

**ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA**  
**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO JOSÉ SIMÕES BRAGA**  
**THIANE FIALHO BRAMUSSE**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTOS URBANOS:  
BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADO (*PAVERS*) X  
REVESTIMENTO ASFÁLTICO PRÉ-MISTURADO A FRIO**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARATINGA – MG**

**2015**

**ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA**  
**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO JOSÉ SIMÕES BRAGA**  
**THIANE FIALHO BRAMUSSE**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTOS URBANOS:  
BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADO (*PAVERS*) X  
REVESTIMENTO ASFÁLTICO PRÉ-MISTURADO A FRIO**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil, do Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do professor Thales Leandro de Moura.

**CARATINGA – MG**  
**2015**

À nossa família, com toda gratidão, pelo amor incondicional, e por todo apoio e dedicação a nós proporcionados.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecemos a Deus por nos permitir conhecimento suficiente para atingir nossos objetivos.

Agradecemos também ao nosso Professor Orientador Engenheiro Thales Leandro de Moura por todo incentivo e apoio na realização deste trabalho.

A todos nossos amigos, professores e a todos que de alguma forma nos apoiaram, somos imensamente gratos.

Finalmente, agradecemos às nossas famílias pela confiança e por ter acreditado em nosso potencial.

Bruno José Simões Braga  
Thiane Fialho Bramusse

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância,  
mas a ilusão do conhecimento”

(Stephen Hawking)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do pavimento intertravado .....	19
Figura 2: Transferência dos esforços .....	19
Figura 3: Transferência do carregamento vertical .....	20
Figura 4: Dimensões do paver. ....	22
Figura 5: Nivelamento e compactação do subleito .....	23
Figura 6: Execução das camadas inferiores .....	24
Figura 7: Execução das contenções .....	25
Figura 8: Espessura adequada .....	26
Figura 9: Figura (a), espinha de peixe 45 °, Figura (b), Espinha de Peixe 90° .....	27
Figura 10: Etapas finas de execução do pavimento .....	28
Figura 11: Exemplo de usina estacionária para misturas a frio .....	32
Figura 12: Exemplo de usina móvel para misturas a frio .....	33
Figura 13: Esquema de componentes de uma vibroacabadora de pneus .....	35
Figura 14: Esquema de componentes de uma vibroacabadora de esteiras .....	35
Figura 15: Rolos de pneus e rolo tandem liso .....	36
Figura 16: Rolo de placa vibratória .....	37
Figura 17: Imagem do cilindro adotado para o teste .....	40
Figura 18: Pavimento intertravado Supermercado do Irmão .....	42
Figura 19: Etapas para o teste de infiltração. 1 Posicionamento do cilindro com a superfície inferior vedada com massa de calafetar. 2. Becker graduado para os volumes de água. 3. Início do despejo da água. 4. Enchimento do cilindro. 5. Cilindro cheio entre as marcas. 6. Finalização da prática com a infiltração total da água no pavimento .....	42

Figura 20: Etapas para o teste de infiltração. 1. Posicionamento do cilindro com a superfície inferior vedada com massa de calafetar. 2. Marcas 3. Cilindro cheio entre as marcas. 4. Finalização da prática com a infiltração total da água no pavimento. .43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação Percentual do total de municípios com ruas pavimentadas na área urbana, segundo as Grandes Regiões- 2000/2008.....	16
Tabela 2: Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país .....	29
Tabela 3:Tabela de espessuras mínimas de revestimentos asfálticos.....	30
Tabela 4: Classificação do PMF.....	31
Tabela 5: Resultados obtidos pelo teste de infiltração em pavimentos intertravados	43
Tabela 6: Resultados obtidos pelo teste de infiltração em pavimentação asfáltica ...	44
Tabela 7: Pré-misturado a frio- aplicação.....	45
Tabela 8:Pavimentação intertravada de blocos de concreto sobre coxim de areia - unidade: m <sup>2</sup> .....	45
Tabela 9:Cálculo do BDI .....	46
Tabela 10 :Composição de custo para preço aproximado por m <sup>2</sup> de pavimentação com revestimento .....	47
Tabela 11:Composição de custos para execução de pavimentação com compra de blocos e outros .....	48
Tabela 12: Vantagens e desvantagens da utilização de blocos de concreto intertravado .....	50
Tabela 13: Vantagens e desvantagens da utilização de revestimento asfáltico pré-misturado a frio.....	51

## RESUMO

A combinação entre a falta de planejamento urbano e o crescimento populacional desordenado, gera a impermeabilização das superfícies, impedindo assim que a água precipitada através da chuva infiltre no solo, aumentando o percentual de água para escoar. A direção tomada para o presente trabalho é realizar uma análise comparativa entre revestimento asfáltico pré-misturado a frio e blocos de concreto intertravados (pavers), em relação à capacidade de infiltração de cada elemento, sua viabilidade econômica e as vantagens e desvantagens relacionadas a cada tipo de pavimento. Os resultados obtidos através de testes de infiltração realizados revelam que blocos intertravados de concreto, possuem aspectos ambientais mais próximos da sustentabilidade, e que ele e o asfalto são soluções que podem ser utilizadas em conjunto, cada qual destinado para sua melhor aplicação: pavers em vias coletoras e locais e o revestimento asfáltico em vias de trânsito rápido e arteriais. Em contrapartida o revestimento asfáltico possui um valor menor de execução, sendo o mais usado, seja pelo menor preço ou pela cultura local.

**Palavras chave:** Infiltração, Pavimentação Urbana, Bloco Intertravado de Concreto, Asfalto PMF.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS .....</b>	<b>14</b>
<b>3. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
3.1. PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO.....	18
3.1.1. O sistema de intertravamento .....	18
3.1.2. Aspectos do pavimento intertravado .....	20
3.1.3. Fabricação das Peças .....	21
3.1.4. Execução do pavimento .....	22
3.1.4.1. Etapa de nivelamento e compactação do subleito:.....	23
3.1.4.2 Execução das camadas de base e sub-base .....	23
3.1.4.3 Execução de contenções.....	25
3.1.4.3. Camada de rejuntamento e assentamento.....	26
3.2. PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA .....	28
3.2.1. Agregados.....	28
3.2.2.1. Definições e Classificações dos Pré-Misturados a Frio .....	31
3.2.2.2. Usinas para misturas a frio .....	32
3.2.2.3. Transporte, lançamento e compactação de misturas asfálticas.....	33
3.2.2.4. Aspectos ambientais.....	37
<b>4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PAVIMENTOS .....</b>	<b>39</b>
4.1. MÉTODO DE ENSAIO DE INFILTRAÇÃO.....	39
4.1.1. Teste em pavimentos intertravados .....	41
4.2. ANÁLISE ECÔNOMICA .....	44

<b>4.2.1 – Análise econômica para revestimento asfáltico pré-misturado a frio (PMF) .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.2 . Análise econômica para blocos intertravados de concreto retangular (PAVERS) .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE CADA PAVIMENTO.....</b>	<b>48</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O problema das enchentes é um desafio a ser enfrentado em grandes centros urbanos e em cidades menos populosas. Bastam poucos minutos de chuva para que as ruas fiquem alagadas, atrapalhando o trânsito e a vida das pessoas.

Verifica-se a crescente impermeabilização das superfícies, resultante da falta de planejamento urbano. Em uma área florestal, o percentual de infiltração da água da chuva no solo, é relativamente maior, se comparando com áreas urbanas, pelo fato de que a drenagem da água através do solo é prejudicada devida às vias pavimentadas e pelo grande número de construções, que em sua maioria, não respeitam as leis de se manter uma área verde, fazendo-se que o escoamento através do solo torna-se mais difícil, resultando em grandes alagamentos provenientes da chuva.

Dessa maneira, surge à necessidade de implantação de métodos de pavimentação que tenham uma maior capacidade de permeabilidade e de escoamento mínimo, buscando evitar o acúmulo de águas das chuvas no leito do rio para que o mesmo não extravase e invada a via pública e as residências próximas.

Para ser realizada uma obra de pavimentação, deve ser levado em consideração um sistema de drenagem eficiente, para que assim não acelere a deteriorização do pavimento que certamente elevará o custo de manutenção.

Existem situações que em algum momento se impõe diante da decisão de utilização entre blocos intertravados de concreto, ou revestimento asfáltico nos sistemas de pavimentação urbana.

Sendo assim surge a seguinte questão: comparando blocos intertravados de concreto e revestimento asfáltico, como definir, o pavimento que possa atingir uma forma de drenagem mais perto do sustentável possível e que possa ser viável economicamente, sem que cause impactos ambientais?

Quando a pavimentação é planejada e executada de forma correta, é possível que atinja a melhor aplicação para cada tipo de pavimento.

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise comparativa de pavimentação urbana, utilizando blocos de concreto intertravados e o revestimento

asfáltico pré-misturado a frio, avaliando a eficiência de cada pavimento como elemento permeável e sua viabilidade econômica.

A realização da revisão bibliográfica sobre o uso e aplicação do paver e o asfalto em pavimentos urbanos, definirá a avaliação de desempenho dos sistemas de cada tipo de piso, e um teste de infiltração será feito para que se obtenha um resultado quanto à permeabilidade dos mesmos, e a verificação dos custos de implantação, apresentando resultados e recomendações para que seu uso seja satisfatório.

## 2. CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

Os pavimentos de vias públicas são constituídos por estruturas que apresentam diversas camadas com espessuras específicas e executadas após o terraplenagem. As estruturas e o revestimento têm como finalidade resistir aos esforços (verticais, horizontais e tangenciais) decorrentes do tráfego de veículos e dos efeitos das intempéries, além de proporcionar aos usuários conforto, segurança e economia, segundo Júnior (1992).

