⁴ <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/151/melhores-praticas-execucao-de-juntas-de-piso-de-concreto-285780-1.aspx>

FIGURA 13 – Juntas de encontro ideais para pilares



Fonte: (CRISTELLI, 2010, p. 92)

Caracterizados os principais componentes de um piso industrial, cabe ao projetista avaliar a melhor alternativa que se enquadre nas especificações gerais de uso. O início do projeto se dá, via de regra, pelo levantamento das cargas atuantes no piso e sua natureza: cargas pontuais, distribuídas e móveis, e a partir dessas informações, o engenheiro torna-se capaz de escolher o tipo de piso mais apropriado para essa obra e realizar seu dimensionamento e posterior detalhamento técnico. Para todos os casos possíveis, o piso deverá ser projetado para a possibilidade de carregamento mais crítico, assim como todas as estruturas de concreto, conforme orientação da NBR 6118 (ABNT, 2014) – Projetos de estruturas de concreto: Procedimento.

Na seção 2.2 será apresentado um estudo de caso da pavimentação de um piso industrial realizado na cidade de Sooretama, ES. O projeto elaborado previa um alto carregamento sobre o piso, que fazia necessária a elaboração de um projeto de piso estruturalmente armado ou em concreto protendido. Entretanto, a equipe técnica realizou uma abordagem diferenciada, sugerindo a execução da obra com pavimentação simples de concreto reforçado com fibras de aço para, além de atender às exigências estruturais, permitir um custo reduzido.

2.2 Estudo de caso

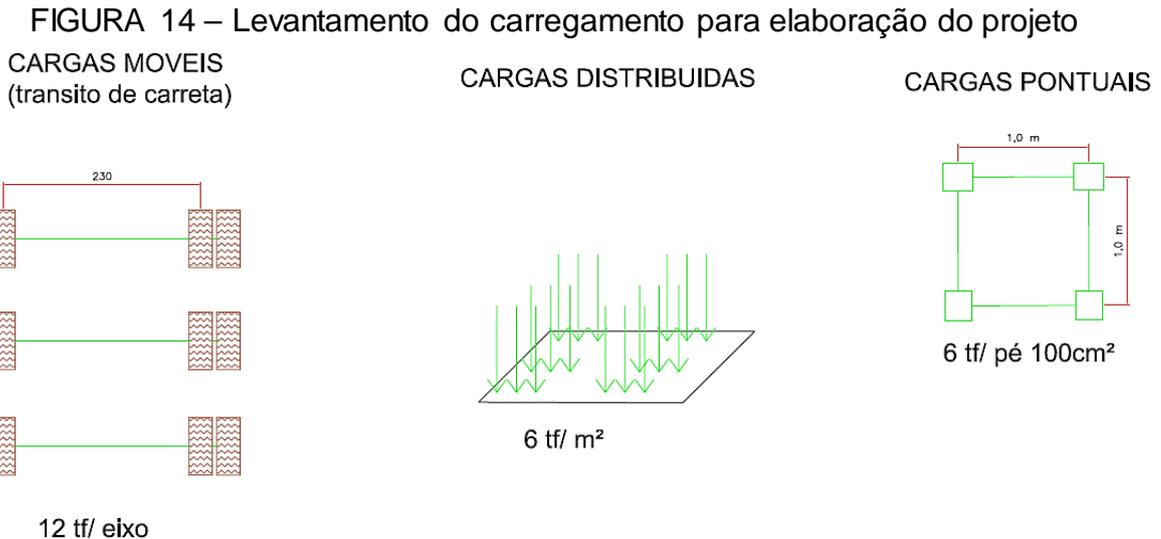
Segundo Ventura (2007, *apud* Yin, 2001, p. 384), “o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados”.

Os dados presentes nesse estudo de caso foram fornecidos pela empresa Itatiaia Móveis S/A e correspondem ao projeto e execução de um pavimento industrial realizado na unidade fabril da cidade de Sooretama, ES, em agosto de 2012. O projeto torna-se peculiar por não ter sido elaborado em concreto estruturalmente armado ou protendido, mesmo com a incidência de altas cargas sobre o piso, provenientes de maquinário, estoque de matéria prima e produtos acabados e trânsito intenso de veículos, como empilhadeiras.

