

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO  
SUSTENTÁVEL**

**PAVIMENTO INTERTRAVADO:  
UMA REFLEXÃO SOB A ÓTICA DA  
DURABILIDADE E SUSTENTABILIDADE**

Dalter Pacheco Godinho

Belo Horizonte

2009

Dalter Pacheco Godinho

**PAVIMENTO INTERTRAVADO:  
UMA REFLEXÃO SOB A ÓTICA DA DURABILIDADE E  
SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Linha de pesquisa: Pavimento Intertravado

Orientador: Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

G585p Godinho, Dalter Pacheco  
Pavimento intertravado: uma reflexão na ótica da  
durabilidade e sustentabilidade / Dalter Pacheco  
Godinho - 2009.  
157f. : il.

Orientador: Abdias Magalhães Gomes.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Concreto pré-moldado – Formas. 2. Materiais de  
construção – Durabilidade - Teses. 3. Desenvolvimento  
sustentável – Minas Gerais - Teses. I. Gomes, Abdias  
Magalhães. II. Universidade Federal de Minas Gerais.  
Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD : 693.544

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ARQUITETURA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO**  
**SUSTENTÁVEL**

**Pavimento Intertravado:**  
**Uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade.**

Dalter Pacheco Godinho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes  
DEMC/UFMG – (Orientador)

---

Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki  
USP

---

Prof. Dr. Marco Antônio Penido Rezende  
Escola de Arquitetura/UFMG

---

Prof. Dr. João Julio Vitral Amaro  
Escola de Arquitetura/UFMG

Belo Horizonte, 30 de abril de 2009.

*À memória de meu Pai.  
Para minha Mãe.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a elaboração dessa dissertação:

- ✓ Meu Mestre, Professor Dr. Abdias Magalhães Gomes, pelas valiosas sugestões e discussões enriquecedoras.
- ✓ Minha esposa Maria Clara e minhas filhas Bruna e Amanda, pela força, pelo apoio e pelo carinho. De quem privei momentos de convivência, esta dissertação é por vocês e para vocês.
- ✓ M.Sc. Eng. Edmundo Abi-Ackel, pelo incentivo ao início dessa empreitada, pela inestimável ajuda na elaboração do texto e disponibilização de valiosos dados de experimentos laboratoriais, além da infindável disposição em cooperar.
- ✓ Professores da Escola de Arquitetura, que me permitam mencioná-los de forma carinhosa pelos nomes de tratamento em nosso dia-a-dia: Eleonora, Marco Antônio, Taquinho, Leonardo, João Júlio, Roberta, Lurdinha, Maria Angélica, Heloísa, Ronaldo e Luiz. Agradeço a todos pelas críticas e sugestões indispensáveis, e, principalmente, por proporcionar uma visão mais ampla e integrada da natureza humana e suas idealizações.
- ✓ M.Sc. Eng. Abdo Hallack, pelas informações técnicas e calorosas discussões sobre pavimentação.
- ✓ Engenheiranda Deise Paraguay, pela paciência na formatação desta dissertação.
- ✓ Em memória de meu grande mestre e orientador profissional, o eterno amigo Eng. Márcio Rocha Pitta, pelos ensinamentos sobre engenharia da pavimentação e pelo trato despojado com que compartilhava seus conhecimentos gerais.

Agradeço a Deus por todas as coisas, desde minha existência até todas as minhas conquistas, numa proposta constante de ser digno do Seu amparo.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
TABELA .....	XI
LISTAS DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	XII
RESUMO.....	XIII
1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Considerações Preliminares .....	15
1.2 Objetivos da Dissertação .....	17
1.3 Justificativa e Relevância do Tema.....	19
1.4 Revisão Bibliográfica .....	21
2 VISÃO GLOBAL DOS PAVIMENTOS INTERTRAVADOS .....	23
2.1 Breve Histórico: Primeiros Passos.....	23
2.2 Estrutura Típica de um Pavimento Intertravado.....	34
2.2.1 Camada de Revestimento de PPC.....	37
2.3 Procedimentos de Construção dos PI.....	42
2.4 Característica do Intertravamento Produzido pelas Peças do PI.....	43
2.5 Características Funcionais dos Pavimentos Intertravados .....	48
3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO .....	54
3.1 Antecedentes.....	54
3.2 O Estado-da-Arte dos Métodos de Dimensionamento dos Pavimentos Intertravados .....	58
3.2.1 Dimensionamentos baseados na experiência de campo .....	59
3.2.2 Dimensionamentos utilizando-se experiência de campo e ensaios de laboratório .....	60
3.2.3 Dimensionamentos fundamentados na equivalência de materiais.....	61
3.2.4 Dimensionamentos baseados em modelos numéricos .....	63
3.3 Desenvolvimento e impasses .....	64