Os pavimentos são compostos basicamente pelas camadas: subleito, reforço de subleito, se necessário, sub-base, base e revestimento.

O subleito é como a camada de fundação do pavimento. Esta camada deve ser regularizada e compactada, respeitando as cotas do projeto, antes da execução das camadas posteriores.

Tem-se que a definição da sub-base, é a camada complementar a base, ou seja, um reforço de subleito quando houver. A sub-base pode ser de material granular, como solo-brita ou outro solo escolhido. Já a base é a camada destinada a receber e distribuir uniformemente os esforços oriundos do tráfego sobre o qual se executa o revestimento, segundo Júnior (1992)

O revestimento é a camada responsável por receber diretamente os esforços provenientes do tráfego de veículos, além de estar suscetível à ação de agentes climáticos. Outras atribuições desta camada é proporcionar conforto e segurança aos usuários, além de proteger as outras camadas por meio da impermeabilização do pavimento. Ele é a última camada do pavimento, apresentando características diferentes para cada tipo: o asfalto se enquadra nos revestimentos flexíveis, já os pisos intertravados de concreto nos semirrígidos.

Em geral, a seleção dos materiais utilizados nestas camadas depende das propriedades de cada um quando estão compactadas, tais como boa resistência compressão e tração, baixa deformação permanente e permeabilidade à água, coerente com seu papel estrutural (BERNUCCI et al ii, 2007).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Bernucci, L. B.; L. M. G. Motta; J. A. P. Ceratti e J. B. Soares (2007) **Pavimentação Asfáltica, Second edition, Petrobras**: ABEDA, Rio de Janeiro, RJ.

Pelo fato da pavimentação e a urbanização crescente das cidades, verifica-se a ocorrência de impermeabilização das superfícies, que seria um dos grandes problemas enfrentados pela população, pois são gerados impactos decorrentes diretamente do escoamento da água, o acúmulo de detritos diversos nas superfícies das ruas, calçadas, estacionamentos e garagens acabam sendo levadas para os rios e canais durante as enchurradas. Este tipo de poluição é ainda mais difícil de controlar, pois depende diretamente da conscientização da população.

Quando ocorre o escoamento da água, muitas vezes as bocas de lobo utilizadas não suportam o grande volume de água, que acaba se extravasando e causando inundações, pelo fato de que o piso aplicado no local não tem a possibilidade de infiltração.

Pode ocorrer também quando estas áreas livres de pavimentação, os solos se encontram com camadas inferiores com alto grau de compactação, resultando em baixo coeficiente de percolação de água.

É comum as prefeituras exigirem que uma parcela do terreno seja mantida livre de impermeabilização, geralmente variando entre 15% a 30% do terreno. Porém nem sempre é possível facilmente atender este requisito, ainda mais se dirigindo a cidades de pequenos portes, que geralmente não recebem o auxílio de fiscalização.

### 3. PAVIMENTAÇÃO URBANA NO BRASIL

Para um conforto e segurança á circulação de veículos e pedestres, a pavimentação de um local, deve obedecer todos os requisitos apresentados por um projeto bem feito. O primeiro passo é o estudo da localização e do contexto da rua a ser pavimentada. É necessário realizar uma vistoria técnica para uma avaliação preliminar dos principais aspectos da topografia, logo se contrata o levantamento topográfico, que mostra níveis e irregularidades que podem existir no local.

Uma pesquisa realizada pela PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2008) entre os anos de 2000 e 2008 apontou que o numero de municípios brasileiros que informou possuir ruas pavimentadas, saltou de saltou de 78,3% para 94,4% do total, representando um crescimento de 20,6% no período, sendo a maior parte concentrada na região norte. Os dados da pesquisa podem ser verificados na tabela 1:

Grandes Regiões	( % )
Brasil	20,6
Norte	82,4
Nordeste	31,1
Centro- Oeste	28,5
Sudeste	12,0
Sul	5,4

**Tabela 1-** Variação Percentual do total de municípios com ruas pavimentadas na área urbana, segundo as Grandes Regiões- 2000/2008.

Fonte: IBGE, Diretoria de pesquisa, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Em vias urbanas, os dispositivos de drenagem de águas pluviais são relativamente constituídos por: sarjetas para a condução do escoamento da água até o leito dos rios, bocas de lobos para a captação, canalizações tubulares para a condução ou lançamento.

A pavimentação tida como benefício populacional, pode-se também destacar problemas devido ao deficiente sistema de drenagem urbana na maioria das

idades. Um efeito causado são as inundações que ocorrem durante os períodos chuvosos.

O sistema de drenagem adotado atualmente, que busca uma precipitação de escoamento da água, se mostra cada vez mais ineficiente, pois acaba dificultando a vazão das águas acumuladas, ocorrendo assim o extravasamento das mesmas.

Esse fenômeno é relacionado à redução de infiltração natural nos solos, a qual é provocada por sua compactação e impermeabilização, pavimentação de ruas e calçadas, fazendo assim que a superfície de infiltração seja impedida, e acabam contribuindo para a redução de solos expostos, acumulando cada vez mais águas para serem levadas por cursos de águas, como canais de drenagens, gerando insuficiência na rede.

Nos serviços que formam o saneamento básico no país, podem ser verificadas carências graves na área de drenagem urbana, submetendo diversos municípios a periódicas enchentes e inundações.<sup>2</sup>

Em geral, no Brasil o sistema de drenagem urbana é realizado sem coordenação e planejamento adequado, a maioria das vezes é feita sem estudo prévio de hidrologia.

Uma das alternativas para a redução de impactos é a utilização de pavimentos com maior taxa de infiltração, que podem ser utilizados como vias para pedestres, estacionamentos e para tráfegos de veículos e ao mesmo tempo em que permitem a infiltração da água, colaborando assim com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade.

Os revestimentos podem apresentar características diferentes: revestimentos flexíveis que possuem betume na sua composição, como o asfalto; e revestimentos semirrígidos que estão incluídos os pisos intertravados.

---

2 GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/>. Acesso em: 10 de novembro 2015.

### **3.1. PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO**

#### **3.1.1. O sistema de intertravamento**

O conceito de intertravamento é quando uma peça do pavimento tem a incapacidade de se mover independente das peças vizinhas, e como a capacidade das peças resistirem a movimentos de deslocamento individual. O desempenho estrutural está ligado ao intertravamento das peças.

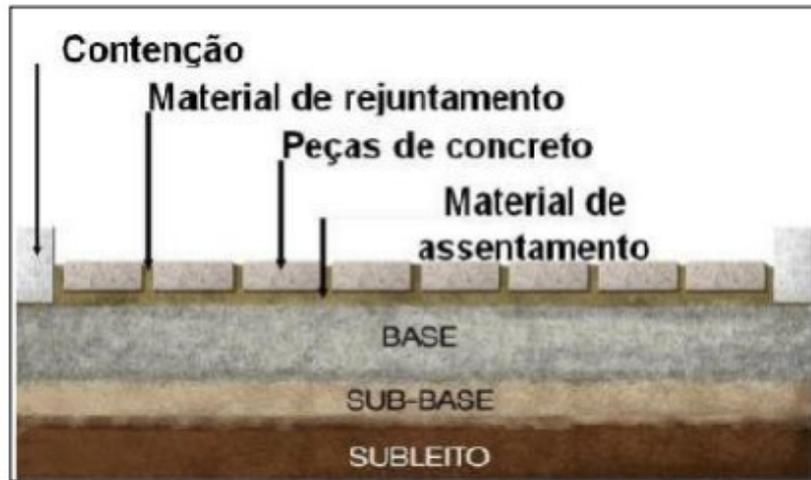
O pavimento intertravado é um pavimento flexível, onde sua estrutura é composta pelo subleito que é o terreno de fundação do pavimento. Pode ser construído de solo local ou oriundo de empréstimo. Faz-se necessário conhecer as características inerentes deste solo. Logo após é a camada de base, que tem como destino resistir os esforços dos veículos, distribuindo-os as camadas subjacentes e sobre qual é construído o revestimento.

Este revestimento tem a capacidade de atuar como reservatório de água, e isso dependerá do índice de vazios do agregado que é determinado de acordo com a Norma Brasileira NBR NM 45 – Agregados- Determinação da massa unitária e do volume de vazios que deve ser de no mínimo 32%, e se for preciso de reforço aplica a sub-base.

Para a camada de assentamento e de rejunte, são utilizados materiais de agregados graúdos com dimensão máxima igual a 9,5mm. Um aspecto de importância no agregado de assentamento é que ele tenha dimensão suficiente para garantir uma superfície uniforme para o assentamento das peças de concreto, mais que também ocorra um travamento com a camada de base. Para determinar a capacidade de infiltração ocorrida pelas juntas, depende do agregado utilizado no material de rejunte, geralmente utilizado como, por exemplo, brita graduada e cascalho, segundo Senço (2001, p.20)

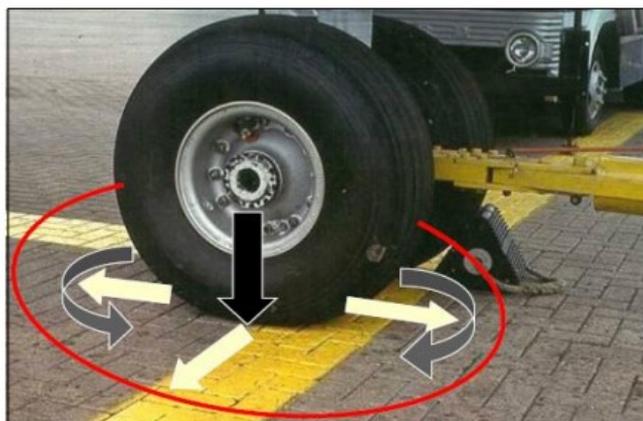
Em seguida, por uma camada de revestimento que segundo Senço (2001, p.20), é a camada, que recebe diretamente a ação do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento às condições de conforto e segurança, além de resistir ao

desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura<sup>3</sup>. A figura 1 mostra a composição da estrutura.