Na busca de uma solução viável estruturalmente e igualmente eficiente do ponto de vista econômico, a empresa Itatiaia Móveis contratou a empresa Projeton Consultoria, de Belo Horizonte, MG, especializada em soluções e projetos de pisos industriais para elaborar o projeto da pavimentação de cerca de 36000m² do galpão da nova unidade. Das soluções apresentadas pela empresa Projeton, a Itatiaia Móveis escolheu a pavimentação em concreto simples com adição de fibras de aço. Pode ser analisado, no final do estudo, um comparativo dos custos atualizados entre a pavimentação em concreto armado e a pavimentação em concreto simples com adição de fibras de aço, demonstrando o reduzido custo desse último em relação ao primeiro.

2.2.1 O projeto

O projeto técnico elaborado pela empresa Projeton previu uma série de especificidades para que o pavimento solicitado pudesse ter o resultado pretendido. O levantamento do carregamento aplicado forneceu dados suficientes para o dimensionamento do piso e a elaboração do processo executivo, conforme ilustra a FIG. 14



Fonte: (PROJETON, 2012)

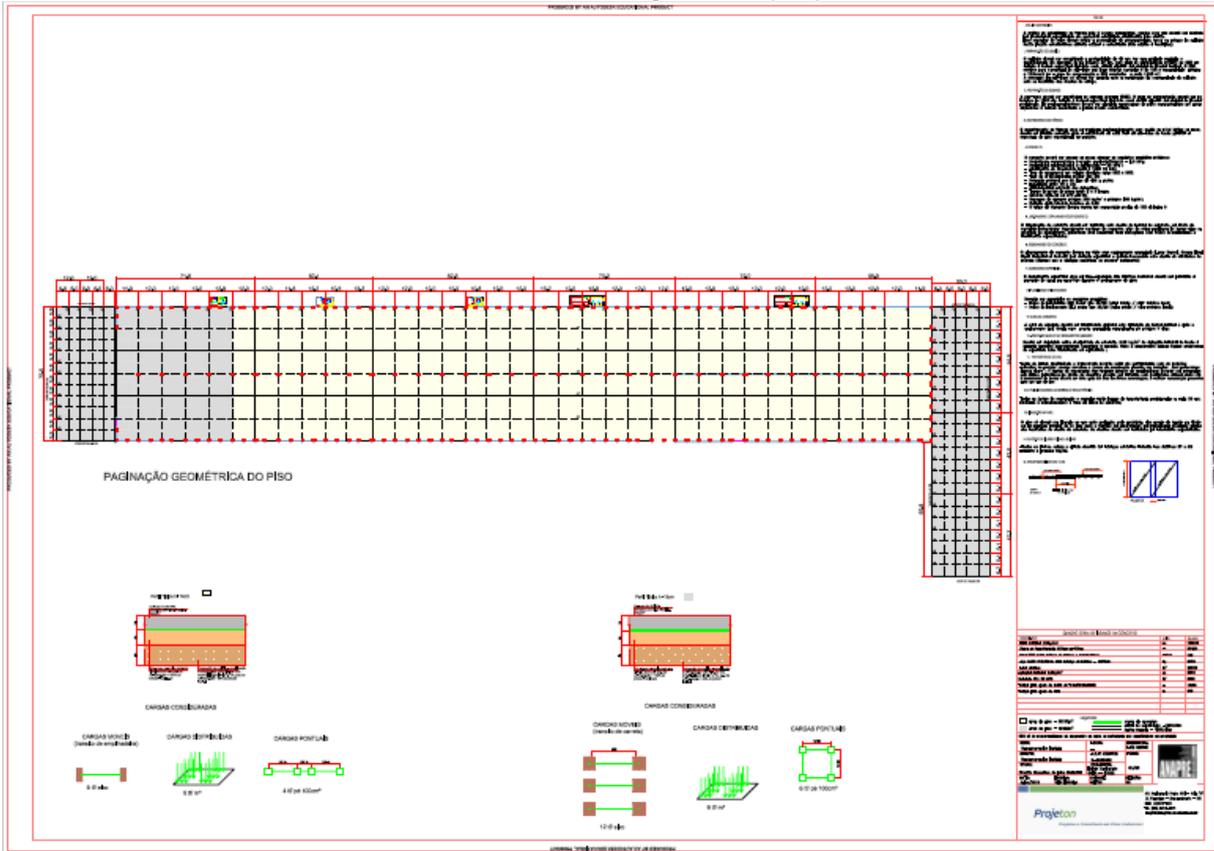
Além disso, foram exigidos diversos testes e também a contratação de geotecnistas, topógrafos e serviços de terrapleno responsáveis pela avaliação do solo e correto nivelamento da área a ser pavimentada. A seguir, a empresa orientou a correta execução dos seguintes procedimentos:

- a) Preparação do subleito: Escarificado e com umidade corrigida e recompactado em camadas de no máximo 20 cm, o subleito deveria apresentar grau de compactação mínimo de 98% obtido a partir da energia do Proctor norma, CBR mínimo de 10% e expansibilidade do solo inferior a 1%. A execução da sub-base só deveria ser iniciada após a certificação da conformidade do subleito com os resultados dos ensaios de campo;
- b) Preparação da sub-base: Esta deveria ser constituída de camada granular, mais especificamente, brita. O grau de compactação deveria ser de 100% e sob nenhuma hipótese deveria haver a passagem de rolos compactadores em áreas adjacentes às formas assentadas e placas recém concretadas;
- c) Assentamento das fôrmas: Deveria ser realizado com auxílio de nível laser, com início somente após a conferência da cota final da sub-base, de modo a garantir a espessura especificada em projeto.
- d) Concreto: O concreto deveria ser fornecido por central dosadora e deveria atender aos seguintes requisitos mínimos:
 - Resistência característica à tração na flexão ($F_{ctm,k}$) = 4,5 MPa;
 - Resistência característica à compressão (F_{ck}) = 30 MPa;
 - Teor de argamassa entre 52% e 54%

- Teor de ar incorporado menor que 3%
 - Exsudação entre 1% e 3%
 - Granulometria contínua dos agregados;
 - Tempo de início de pega entre 4 e 5 horas;
 - Cimento CII – 40 ou CP V ARI RS;
 - Consumo de cimento entre 350 e 400 kg/m³
 - Relação água/cimento máxima de 0,50
 - Traço de concreto contendo média de 15% de brita 0
- e) Lançamento e espalhamento do concreto: O lançamento do concreto deveria ser realizado com auxílio de bomba ou direto do caminhão betoneira, com fornecimento contínuo a fim de evitar emendas de acabamentos ou juntas frias; além disso o concreto deveria ser adensado com auxílio de vibradores de imersão sempre que a vibração superficial se mostrasse ineficiente;
- f) Acabamento superficial: o acabamento superficial deveria ser liso-espelhado e a cura do concreto iniciada com aplicação de resina acrílica e após acabamento final do piso deveria ser aplicada manta saturada por no mínimo 7 dias;
- g) Tratamento de juntas: As juntas serradas e juntas de construção deveriam ser tratadas com poliuretano e tratadas com lábios poliméricos. Além disso, todas as juntas de construção teriam barras de transferência posicionadas a cada 30 cm.
- h) Juntas de encontro: Todos os pilares, caixas e quinas deveriam possuir reforços estruturais, conforme ilustra a FIG. 18.
- i) Liberação ao uso: Mínimo de 21 dias após o término da concretagem da última placa.