4	ANÁLISE DE NORMAS E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DESTINADO A TRÁFEGO LEVE .....	65
4.1	Estágio Atual das Normas Internacionais e Brasileiras.....	65
4.1.1	Norma Brasileira Atual.....	71
4.1.2	Parâmetros necessários a serem introduzidos na Norma Brasileira ..	73
4.1.3	Processo de revisão da normatização européia.....	74
4.1.4	Processo norte-americano de normatização e institucionalização da tecnologia de PPC .....	80
4.2	Sugestões para Elaboração da Norma de Pavimento Intertravado .....	82
4.3	Dimensionamento para Tráfego Leve .....	87
5	ANÁLISE DE CASO .....	92
5.1	Brumadinho.....	92
5.1.1	Situação atual das peças usadas em Brumadinho.....	97
5.2	Mário Campos.....	109
6	VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	112
6.1	Avaliação Funcional.....	112
6.1.1	Permeabilidade ou Drenabilidade de PI .....	112
6.1.2	Avaliação da Resistência à Derrapagem.....	120
6.1.3	Conforto de rolamento.....	124
6.1.4	Sintropia e Entropia .....	127
6.2	Dados para Composição de Custo Comparativo e Análise de Viabilidade.131	
6.3	Considerações sobre o Mercado, as Normas e o Ambiente .....	137
7	CONCLUSÕES .....	139
8	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	141
9	ANEXOS .....	156

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Vila Ápia em Roma .....	27
Figura 2.2 - Blocos de argila na cidade de Rio Branco, Acre. ....	29
Figura 2.3 - Rua de pavimento com pedras pé-de-moleque localizada na cidade de Paraty/RJ. ....	31
Figura 2.4 - Pavimento com pedras pé-de-moleque no “Caminho do Ouro” ....	32
Figura 2.5 - Estrutura típica de um pavimento intertravado.....	35
Figura 2.6 - Distribuição da carga normal vertical provocada pela roda, ao longo das camadas de um pavimento .....	36
Figura 2.7 - Principais tipos de assentamento das PPC .....	38
Figura 2.8 - Efeito do arranjo de assentamento das peças de concreto no desempenho do pavimento sob solicitação do tráfego. ....	39
Figura 2.9 - Formatos típicos das PPC mais usuais.....	40
Figura 2.10 - Formatos típicos de PPC .....	41
Figura 2.11 - Efeito da espessura das peças de concreto no desempenho do pavimento sob solicitação do tráfego .....	42
Figura 2.12 - Procedimento de construção.....	43
Figura 2.13 - Intertravamento horizontal. ....	44
Figura 2.14 - Intertravamento vertical.....	46
Figura 2.15 - Movimento de giração das peças pré-moldadas de concreto ....	47
Figura 2.16 - Intertravamento rotacional .....	47
Figura 3.1 - Aparato de Knapton .....	55
Figura 4.1 - Perda progressiva de nivelamento da superfície do pavimento devido a variações de espessura nas PPC.....	68
Figura 4.2 - Estrutura funcional do CEN e as subdivisões do TC 178.....	76
Figura 4.3 - Ensaio de tração indireta .....	77
Figura 4.4 - Esquema do ensaio de tração por compressão na própria PPC... 78	
Figura 4.5 - Dispositivo de ensaio de tração, utilizado em ensaios de resistência .....	78
Figura 4.6 - Fluxo de dimensionamento empírico para tráfego leve – Pedestres e carros leves.....	89