**Figura 1:** Estrutura do pavimento intertravado  
Fonte: ABCP (2013)

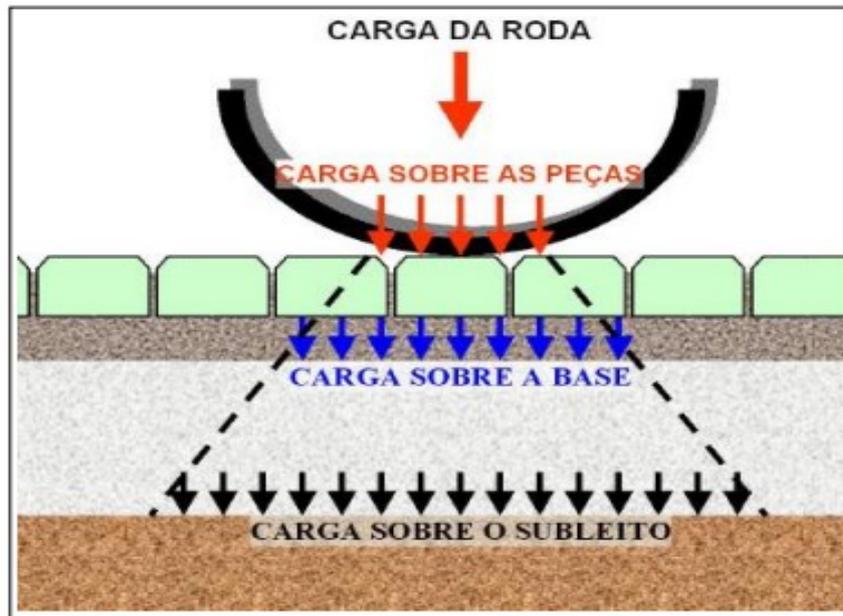
Pode ser mostrado através da figura 2, como cada peça transfere os esforços verticais, horizontais e de torção às peças vizinha, tornando uma camada de rolamento homogênea.



**Figura 2:** Transferência dos esforços  
Fonte: ABCP (2013)

<sup>3</sup> SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 2001, v. II.

Já na distribuição das cargas verticais, os mais presentes no pavimento, o carregamento é transferido do revestimento superior para as camadas de base, conforme a Figura 3.



**Figura 3:** Transferência do carregamento vertical  
Fonte: ABCP (2013)

### 3.1.2. Aspectos do pavimento intertravado

Se analisado em relação ao conforto térmico, a ABCP (2008) afirma que:

A coloração mais clara das peças de concreto, em relação aos demais tipos de produtos, reduz a absorção de calor na superfície do pavimento, melhorando o conforto térmico e diminuindo a formação das ilhas de calor nos centros urbanos, causados pela impermeabilidade do solo e uso de pavimentos escuros. A redução de temperatura pode chegar a 17°C. (ABCP, 2008, p. 02)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Pavimentos intertravados - Um caminho de vantagens com baixo custo. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, 2008. Disponível em: < <http://www.maski.com.br/prefabricados/extras/cartilha-abcp-paver/> >. Acesso em 01/11/2015.

Além de proporcionar conforto térmico, o pavimento também oferece a capacidade de poupar energia elétrica. Devido a sua coloração clara, ele é capaz de aumentar a flexão da luz, e esse ganho é em entorno de 30% se comparando ao pavimento asfáltico. Em termos práticos, isso permite gerar economia de iluminação pública (Marchioni, Silva 2011).<sup>5</sup>

A capacidade de infiltração que o pavimento intertravado pode oferecer é justificável devido à água que consegue entrar pelas juntas entre os pavers, que tem entre 3 a 5 mm. Os espaços vazios entre as peças de concreto deixam a água infiltrar de volta para o solo do subleito. Observando que os pavimentos estudados são os executados com peças fabricadas com concreto conforme NBR 9781/13: Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, ou seja, concreto teoricamente impermeável.

Os espaços vazios devem permitir a passagem da água, que então fica armazenada por um período nas camadas de base e sub-base, funcionando como um filtro.

### **3.1.3. Fabricação das Peças**

A fabricação das peças de concreto, destinadas ao uso de pavimentação urbana, deve atender a requisitos dimensionais e de resistência à compressão que estão contidas na NBR 9781/13: Peças de concreto para Pavimentação- Especificação e métodos de ensaio.

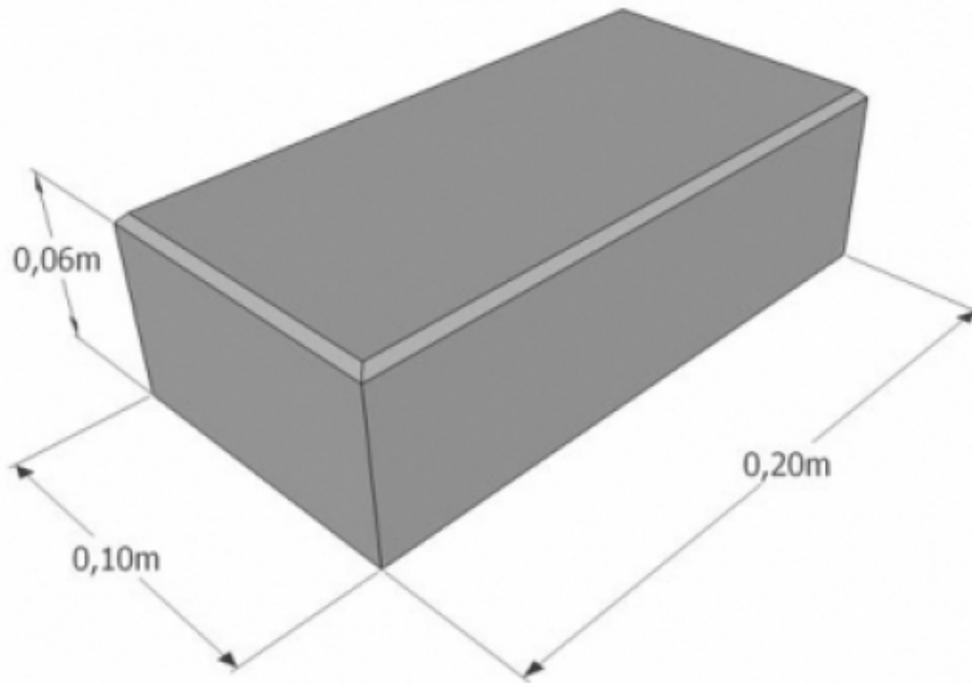
Em relação à resistência a compressão deve ser maior a 35 Mpa, para solicitações de veículos leves e maior ou igual a 50 Mpa, quando houver desgaste por atrito e tráfego de veículos pesados.

Os concretos para a construção das peças são cimentos Portland, agregados naturais ou artificiais e água, sendo admitido uso de aditivos e pigmentos para dar coloração às peças.

---

<sup>5</sup> MARCHIONI, Mariana, SILVA, C.O., **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

A dimensão da peça pode ser analisada na figura 4:



**Figura 4:** Dimensões do paver.  
Fonte: Acervo do Autor

A NBR 9781/13 especifica que as peças devem ter o formato retangular, com comprimento máximo de 250 mm, largura mínima de 97 mm e altura mínima de 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm. A norma admite largura da peça menor que 97 mm, desde que possua uma área plana isenta de rebaixos e juntas falsas onde possa ser inscrito um círculo de 85 mm de diâmetro. O índice de forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4 e as variações máximas permitidas nas dimensões são de 3 mm no comprimento e largura das peças e 5 mm na altura.

### 3.1.4. Execução do pavimento

#### 3.1.4.1. Etapa de nivelamento e compactação do subleito:

A camada de subleito deve estar limpa, sem a presença de plantas nem raízes e qualquer outro tipo de matéria orgânica, para que possa ser feito o nivelamento e compactação. Deve ser bem drenada, Marchioni e Silva (2011) apontam que em solos pouco permeáveis pode ser necessária a instalação de tubos de drenagem para evitar que a água permaneça muito tempo na estrutura do pavimento podendo causar perda de suporte. <sup>6</sup>Na figura 5 pode ser analisado o processo de compactação.



**Figura 5:** Nivelamento e compactação do subleito  
Fonte: Maski (2013)

A sub-base é espalhada em camadas de 100 mm a 150 mm e compactada usando uma placa vibratória ou um rolo compactador. O compactador é aplicado para que seja obtida uma superfície nivelada.

---

<sup>6</sup> MARCHIONI, Mariana & SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

### 3.1.4.2 Execução das camadas de base e sub-base

A camada de sub-base é a camada complementar á base, então somente é executada quando se precisa melhorar a capacidade de carga das camadas adjacentes.

A base se destina e distribui todos os esforços vindos do revestimento, através de tráfego.

As espessuras de cada camada devem ser dimensionadas conforme o tráfego. Deve-se espalhar a camada de material escolhido e compactá-lo, conforme a figura 6.



**Figura 6:** Execução das camadas inferiores  
Fonte: Equipe de Obra (2013)

O caimento pode ser de 1%, o suficiente para que as águas pluviais possam correr para a sarjeta ou para grelhas. É então espalhada a camada de brita graduada simples ou bica corrida compactada sobre subleito também compactado.