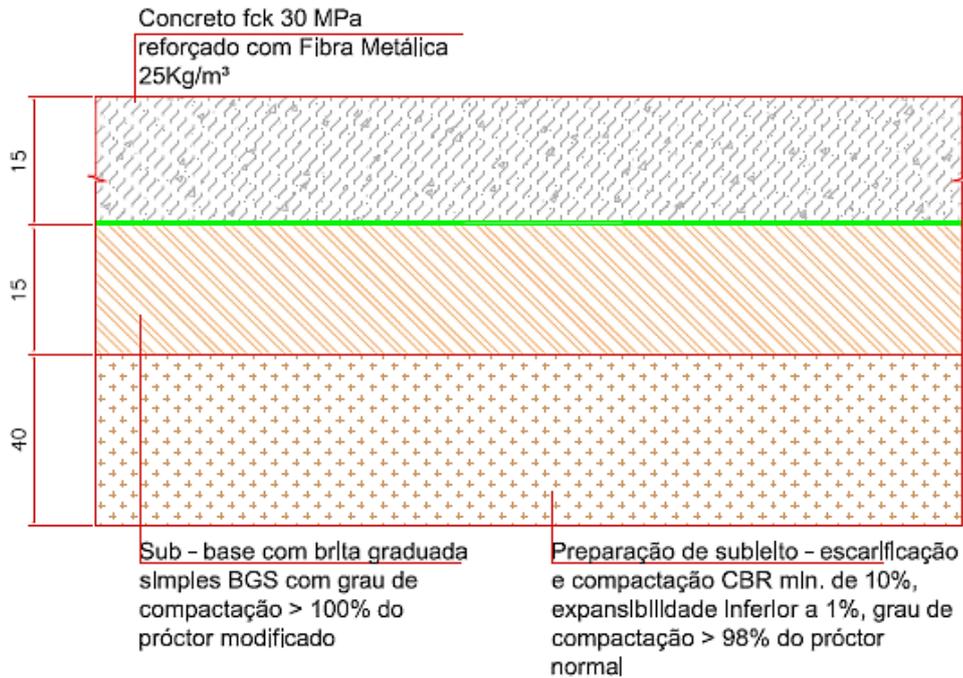
A FIG. 15 apresenta uma visão geral do projeto. Embora muito reduzida, a imagem ilustra a geometria do piso e as áreas de aplicação de juntas serradas, representadas pela linha pontilhada. Na FIG. 16 pode ser visualizado o plano de corte do piso, na FIG. 17 o plano do corte das juntas de construção aplicadas no piso e na FIG. 17 os detalhes construtivos das juntas de encontro.

FIGURA 15 – Visão geral do projeto



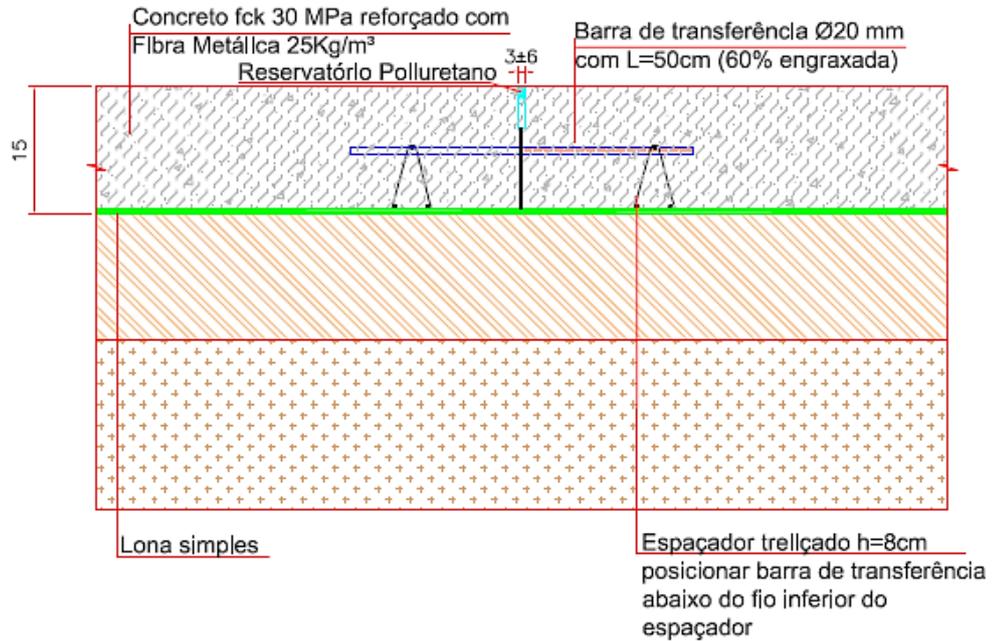
Fonte: (PROJETON, 2012)