### 3.1.4.3 Execução de contenções

A contenção lateral é uma estrutura rígida fixada na base do pavimento, que serve para evitar o deslocamento das peças, durante a vida útil do pavimento. Devem obedecer as cotas de níveis e alinhamento conforme o projeto e são executadas antes da camada de revestimento, conforme a figura 7:

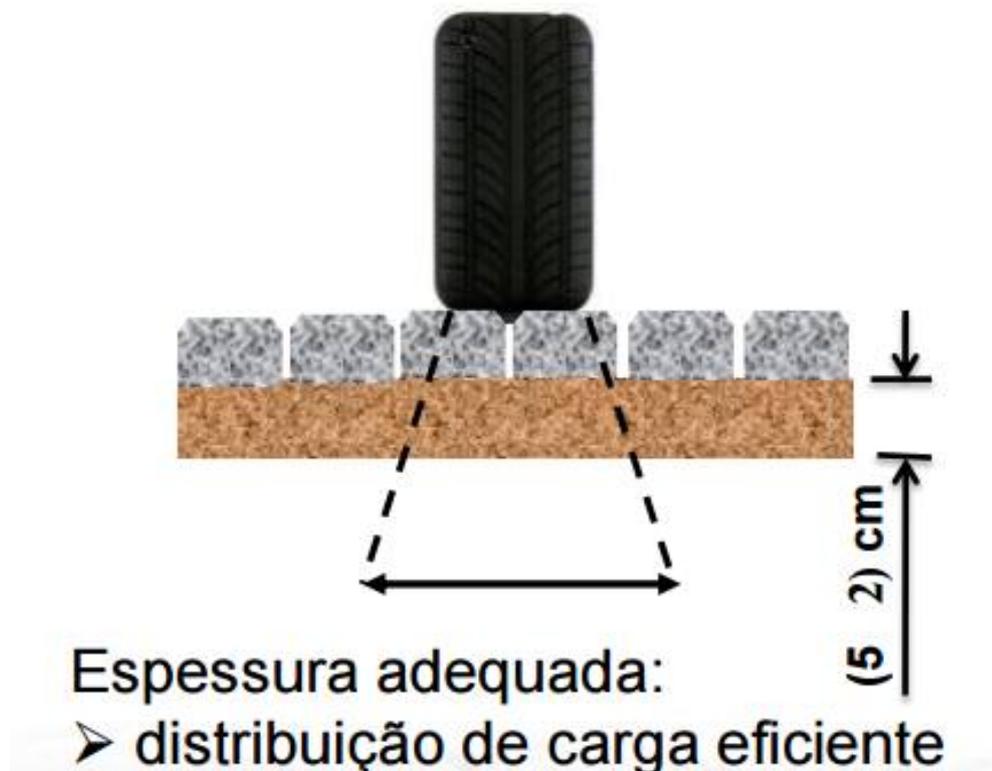


**Figura 7:** Execução das contenções  
Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland (2013)

Os arremates junto às guias, sarjetas, caixas de passagem, árvores, deverão ser executados cuidadosamente, para que os pavers não se soltem, já que são rejuntados e compactados com areia e não com argamassa.

### 3.1.4.3. Camada de rejuntamento e assentamento

Para aplicação da camada de assentamento, a umidade do material deve estar entre 3% e 7% no momento da aplicação, livre de materiais friáveis, argilas e impurezas. A camada deve manter uma espessura adequada uniforme de 52 cm, na condição não compactada, conforme a figura 8.



**Figura 8:** Espessura adequada  
Fonte: Associação Brasileira de cimento Portland

Segundo Marchioni e Silva (2011), o material de assentamento e de rejuntamento deve ter uma distribuição granulométrica que resulte em um adequado teor de vazios, assim, existirá um coeficiente de permeabilidade apropriado para o pavimento.<sup>7</sup>

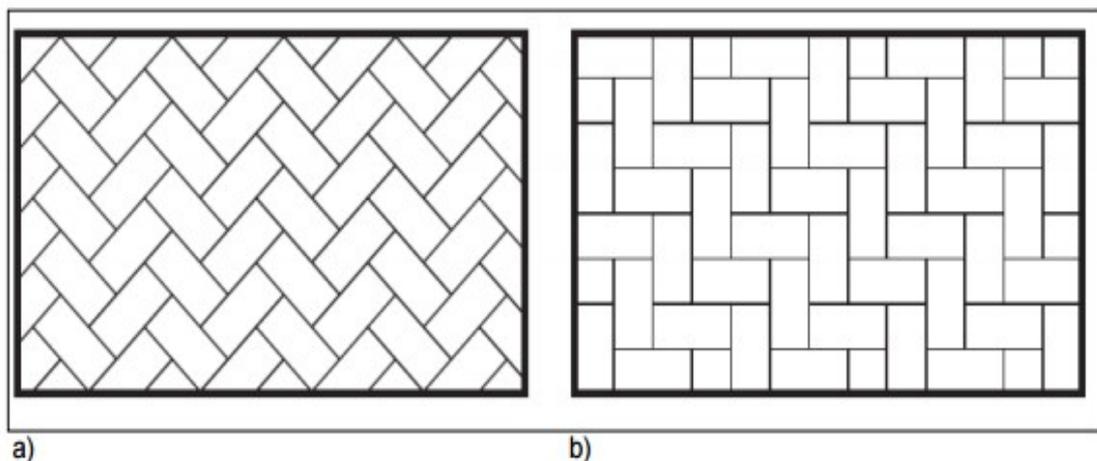
Primeiramente para ser feita a execução dessa camada é necessário espalhar material na quantidade suficiente para cumprir a jornada de trabalho, logo

<sup>7</sup> MARCHIONI, Mariana & SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

após é preciso nivelar a camada obtendo uma superfície plana e regular. Marcar o esquadro da primeira fiada, mantendo linhas-guia ao longo da frente de serviço, indicando o alinhamento transversal e longitudinal.

### 3.1.4.3. Colocação da peça

Em vias de pedestres, é possível a criação de vários arranjos, já em vias com tráfegos de veículos é preferencial a disposição em forma de espinha-de-peixe, pois tem maior capacidade de intertravamento. A Figura 9 mostra esta forma:



**Figura9:** Figura (a), espinha de peixe 45 °, Figura (b), Espinha de Peixe 90°  
Fonte: ICPI (2011)

Pode se observar que tendo as peças alinhadas com o eixo da via segundo um ângulo de 45° ou 90°, há a vantagem de não requerer mudança de alinhamento em curvas ou esquinas.

Após ser feita a escolha da paginação, procede-se com a colocação das peças, conforme a Figura 10 (a) e depois o rejuntamento das juntas com areia de assentamento 10 (b) podendo assim o pavimento ser compactado 10 (c).



**Figura 10:** Etapas finais de execução do pavimento  
 Fonte: Adaptado de Maski (2013)

É necessário que Assente os blocos de concreto com cuidado para não danificar a camada de areia. Primeiramente são colocadas as peças inteiras e depois as que precisam ser cortadas. É utilizada uma vassoura para fazer com que a areia entre mais ainda nas juntas entre os blocos, e depois uma compactação final. É importante ressaltar que a base deve ser adequadamente compactada. Do contrário poderá sofrer deformação (recalque).

## 3.2. PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

### 3.2.1. Agregados

Os revestimentos asfálticos são em geral compostos de ligantes asfálticos, agregados, e em alguns casos produtos complementares. Quando associados, executados e aplicados devidamente, esses materiais originam estruturas duráveis.

Agregado pode ser definido, como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usada em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc.

Os principais tipos de rochas utilizados como agregados são apresentados na tabela 2.

Denominação Petrológica	Descrição
Andesito	Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina
Basalto	Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica
Conglomerado	Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural
Diorito	Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcico e piroxênio, algumas vezes com olivina
Gnaisse	Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa
Granito	Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos e quartzo
Calcário	Rocha sedimentar, constituída principalmente de carbonato de cálcio
Quartzito	Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo
Riolito	Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica
Sienito	Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, hornblenda, biotita ou augita
Traquito	Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico

**Tabela 2:** Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país.  
Fonte: Pavimentação Asfáltica. Formação básica para engenheiros. (2013)

### 3.2.2. Pavimentação Asfáltica Pré-misturado a Frio

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O Revestimento Asfáltico é umas das soluções mais utilizadas para pavimentação de estradas vicinais, vias urbanas e rodovias. Estima-se que cerca de 95% das estradas pavimentadas nacionais, sejam de revestimento asfáltico.

A pavimentação asfáltica é em geral composta por quatro camadas principais: revestimento de base asfáltica, base, sub-base e reforço de subleito.

O Pré-Misturado a Frio (PMF) é uma mistura executada á temperatura ambiente em usina apropriada, composta de agregado graúdo, material de enchimento e de emulsão asfáltica, que é espalhada e depois comprimida a frio.

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto á fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência á derrapagem, resistência á fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local.

O material de revestimento pode ser fabricado em usina especifica misturas usinadas, fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são também identificados quanto ao tipo de ligante: á quente com uso de CAP (cimento asfáltico de petróleo), ou a frio com o uso de EAP (emulsão asfáltica de petróleo). As misturas podem ser separadas quanto á distribuição granulométrica em: densas, abertas, contínuas e descontínuas.<sup>8</sup>

Ele pode ser elaborado com diferentes distribuições granulométricas de agregados, que se resulta em misturas de: graduação aberta: com elevado índice de vazios; e densos: graduação contínua e bem-graduado, com baixo índice de vazios. Quando o PMF é aberto, seu índice de vazios pode chegar a 20%, resultando nesse caso, em material bastante drenante. Por tal característica, são necessários cuidados especiais com a mistura, a camada inferior ao PMF deve estar bem fechada, para impedir a descida de água para camadas subjacentes, sendo então necessário que se estenda até a borda do acostamento para ocorrer a drenagem lateral da água. Senço (2001)

As misturas asfálticas usinadas a frio, são as mais econômicas em relação aos usinados a quente. É indicada para revestimentos de ruas e estradas de baixo fluxo de veículos, ou ainda como camada intermediária (com concreto asfáltico superposto) e em operações de conservação e manutenção de vias.

A tabela 3 define as espessuras mínimas para revestimentos asfálticos.

<b>Tipo de revestimento</b>	<b>Espessura (mm)</b>
Tratamentos superficiais	15 a 30
CA, PMQ, PMF	50
Concreto asfáltico	75

**Tabela 3:** Tabela de espessuras mínimas de revestimentos asfálticos  
Fonte: Pavimentação asfáltica, formação básica para engenheiros (2013)

<sup>8</sup> LIEDE, bariani Bernucci... (ET AL). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.**  
- Rio de Janeiro: PETRONRAS: ABED A, 206, p.158, 504 f.: il.

### 3.2.2.1. Definições e Classificações dos Pré-Misturados a Frio

Os PMF são classificados em três classes quanto ao seu volume de vazios, que podem ser identificados na tabela 4:

Denominação	% Vazios
Aberto	22 a 30
Semi Densos	15 a 22
Densos	5 a 15

**Tabela 4:** Classificação do PMF  
Fonte: Carvalho (1998)

- a) O Pré-Misturado a Frio Aberto tem uma pequena quantidade de agregado miúdo e com pouco filler, ficando após a compactação com grande teor de vazios.
- b) Pré-Misturado a Frio Semi Denso, tem uma quantidade média de agregado miúdo e com pouco filler, ficando logo após a compactação com médio teor de vazios.
- c) Pré-Misturado a Frio Denso, tem uma quantidade apreciável de agregado miúdo, podendo ou não conter filler, ficando após a compactação com teor de vazios muito baixos.

De acordo com Santana (1993) as misturas a frio exigem mais vazios que as misturas a quente, pois, após a compactação, é necessário que haja a evaporação da água e do solvente (caso haja) e com a liberação do tráfego, haverá uma maior diminuição no volume de vazios das misturas a frio do que nas misturas a quente.<sup>9</sup>,

Segundo Abeda (2001):

O PMF aberto, devido à facilidade de produção, estocagem (em geral, até 30 dias, desde que devidamente estocado em pilhas e protegido com lonas impermeáveis), transporte, aplicação e manuseio no campo, é uma excelente solução para vias de tráfego leve e médio. Essas características

<sup>9</sup> SANTANA, Professor Humberto Santana. **Manual de Pré-misturados a frio**, 1993

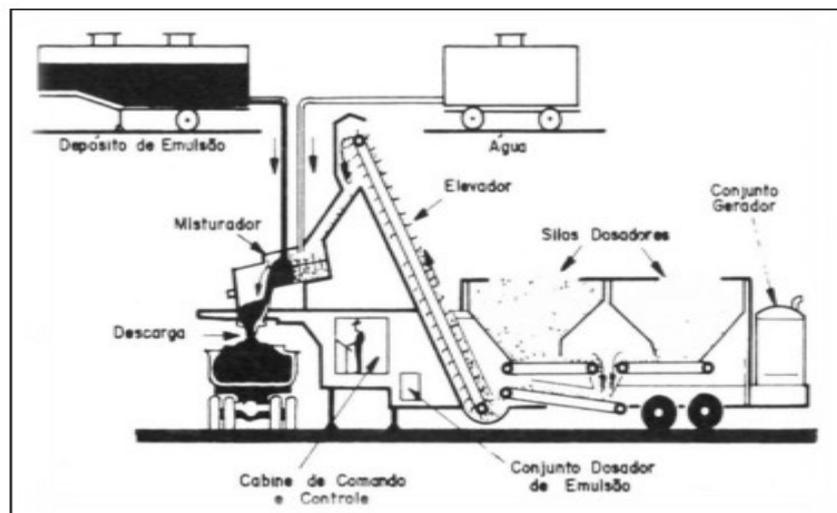
proporcionam flexibilidade na programação do serviço, ou seja, pode-se priorizar a fase de produção da massa asfáltica e, posteriormente, a aplicação na pista. Além disso, apresenta a vantagem de liberação imediata da camada executada ao tráfego, permitindo a construção da obra por etapas.<sup>10</sup>

### 3.2.2.2. Usinas para misturas a frio

As usinas mecânicas processam as misturas dos agregados com emulsão asfáltica, podendo ser moveis ou estacionarias. Essas usinas são mais simples pelo fato de não haver necessidade de aquecimento do agregado nem do ligante.

As usinas estacionarias são as mesmas empregadas na produção de mistura de solos, britas, etc. A que possui maior capacidade de produção, tem silos individuais para os agregados que descarregam em uma correria transportadora que os conduz ao misturados, onde é injetada a emulsão asfáltica.

A Figura 11 apresenta um exemplo de usina estacionária.



**Figura 11:** Exemplo de usina estacionária para misturas a frio  
Fonte: Santana (1993)

<sup>10</sup>ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. Manual Básico de Emulsões Asfáltica, Brasil 2001

As usinas móveis são montadas sobre um chassi único e devido a sua funcionalidade podem ser colocadas em operação em poucas horas. Elas trazem vantagens econômicas, por possuírem mistura e espalhamento em uma só operação.

A Figura 12 apresenta um exemplo de usina móvel.



**Figura 12:** Exemplo de usina móvel para misturas a frio  
Fonte: Site CIBER (2014)

### 3.2.2.3. Transporte, lançamento e compactação de misturas asfálticas

O transporte normalmente é feito em caminhões basculantes, com a tampa traseira perfeitamente vedada, de modo a evitar o vazamento de emulsões sobre a pista. É recomendável que o caminhão possua dois dispositivos para retenção de líquidos no interior da caçamba, e posterior remoção (VIEIRA, 2009)<sup>11</sup>.

O número de caminhões que são necessários é determinado por fatores como: a distância de transporte, o tipo de tráfego no percurso, a velocidade de produção da mistura asfáltica na usina e o tempo estimado para descarregamento.

---

<sup>11</sup> VIEIRA, Bruno Cardoso. **Análise da viabilidade do uso de pré-misturados a frio em aeródromos.** Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2009. Disponível em [http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI004\\_Bruno\\_Vieira.pdf](http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI004_Bruno_Vieira.pdf). Acesso em 04/11/2015

Segundo Bernucci *et. al.* (2007), o lançamento de uma mistura asfáltica e o início de um serviço de compactação de uma camada de revestimento asfáltico devem ser prescindidos por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como:

- Continuidade e sequência de operações
- Numero de vibro acabadores necessários para execução do serviço
- Números e tipos de rolos compactadores necessários
- Numero de caminhões transportadores necessários
- A cadeia de comando para dar e receber instruções
- Razoes para possível rejeição de mistura asfáltica
- Condições climáticas e de temperatura
- Controle de trafego <sup>12</sup>

O lançamento da mistura asfáltica, deve ter uma camada uniforme de espessura e seção transversal definidas, pronta para a compactação, e para isso é necessário ser procedidos por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como: continuidade e sequência de operações, quantidade necessária de maquinas, condições climáticas e de temperatura e controle do trafego.

O lançamento é realizado por vibro acabadoras que sejam capazes de executar camadas de 25mm até aproximadamente 300mm de espessura, em larguras ajustáveis de acordo com o projeto (BERNUCCI et al, 2008)<sup>13</sup>.

A marca de máquinas SISLOC define as vibro acabadoras como:

As vibro acabadoras são fabricadas com dois tipos de sistemas rodantes-sobre pneus e sobre esteiras. O primeiro se destaca pela velocidade de deslocamento e facilidade de manobras mesmo em situações extremas. Já as sobre esteiras oferecem recursos como estabilidade e maior capacidade de tração, incluindo roletes de alta resistência e sapatas revestidas de

---

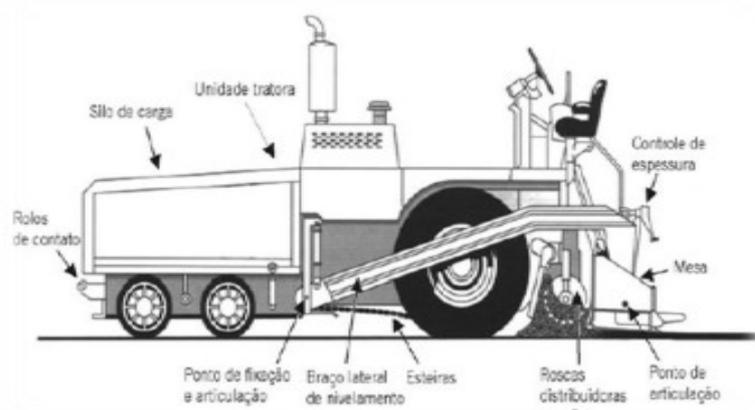
<sup>12</sup> LIEDI, Bariani Bernucci... (et al.). **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.** – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABED A, 2006, P386, 504 F.: II.

<sup>13</sup> BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa Soares. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro, 2008. PETROBRAS: ADEBA, 2008. Disponível em [http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto\\_Capitulo\\_04\\_Mar2010.pdf](http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_04_Mar2010.pdf). Acesso em 05/11/2015.

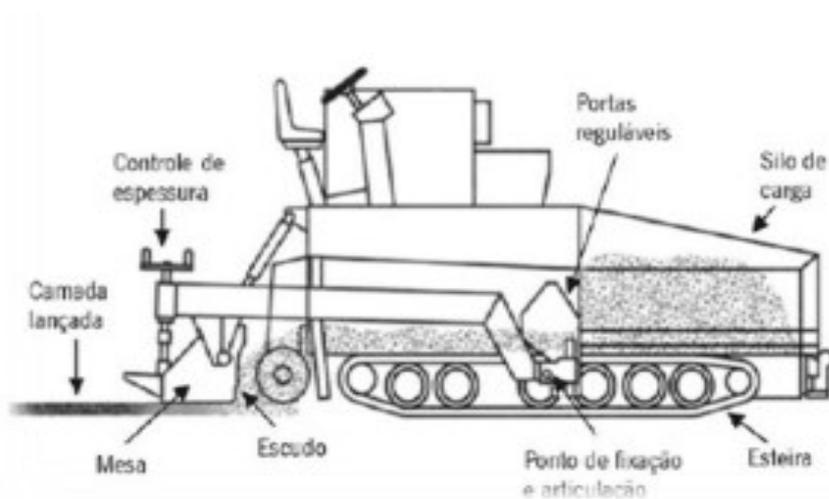
material vulcânico de composição específica para suportar grandes esforços de tração.<sup>14</sup>

A mais recomendada para a pavimentação urbana são as vibro acabadoras compactas, devido à velocidade de deslocamento e mobilidade operacional.