FIGURA 16 – Plano de corte do piso



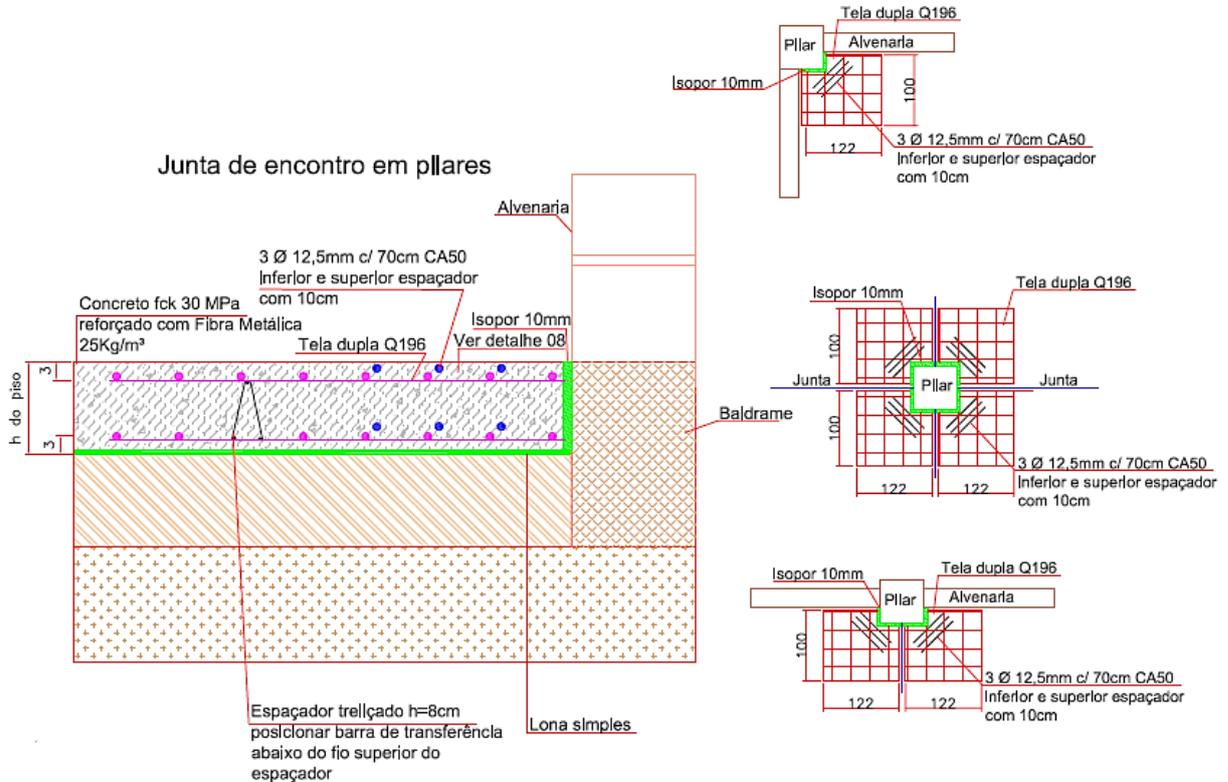
Fonte: (PROJETON, 2012)

FIGURA 17 – Plano de corte das juntas de construção aplicadas no piso



Fonte: (PROJETON, 2012)

FIGURA 18 – Detalhes construtivos das juntas de encontro



Fonte: (PROJETON, 2012, modificado pelo autor)

2.2.2 As fibras de aço

As fibras de aço foram o grande diferencial do projeto. Sem a adição desse elemento, o pavimento de concreto simples não resistiria aos esforços solicitantes e entraria em colapso. As fibras foram responsáveis pela eliminação da estrutura e sua decorrente morosidade. Com a eliminação da estrutura houve redução do custo da mão de obra e dos elementos constituintes das armaduras: ferragens, telas, espaçadores e caranguejos.