As vibro acabadoras podem ser de pneus ou de esteiras, conforme nas figuras 13 e 14:



**Figura 13:** Esquema de componentes de uma vibro acabadora de pneus  
Fonte: Bernucci et al (2008)



**Figura 14:** Esquema de componentes de uma vibro acabadora de esteiras.  
Fonte: Bernucci et al (2008)

<sup>14</sup>**SITE SISLOC.** Disponível em: [HTTP://www.sisloc.com.br/noticia/vibroacabadoras-garantia-de-equilibrio-na-pavimentacao/715](http://www.sisloc.com.br/noticia/vibroacabadoras-garantia-de-equilibrio-na-pavimentacao/715). Acesso em : 05/11/2015

A compactação da camada da pré-mistura a frio aumenta a estabilidade da mistura asfáltica, proporciona uma superfície suave e desempenada, reduz seu índice de vazios e aumenta sua vida útil (BERNUCCI et al, 2008).<sup>15</sup>

Geralmente as execuções do PMF são feitas em duas fases: a rolagem de compactação e a rolagem de acabamento. E é na fase de rolagem que alcança a densidade e a impermeabilidade.

Os rolos compactadores podem ser estáticos ou vibratórios, onde a compactação obtida pelos rolos compactadores estáticos é devida ao seu peso próprio e o rolo de pneus que tem um ajuste adicional pela possibilidade de variação da pressão dos pneus. Exemplos de rolos podem ser exemplificados nas figuras 15 e 16:



**Figura 15:** Rolos de pneus e rolo tandem liso  
Fonte: Bernucci et al (2008)

---

<sup>15</sup> BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa Soares. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro, 2008. **PETROBRAS:** ADEBA, 2008. Disponível em [http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto\\_Capitulo\\_04\\_Mar2010.pdf](http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_04_Mar2010.pdf). Acesso em 05/11/2015.



**Figura 16:** Rolo de placa vibratória  
Fonte: Bernucci et al (2008)

#### 3.2.2.4. Aspectos ambientais

O PMF, gera impactos ambientais como quaisquer outros tipos de revestimentos asfálticos em relação a impermeabilização, zonas de calor em áreas de urbanização.

Segundo Marchioni (2008) o problema causado pela impermeabilização do solo se resume em:

Com a drenagem da água através do solo, prejudicada devido as vias pavimentadas e o grande numero de construções, o escoamento e o retorno ao lençol freático tornam-se mais difíceis, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais e aumento no volume e constância das enchentes. Este problema é agravado pelo efeito das “ilhas de calor”, onde o aumento de temperatura em áreas densamente povoadas acaba por intensificar a precipitação.

Além dos impactos decorrentes diretamente do escoamento da água, o acumulo de detritos diversos nas superfícies das ruas, calçadas, estacionamentos e garagens acabam sendo levados para os rios e canais durante as enxurradas.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> MARCHIONI, Mariana e SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento intertravado Permeável – melhores praticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. P5, 24 f.

Outro fator é a geração de resíduos no processo de refino, que ocorre em intervalos de temperatura, nos quais são obtidos os derivados do petróleo, gerando impacto ambiental muito maior do que o gerado na produção de outros revestimentos.

#### 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PAVIMENTOS

O procedimento experimental será composto por três partes: um teste para testar a capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto, e do revestimento asfáltico pré-misturado á frio; levantamentos de custos para a camada de revestimento de cada pavimento; e um comparativo geral das vantagens e desvantagens.

O teste de infiltração tem como objetivo testar a capacidade que cada pavimento tem de infiltrar certa quantidade de água, fazendo um comparativo entre os dois tipos. A análise econômica requer comparar o custo de execução de cada tipo de revestimento, e para isso é utilizado pesquisas de mercado. E sendo assim um comparativo geral entre cada tipo de pavimento, revendo as vantagens e desvantagens da utilização de cada pavimento.

##### 4.1. MÉTODO DE ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

Para análise de infiltração de cada pavimento, foi utilizado um teste de infiltração da Norma Americana *ASTM C1701*, qual a capacidade de infiltração dos pavimentos de blocos intertravados e dos revestimentos asfálticos pré-misturado a frio.

Marchioni e Silva (2011) indicam para avaliação do coeficiente de permeabilidade de pavimentos, o método de ensaio da *ASTM C1701- Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete* (método de ensaio in situ para determinação de coeficientes de permeabilidade em concreto permeável)<sup>17</sup>. Apesar de esta norma ser específica para peças de concreto permeável, a utilização é justificável para este trabalho por não existir norma brasileira para determinado fim, sendo que, já se realizaram estudos parecidos com este.

Para a execução do ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos:

---

<sup>17</sup> MARCHIONI, Mariana, SILVA, C.O., **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas** São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

- **Cilindro para infiltração:** um anel cilíndrico, com abertura em cima e embaixo, com resistência á água, com rigidez suficiente para não deformar quando cheio de água. O cilindro deve ter um diâmetro de 30 cm e uma altura mínima de 20 cm. Na superfície interna do cilindro devem ser marcadas duas linhas com distancias de 1 cm e 1,5 cm da superfície inferior do anel.
- **Recipiente:** um recipiente de plástico tendo um volume mínimo de 20 L e de onde a água possa facilmente ser derramada em um volume controlado no cilindro de infiltração.
- **Cronometro**
- **Massa de calafetar**
- **Água**



**Figura 17:** Imagem do cilindro adotado para o teste  
Fonte: Acervo do Autor

Primeiramente, o local a ser testado foi totalmente limpo por uma escova, retirando quaisquer tipos de sedimentos presentes no local. A massa de calafetar é aplicada na superfície inferior de cilindro que é colocado no pavimento,

pressionando a massa em volta, para selar completamente a parte inferior do cilindro para uma total vedação.

Logo após é feita a pré-molhagem, despejando-se 3,6 L de água no interior do cilindro, com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações, esperando então a água infiltrar, para que assim o solo seja saturado.

O teste então é iniciado em até 2 min depois da pré-molhagem, sendo assim despejada a água no anel de forma que o nível de água se mantenha entre as duas marcações e até que se despeje todo o volume de água. O cronômetro é iniciado assim que a água atinja o pavimento permeável. Assim que não se observe mais água na superfície do pavimento, o cronometro foi parado.

Para a determinação do coeficiente de infiltração, utilizou-se a seguinte equação, apresentada pela norma C1701:

$$I = \frac{K \cdot M}{(D^2 \cdot t)}$$

Onde:

I = coeficiente de infiltração (mm/h)

M = massa de água infiltrada (kg)

D = Diâmetro interno do cilindro de infiltração (300 mm)

t = tempo de infiltração (s) K = 4.583.666.000

Os resultados extraídos nos ensaios poderão ser observados a eficiência de permeabilidade de cada pavimento.

#### **4.1.1. Teste em pavimentos intertravados**

Para a realização do teste de infiltração de blocos intertravados, o local escolhido foi a filia do Supermercado do Irmão, situado no bairro Santo Antônio em Caratinga/MG. A paginação do local é do tipo espinha de peixe, um pavimento novo,

com aproximadamente um ano, com tráfego de pessoas e automóveis, para carga e descarga, e juntas entre as peças de 3 a 4 mm.



**Figura 18:** Pavimento intertravado Supermercado do Irmão  
Fonte: Acervo do Autor

A figura 19 mostra as etapas de execução do teste de infiltração:



**Figura 19:** Etapas para o teste de infiltração. 1 Posicionamento do cilindro com a superfície inferior vedada com massa de calafetar. 2. Becker graduado para os volumes de água. 3. Início do despejo da água. 4. Enchimento do cilindro. 5. Cilindro cheio entre as marcas. 6. Finalização da prática com a infiltração total da água no pavimento.

Fonte: Acervo do Autor

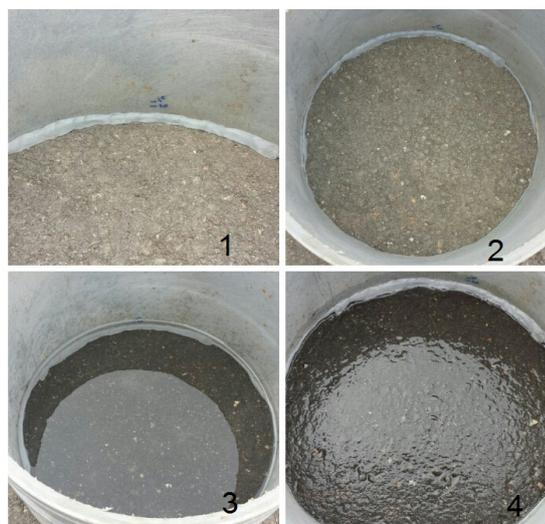
Para realizar o teste, foram utilizados três locais com 1 m livre de distância entre eles. Os resultados obtidos estão de acordo com os locais analisados e podem ser visualizados na Tabela 5:

DATA	LOCAL	VOLUME DE ÁGUA L	TEMPO (S)	I (mm/h)	I (m/s)
08/11/2015	1	3,6 L	8028	23,15	$6,4 \cdot 10^{-6}$
08/11/2015	2	3,6 L	7894	23,54	$6,53 \cdot 10^{-6}$
08/11/2015	3	3,6 L	7464	24,90	$6,91 \cdot 10^{-6}$

**Tabela 5:** Resultados obtidos pelo teste de infiltração em pavimentos intertravados.  
Fonte: Acervo do Autor

#### 4.1.2. Teste em pavimentos asfálticos pré-misturado a frio

Para a realização do teste de infiltração de pavimentação asfáltica pré-misturada a frio, o local escolhido foi o Loteamento Medeiros, situado em Piedade de Caratinga, pois é um revestimento feito recentemente assim como o intertravado de concreto, para ser feita a análise em pavimentos mais novos. A figura 20 mostra as etapas de execução do teste de infiltração:



**Figura 20:** Etapas para o teste de infiltração. 1. Posicionamento do cilindro com a superfície inferior vedada com massa de calafetar. 2. Marcas 3. Cilindro cheio entre as marcas. 4. Finalização da prática com a infiltração total da água no pavimento.