Além disso, a presença das fibras de aço no concreto simplificou o processo de concretagem, facilitando o acesso dos caminhões betoneira e mangotes ao local da concretagem, bem como no processo de vibração do concreto. O projeto em questão utilizou fibras de aço Dramix®, “pequenos segmentos de arame [...] conferindo ao material ganho estrutural, podendo substituir a armadura tradicional em pisos industriais” (BELGO BEKAERT, 2016)¹⁵.

Segundo informações do fabricante, as fibras de aço Dramix® controlam a fissuração do concreto, fornecem maior resistência ao impacto e à fadiga, geram alta durabilidade e aumentam a capacidade de deformação do concreto. A FIG. 19 apresenta a fibra de aço Dramix®.

FIGURA 19 – Fibra de aço Dramix®



Fonte: (BELGO BEKAERT, 2016)¹⁶

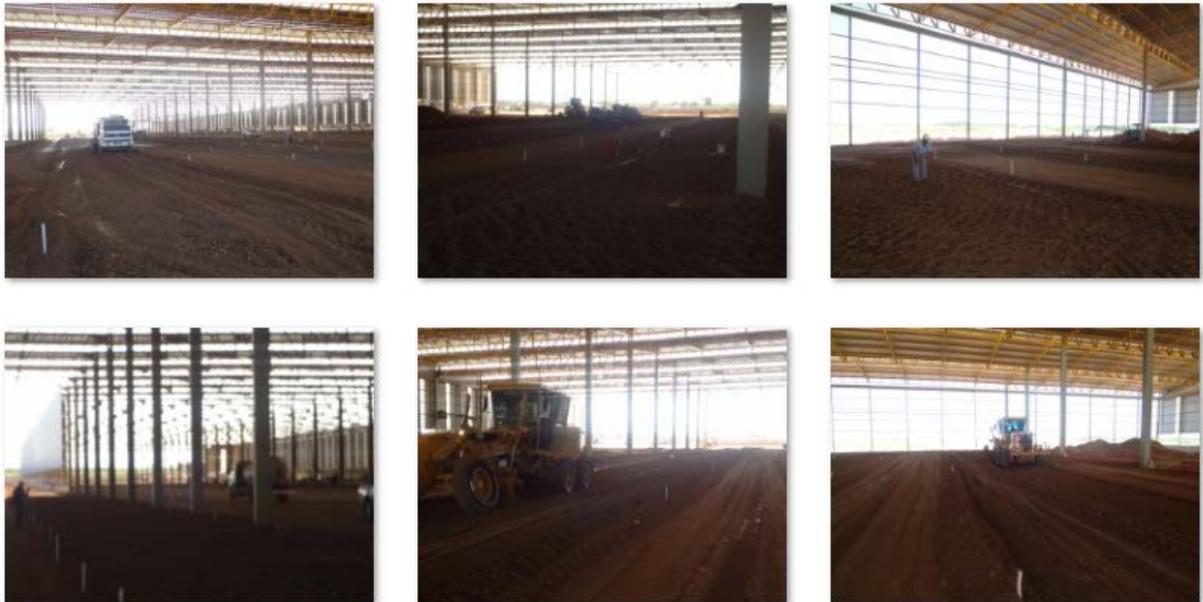
¹⁵ <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Fibra-de-Aco-Dramix.aspx>

¹⁶ <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/Catalogo-Dramix.pdf>

2.2.3 O processo executivo

O processo executivo do pavimento industrial seguiu como definido em projeto. Na FIG. 20 pode ser visualizada a preparação do terreno e nivelamento do subleito. Após escarificação e recompactação o terreno foi nivelado e averiguado por topógrafos.

FIGURA 20 – Preparação do subleito



Fonte: Acervo do autor, 2012

Após a preparação do subleito, foi realizada a preparação da sub-base composta por camada granular e inicializada a concretagem das primeiras peças, conforme demonstra a FIG. 21.

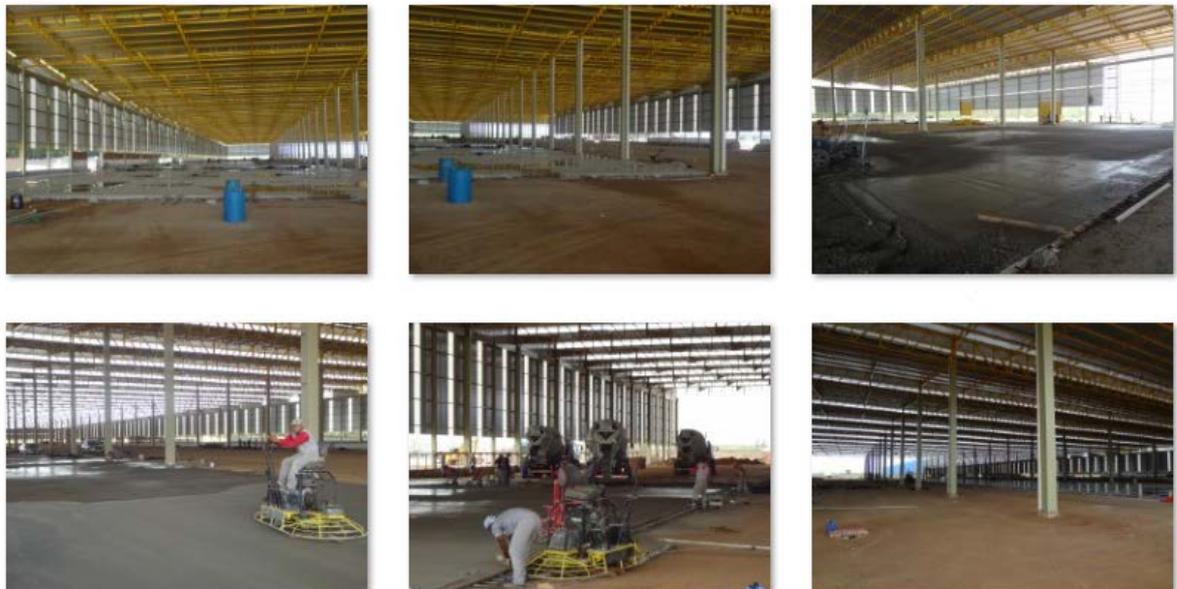
Já na FIG. 22 pode ser visualizada a concretagem de outras peças e o início do polimento. Nessa fase, com o subleito nivelado, o processo de montagem da sub-base, concretagem e polimento vão se repetindo, até a finalização da pavimentação. O piso, no entanto, aguardou 21 dias após o polimento da última placa para ser utilizado, período solicitado em projeto para que o concreto pudesse atingir uma resistência admissível para suporte de cargas, decorrente das reações de hidratação do cimento nesse período de tempo.

FIGURA 21 – Preparação da sub-base e início da concretagem



Fonte: Acervo do autor, 2012

FIGURA 22 – Concretagem de peças e início do polimento



Fonte: Acervo do autor, 2012

2.3 Estudo comparativo de custos

A seguir, são analisados os levantamentos de custo realizados pela empresa Itatiaia Móveis S/A no processo decisório da composição do piso. Na análise, são comparados dois pisos: o pavimento industrial de concreto estruturalmente armado com malhas de aço e o pavimento industrial de concreto simples reforçado com fibras de aço. Os resultados do orçamento podem ser conferidos nas FIG. 23 e 24 e

percebe-se uma redução de 28% do custo por metro quadrado de projeto quando o piso é executado com concreto simples reforçado com fibras de aço, revelando ser este, a alternativa com melhor custo/benefício na execução de pavimentos industriais de alta performance.