Fonte: Acervo do Autor

Foram utilizados três locais, assim como o teste de blocos intertravados, com espaçamento de 1m entre eles.

Os resultados obtidos estão de acordo com os locais analisados e podem ser visualizados na Tabela 6:

DATA	LOCAL	VOLUME DE ÁGUA L	TEMPO (S)	I (mm/h)	I (m/s)
15/11/2015	1	3,6 L	19332	9,61	$2,66 \cdot 10^{-6}$
15/11/2015	2	3,6 L	18432	10,08	$2,8 \cdot 10^{-6}$
15/11/2015	3	3,6 L	18972	9,79	$2,71 \cdot 10^{-6}$

**Tabela 6:** Resultados obtidos pelo teste de infiltração em pavimentação asfáltica  
Fonte: Autor

## 4.2. ANÁLISE ECÔNOMICA

A análise econômica tem como objetivo, mostrar os custos básicos para execução da camada de revestimento dos pavimentos pesquisados – revestimento asfáltico pré-misturado a frio e de blocos de concreto intertravados (pavers).

Para esta análise, foram utilizados dados obtidos da TCPO e SINAPI, sendo complementados com valores médios de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). A TCPO e SINAPI foram escolhidas por apresentarem valores mais próximos possível da realidade de cada tipo de serviço, através de estudos realizados por seus idealizadores. Não foram considerados para composição dos custos possíveis encargos sociais e nem o lucro, pois os valores foram utilizados somente para estimativa de preços quando a própria empresa executora fosse executar o serviço, sendo assim o lucro não se enquadra nesse comparativo, já que o que se busca neste tipo de análise é diminuir o valor do serviço, visando à economia do gasto de determinado serviço.

Os valores obtidos da TCPO para aplicação de 1 tonelada de concreto asfáltico PMF, estão demonstrados na tabela 7.

<b>MÃO DE OBRA</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>
Ajudante	h	0,0753
<b>MATERIAIS</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>
Areia lavada tipo grossa	m <sup>3</sup>	0,188
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,439
Emulsão asfáltica catiônica tipo RR 2C	kg	50
Pré misturado a frio – usinagem	t	1
Vassoura mecânica rebocável, faixa de trabalho, 2.44 m – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00846
Vibro acabadora sobre esteiras, diesel, potência 77 HP (57 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,00888
Rolo compactador auto propelido estático de pneus, diesel, potência 80 HP (60 kW). Peso Operacional 9.21 – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00746
Rolo compactador auto propelido vibratório tipo tandem, cilindros lisos em aço, diesel, potência 83 HP (62 kW), peso operacional 7,4 t, fator descarga: médio – vida útil 8.000 h)	h prod.	0,00746
Trator sobre pneus, diesel, potência 61 HP (45 kW) – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00425
Caminhão basculante, diesel, potência 228 HP (170 kW), capacidade carga útil 15,461, caçamba 6 m <sup>3</sup> - vida útil 8.000 h	h prod.	0,0333

**Tabela 7:** Pré-misturado a frio- aplicação  
Fonte: Acervo do Autor

A tabela 8 mostra os quantitativos de mão de obra, materiais e equipamentos para a pavimentação intertravada utilizando-se blocos de concreto sobre coxim de areia, os valores referem-se a cada m<sup>2</sup> aplicado.

<b>MÃO DE OBRA</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>
Calceteiro	h	0,23
Servente	H	0,46
<b>MATERIAIS/EQUIPAMENTOS</b>	<b>UNID.</b>	<b>QUANT.</b>
Areia lavada tipo fina	m <sup>3</sup>	0,005
Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,05
Bloco de concreto para pavimentação intertravado 6 faces – Tráfego pesado (comprimento: 100 mm / espessura: 60 mm / largura 400 mm)	m <sup>2</sup>	1
Compactador de placa vibratória, diesel, potência 10 HP (7,5 kW) – vida útil 8.000 h	h prod.	0,03

**Tabela 8:** Pavimentação intertravada de blocos de concreto sobre coxim de areia - unidade: m<sup>2</sup>  
Fonte: Acervo do Autor

Para o cálculo do BDI foram utilizados valores médios repassados por empresas da região conforme tabela 9.

<b>CALCULO DO BDI</b>	
Administração	2,00%
Taxas	2,00%
Emolumentos	1,00%
Impostos	10,00%
<b>Total</b>	<b>15,00%</b>

**Tabela 9:** Cálculo do BDI  
Fonte: Acervo do Autor

#### 4.2.1 – Análise econômica para revestimento asfáltico pré-misturado a frio (PMF)

A análise econômica foi feita a partir dos dados obtidos da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), a fim de se executar a pavimentação com mão de obra da própria empresa executora. A Tabela 9 exemplifica os valores levantados.

<b>Pré-Misturado a frio – aplicação – unidade t</b>				
<b>Mão de Obra</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor</b>	<b>Custo parcial (R\$)</b>
Ajudante	h	0,0753	9,67	0,73
<b>Materiais</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço</b>	<b>Custo médio parcial (R\$)</b>
Areia lavada tipo grossa	m <sup>3</sup>	0,188	70,00	13,16
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,439	57,50	25,24
Emulsão asfáltica catiônica tipo RR 2C	kg	50	1,22	61,00
Pré misturado a frio – usinagem	t	1	170,00	170,00
Vassoura mecânica rebocável, faixa de trabalho, 2.44 m – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00846	13,00	0,11
Vibro acabadora sobre esteiras, diesel, potência 77 HP (57 kW) - vida útil 20.000 h	h prod.	0,00888	41,67	0,37

Rolo compactador auto propelido estático de pneus, diesel, potência 80 HP (60 kW). Peso Operacional 9.21 – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00746	55,00	0,41
Rolo compactador auto propelido vibratório tipo tandem, cilindros lisos em aço, diesel, potência 83 HP (62 kW), peso operacional 7,4 t, fator descarga: médio – vida útil 8.000 h)	h prod.	0,00746	55,00	0,41
Trator sobre pneus, diesel, potência 61 HP (45 kW) – vida útil 8.000 h	h prod.	0,00425	49,50	0,21
Caminhão basculante, diesel, potência 228 HP (170 kW), capacidade carga útil 15,461, caçamba 6 m <sup>3</sup> - vida útil 8.000 h	h prod.	0,0333	91,67	3,03
			Custo (R\$) Médio Total sem BDI	274,67
BDI adotado = 15%			Custo (R\$) Médio Total com BDI	315,87
<b>Observação: 1t = 8,40m<sup>2</sup> de revestimento asfáltico (espessura = 5cm). Sendo assim, os valores apresentados são por metro quadrado de pavimentação</b>			<b>Custo (R\$) Médio Total com BDI (m<sup>2</sup>)</b>	<b>37,60</b>

**Tabela 10** - Composição de custo para preço aproximado por m<sup>2</sup> de pavimentação com revestimento asfáltico pré-misturado a frio com aquisição de materiais  
Fonte: Acervo do Autor

#### 4.2.2. Análise econômica para blocos intertravados de concreto retangular (PAVERS)

A análise econômica foi feita a partir dos dados obtidos da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), considerando somente a execução de serviços de mão de obra e gastos com a instalação do paver como responsabilidade do executor. A Tabela 11 exemplifica os números levantados.

<b>Pavimentação de blocos de concreto intertravado retangular (PAVERS) – unidade m<sup>2</sup></b>				
<b>Mão de obra</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>Custo Parcial (R\$)</b>
Calceteiro	h	0,23	12,22	2,81
Servente	H	0,46	8,88	4,08
<b>Materiais</b>	<b>Unid.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Custo Parcial Médio (R\$)</b>
Areia lavada tipo fina	m <sup>3</sup>	0,005	58,51	0,29
Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,05	58,33	2,92
Bloco de concreto para pavimentação intertravado 6 faces – Tráfego pesado (comprimento: 100 mm / espessura: 60 mm / largura 400 mm)	m <sup>2</sup>	1	38,61	38,61
Compactador de placa vibratória, diesel, potência 10 HP (7,5 kW) – vida útil 8.000 h	h prod.	0,03	2,43	0,07
<b>BDI adotado = 15%</b>			<b>Custo (R\$) Médio Total Sem BDI (m<sup>2</sup>)</b>	<b>48,78</b>
			<b>Custo (R\$) Médio Total Com BDI (m<sup>2</sup>)</b>	<b>56,10</b>

**Tabela 11** - Composição de custos para execução de pavimentação com compra de blocos e outros materiais

Fonte: Acervo do Autor

### 4.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE CADA PAVIMENTO

Cada tipo de pavimento tem em sua utilização, as suas vantagens e desvantagens, sob condições de tráfegos em vias urbanas. Deve-se sempre avaliar de forma sucinta cada situação, levando sempre em conta fatores como a disponibilidade de materiais e equipamentos necessários para a execução de cada pavimento.

Muitas das vezes as vantagens funcionais e ambientais se sobressaem sobre o fator econômico. Deve ser levado em consideração qualquer tipo de impacto que

cada tipo de pavimento pode trazer para o meio ambiente. Essa comparação se justifica em poder auxiliar a decisão da utilização de cada tipo de pavimento.

As Tabelas 13 e 14 exemplificam, consecutivamente, vantagens e desvantagens dos blocos intertravados de concreto e de revestimentos asfálticos pré-misturado a frio:

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Simplicidade de assentamento	Muitos projetistas analisam apenas o custo inicial, que é mais alto, e não o custo ao longo da vida útil do pavimento e os seus diferenciais de sustentabilidade.
Resistentes ao tráfego de pessoas e veículos.	E exige uma base bem feita, e se esses cuidados não forem tomados, o pavimento se deforma com mais facilidade que o asfáltico
Durabilidade, Sua característica estrutural permanece inalterada por muitos anos.	Esse piso não proporciona conforto a quem dirige, a trafegabilidade é ruim, mesmo sendo de baixo volume (tráfego reduzido).
Utilização Imediata do Pavimento	Durante a execução há a necessidade de muita mão de obra braçal, devido à pouca mecanização.
Facilidade de execução	O tempo de execução, que é mais longo e requer maior número de operários.
Estética, com suas variadas formas, dimensões, cores e texturas podem criar composições personalizadas de rara beleza.	
Conforto térmico e diminuindo a formação das ilhas de calor nos grandes centros urbanos, tornando sua aplicação ecologicamente correta.	

<p>Economia de Energia Elétrica, por sua coloração clara e fino acabamento, refletem a luz cerca de 30% a mais que outros tipos de pavimentos, gerando uma economia de até 60% na iluminação pública.</p>
<p>Não Impermeabiliza o solo, por serem assentados sobre pó de pedra ou areia, permitem a passagem da água da chuva, não impermeabilizando o solo e contribuindo para o controle das enchentes. Este fator o torna um produto ecologicamente correto.</p>
<p>Reutilização do produto, pois após seu assentamento, podem ser retirados e reaproveitados em outra obra ou local. Com 100% de aproveitamento das peças.</p>
<p>Facilidade de Manutenção, após longo tempo de uso, pode ser removida total ou parcialmente com grande facilidade, sendo aproveitado no mesmo local ou em outra obra. Isto facilita a manutenção de canalizações subterrâneas e correção do leito trafegável</p>

**Tabela 12:** Vantagens e desvantagens da utilização de blocos de concreto intertravado  
Fonte: Acervo do Autor

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Apresenta rapidez na execução, porque utiliza mais equipamentos e, assim, diminui a mão de obra.	Em caso de reparo, é preciso ter uma usina próxima ou condições de se fazer a própria mistura no local
Oferece conforto aos automóveis. É um pavimento classificado como silencioso.	Deforma-se com a presença de pingos de óleo oriundos de caminhões estacionados.
Custo menor, comparado ao intertravado	Possui estética desfavorável e manutenção problemática, pois deixa remendos e há perda total de material, não podendo haver

	reaproveitamento.
Baixa necessidade de manutenção.	Não atende, na totalidade, às questões ambientais.
	Sofre aquecimento, proporcionando desconforto aos pedestres.
	Não permite o escoamento da água das chuvas e isto causa o problema de enchentes e alagamentos, fazendo-se necessário construir estruturas de escoamentos.

**Tabela 13:** Vantagens e desvantagens da utilização de revestimento asfáltico pré-misturado a frio  
Fonte: Acervo do Autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no desenvolvimento deste trabalho, este capítulo é destinado a apresentar conclusões gerais sobre o assunto abordado.

Pode ser considerado que a capacidade de infiltração em um pavimento permeável é determinada pelo agregado utilizado no material de rejunte e da capacidade dos materiais da base em acumular e dissipar a água antes de ela se infiltrar no solo.

Devido ao fato de não existir norma brasileira que regulamente o método de ensaio e os valores de infiltração para pavimentos intertravados e asfáltico, foi utilizado o método da norma Americana, a ASTM (American Society for Testing and Materials) C1701, Standard Test Methods for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. Observa-se que a forma de como ele é feito, concentrando uma determinada quantidade de água em um cilindro, pode ser analisado a infiltração de cada pavimento.

No entanto, é possível admitir que apesar da permeabilidade dos pavimentos com paver estar na faixa de média à baixa, ainda sim consegue infiltrar a água da chuva com relativa eficiência, se comparando com o revestimento asfáltico, que se apresentou quase totalmente impermeabilizado, ou seja, diferenciando-se do bloco intertravado que, por sua vez, apresenta coeficiente de infiltração superior a do asfalto.

Considerando o aspecto financeiro de implantação de cada tipo de pavimento, o revestimento asfáltico pré-misturado a frio tem uma vantagem sobre o paver, visto que a execução desse tipo de pavimento é relativamente menor. Sendo assim, conclui-se que o revestimento asfáltico é o mais econômico.

Porém, alguns fatores como: disponibilidade de máquinas, materiais, matéria prima e mão de obra, devem ser levados em conta na definição do tipo de pavimentação, pois os preços podem variar de acordo com a região. Outro fator que deve ser levado em conta é o local onde será implantado o revestimento, pois pode haver exigências ambientais que favoreçam o tipo de pavimentação que seja menos agressivo ao ambiente, facilitando a liberação ambiental do serviço.

Um estudo bem feito gera um melhor uso dos recursos e assim uma pavimentação de melhor qualidade em todos os aspectos, buscando sempre obter

os melhores resultados possíveis, trazendo benefícios para todos os usuários e ao meio ambiente.

O pavimento asfáltico é insatisfatório em vias coletoras e locais, pelo fato de serem necessários reparos frequentes pela má execução do pavimento, sendo então que o paver é mais recomendado para este tipo de via, para que o motorista possa dirigir em uma velocidade menor para que assim, não possa sair da zona de conforto, sendo assim o asfalto é mais recomendado para vias de trânsito rápido, rodovias e arteriais.

Deve ser considerada a vantagem de cada pavimento devido a o aspecto ambiental, sendo assim, os blocos intertravados possuem mais vantagens quando comparado ao revestimento asfalto, pois se apresentam com maior eficiência em relação à permeabilidade, por serem assentados sobre pó de pedra ou areia, permitem a passagem da água da chuva através das juntas, mais ainda não é suficiente para considerar o pavimento totalmente permeável; por possuírem um maior conforto térmico devido a sua coloração clara, diminuindo também a utilização de energia elétrica; e por serem reaproveitados quando são retirados.

Tem-se como aspecto relevante também a cultura do local. No caso do Brasil que sofre com a escassez de mão-de-obra especializada em blocos de concreto intertravados, além da falta de investimento em tecnologia para mecanização deste sistema, o que resulta em um aumento da rejeição do mesmo, e também pela falta de fornecedores que produzem *pavers*, impede que este material seja utilizado em larga escala na pavimentação de ruas, pois mesmo com suas vantagens, o bloco intertravado não é visto como alternativa devida á postura conservadora da população, tornado o asfalto uma técnica consolidada.

Por fim, somente um maior incentivo do governo e divulgação em grande escala de todas as vantagens, principalmente ambientais, permitiria um maior uso dos pavers, principalmente em pavimentações urbanas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDA – **Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. Manual Básico de Emulsões Asfáltica**, Brasil 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:Peças de Concreto para Pavimentação**.1987

Bernucci, L. B.; L. M. G. Motta; J. A. P. Ceratti e J. B. Soares (2007) **Pavimentação Asfáltica, Second edition, Petrobras: ABEDA**, Rio de Janeiro, RJ.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa Soares. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008. **PETROBRAS: ADEBA**, 2008. Disponível em [http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto\\_Capitulo\\_04\\_Mar2010.pdf](http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_04_Mar2010.pdf). Acesso em 05/11/2015.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimentação com Peças Pré-Moldadas de Concreto**. 4 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. 2003. 281f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/> .Acesso em: 10/11/2015

LIEDE, bariani Bernucci... (ET AL). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. - Rio de Janeiro: PETRONRAS: ABED A, 206, p.158, 504 f.: il

LIEDI, Bariani Bernucci... (et al.). **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABED A, 2006, P386, 504 F.: Il.

MARCHIONI, Mariana e SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento intertravado Permeável – melhores praticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. P5, 24 f.

MACIEL, Anderson Brum. **Dossiê Técnico–Pavimentos Intertravados**. Santa Rosa: SENAI Virgílio Lunardi, 2007.

Pavimentos intertravados - Um caminho de vantagens com baixo custo. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, 2008. Disponível em: < <http://www.maski.com.br/prefabricados/extras/cartilha-abcp-paver/> >. Acesso em 01/11/2015

SANTANA, Professor Humberto Santana. **Manual de Pré-misturados a frio**, 1993

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 2001, v. II

**SITE SISLOC**. Disponível em: [HTTP://www.sisloc.com.br/noticia/vibroacabadoras-garantia-de-equilibrio-na-pavimentacao/715](http://www.sisloc.com.br/noticia/vibroacabadoras-garantia-de-equilibrio-na-pavimentacao/715). Acesso em : 05/11/2015

TCPO – **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13 ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

VIEIRA, Bruno Cardoso. **Análise da viabilidade do uso de pré-misturados a frio em aeródromos**. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2009. Disponível em [http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI004\\_Bruno\\_Vieira.pdf](http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2009/TGIEI004_Bruno_Vieira.pdf). Acesso em 04/11/2015

**ASTM C1701 (American Society for Testing and Materials)** - Standard Test Methods for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. 2009.