FIGURA 23 – Orçamento de pavimento industrial de concreto estruturalmente armado

Descrição	Und.	Quat	VLR\$ UN	TOTAL
Tela Q 159 32,3 kg/pç	Painel	150,00	148,59	22.288,50
Tela Q 196 45,7 Kg/pç	Painel	140,00	183,20	25.648,00
Barra Transferencia Ø 25mm - L= 50 cm	pç	1.900,00	1,40	2.660,00
Treliça apoio de barra de transf h= 6 cm	m	700,00	21,48	15.036,00
Treliça para apoio de tela metálica h= 8 cm	m	2.250,00	22,32	50.220,00
Espaçador plástico CTL 30	MIL	5,50	121,80	669,90
Lona terreiro 200 mca simples	m²	2.105,00	0,46	973,56
Mão de obra de lançamento	m²	2.105,70	8,31	17.501,45
SUB-TOTAL				134.997,41
Concreto Fck > 30,0 Mpa 16 cm	m²			
Cimento	ton	141,40	276,30	39.068,82
Areia	m³	197,37	50,00	9.868,54
Brita	m³	242,97	39,90	9.694,60
Aditivo	un	9,00	147,50	1.327,50
Mão de Obra de fabricação	m²	353,50	70,00	24.745,00
SUB-TOTAL				84.704,46
TOTAL GERAL				219.701,87

Custo por m² piso = 104,34

Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 24 – Orçamento de pavimento industrial de concreto simples reforçado com fibras de aço

Descrição	Und.	Quat	VLR\$ UN	TOTAL
Fibra metálica Dramix 80 x 60 - 30Kg/m²	ton	65,10	5.563,30	362.170,83
Barra Transferencia Ø 25mm - L= 50 cm	pç	11.990,00	1,40	16.786,00
Treliça para apoio de tela metálica h= 8 cm	m	536,88	22,32	11.983,05
Lona terreiro 200 mca simples	m²	14.920,00	0,46	6.900,50
Mão de obra de lançamento	m²	13.559,84	8,31	112.702,12
SUB-TOTAL				510.542,50
Concreto Fck > 30,0 Mpa 16 cm	m²			
Cimento	ton	868,00	265,80	230.714,40
Areia	m³	1.211,58	50,00	60.579,17
Brita	m³	1.491,51	39,90	59.511,38
Aditivo	un	55,26	147,50	8.150,62
Mão de Obra de fabricação	m²	2.170,00	69,00	149.730,00
SUB-TOTAL				508.685,57
TOTAL GERAL				1.019.228,08

Custo por m² piso = 75,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os pavimentos de concreto de alta performance possam ser constituídos de placas de concreto simples ou estruturalmente armadas, verificou-se que os pavimentos de concreto armado, embora excelentes, não apresentam um custo benefício tão satisfatório quanto aos pavimentos de concreto que substituem as malhas de aço pelas fibras metálicas, compondo um pavimento simples com adição de recurso tecnológico.

Com base nas pesquisas realizadas para a produção desse Trabalho de Conclusão de Curso e nos estudos empíricos realizados pelo autor, conclui-se que os pavimentos de concreto simples construídos com fibras metálicas são a solução mais eficiente economicamente para a produção de um pavimento de alta performance que necessite suportar, além de uma alta carga de compressão, uma carga de tração que atenda aos requisitos de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>> Acesso em out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7182**. Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 9895**. Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTA PERFORMANCE. Disponível em: <<http://site.anapre.org.br/>> Acesso em out. 2016.

_____. **Recomendações para execução de piso de concreto com revestimento de alto desempenho**. São Paulo: ANAPRE, 2011. 3 p.

BALBO, J. T.. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 472 p.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de construção**. 5.ed. v.1. Rio de Janeiro: LTC. 2003. 447 p.

BOTELHO, H. M. C.; MARCHETTI, O. B.. **Concreto armado eu te amo**. 8.ed. v.1. São Paulo: Blücher, 2015. 553p. v.1.

BRASIL. **Manual de pavimentos rígidos**. 2.ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Rio de Janeiro: IPR, 2004, 233 p.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 9.ed. São Paulo: Manole, 2014. 651 p.

CRISTELLI, R.. **Pavimentos industriais de concreto**: análise do sistema construtivo. 2010. 161f. Monografia (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

PINTO, C. S.. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

RODRIGUES, P. P. F.. **Manual de pisos industriais**: fibras de aço e protendido. São Paulo: PINI, 2010. 144 p.

VALEJOS, C. V.. *et al.* **Cálculo de ensaios laboratoriais de mecânica dos solos.** Curitiba: Gráfica da UFPR. 2005, 199 p.

VENTURA, M. M.. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SOCERJ.** Rio de Janeiro, v.20, 383-386, set-out 2007.