Figura 4.7 - Fluxo de dimensionamento empírico de PPC para tráfego leve – veículos leves e poucos veículos pesados.....	90
Figura 5.1 - Vista parcial da cidade de Brumadinho.....	92
Figura 5.2 - Peças pré-moldadas confeccionadas em Brumadinho .....	94
Figura 5.3 - Bairro Silva Prado, Brumadinho.....	95
Figura 5.4 - Varrição do rejunte de areia. Bairro Silva Prado, Brumadinho.....	96
Figura 5.5 - Compactação do Pavimento Intertravado. Bairro Silva Prado, Brumadinho.....	96
Figura 5.6 - Pavimento intertravado concluído, Bairro Silva Prado .....	97
Figura 5.7 - Pavimento intertravado concluído, Bairro Silva Prado .....	97
Figura 5.8 - Representação de uma peça de concreto de pavimento intertravado, peça adquirida no mercado .....	99
Figura 5.9 - Representação de um cilindro concreto moldado, utilizando resíduos de construção civil.....	99
Figura 5.10 - Perspectiva de uma peça pré-fabricada de concreto, da Cidade de Brumadinho/MG .....	100
Figura 5.11 - Prensa para o ensaio de compressão dos corpos de prova de concreto, Laboratório de Concreto, UFMG .....	101
Figura 5.12 - Gráfico com os resultado do ensaio a compressão .....	102
Figura 5.13 - Máquina Amsler .....	104
Figura 5.14 - Superfície após o ensaio de abrasão do corpo de prova moldado com agregados de resíduos de construção e demolição .....	106
Figura 5.15 - Superfície da peça de concreto para pavimentação intertravada adquirida no mercado, após o ensaio de abrasão .....	107
Figura 5.16 - Superfície da peça vinda de Brumadinho/MG, após o ensaio de abrasão .....	107
Figura 5.17 - Gráfico Desgaste por abrasão .....	109
Figura 5.18 - Pavimento intertravado, Mário Campos .....	110
Figura 5.19 - Pavimento intertravado, Mário Campos .....	110
Figura 5.20 - Pavimento intertravado, Mário Campos .....	111
Figura 5.21 - Pavimento intertravado, Mário Campos .....	111
Figura 6.1 - Constant Water Level Type Permeability Tester .....	115

Figura 6.2 - Gerador de Chuva Artificial .....	116
Figura 6.3 - Execução dos pavimentos intertravados drenantes.....	117
Figura 6.4 - Permeabilidade de pavimentos de Blocos de Concreto em várias idades .....	118
Figura 6.5 - Pavimento intertravado drenante, pisograma .....	120
Figura 6.6 - Aplicação de pavimento intertravado drenantes. ....	120
Figura 6.7 - Valores de coeficientes de atrito dinâmico em pavimentos intertravados .....	124
Figura 6.8 - Tipos de peça e pavimento .....	125
Figura 6.9 - Cadeira manual.....	126
Figura 6.10 - Cadeira elétrica .....	126
Figura 6.11 - Medição realizada por Idário Domigues em Ribeirão Preto/Ago 2001 .....	129
Figura 6.12 - Economia de energia elétrica proporcionada pelos pavimentos intertravados .....	129
Figura 6.13 - Economia de energia elétrica proporcionada pelos pavimentos intertravados. ....	130

## TABELA

Tabela 4.1 - Requisitos físicos para produção de PPC no Brasil .....	72
Tabela 4.2 - Granulometria da areia para o colchão de areia para pavimento intertravado .....	72
Tabela 4.3 - Requisitos do projeto de norma européia.....	79
Tabela 4.4 - Requisitos para PPC das normas Americana e Canadense .....	81
Tabela 4.5 - Categorias de tráfego para pavimentos .....	88
Tabela 5.1 - Resultado do ensaio a compressão dos corpos de prova, conforme NBR 9780.....	101
Tabela 5.2 - Desgaste por abrasão, referente a um percurso de 1000 m .....	108
Tabela 6.1 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos.....	114
Tabela 6.2 - Categorias de pavimentos intertravados conforme a permeabilidade.....	119
Tabela 6.3 - Valores mínimos sugeridos da resistência à derrapagem medido com o Pêndulo Britânico .....	122
Tabela 6.4 - Valores recomendados a resistência à derrapagem medidos com o Pêndulo Britânico .....	122
Tabela 6.5 - Resultados da resistência à derrapagem em PPC, medidas com o pêndulo britânico.....	123
Tabela 6.6 – Tempo de exposição contínua do cadeirante.....	127
Tabela 6.7 - Fator de luminância.....	130
Tabela 6.8 - Formato para o cálculo do custo de um pavimento de blocos pré-moldados de concreto .....	136

## LISTAS DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHO – American Association of Highway Officials

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials (USA)

ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute

NBR – Norma Brasileira Registrada

PPC – Peças Pré-moldadas de Concreto

PI – Pavimento Intertravado

TRRL – Transport and Road Research Laboratory

**PAVIMENTO INTERTRAVADO:  
UMA REFLEXÃO SOB A ÓTICA DA DURABILIDADE E SUSTENTABILIDADE**

**RESUMO**

A nomenclatura praticada no meio comercial e no técnico correspondente a esse tipo de pavimentação compreende o termo “Pavimento Intertravado”, o qual tem sido usado, frequentemente, de maneira inadvertida para designar qualquer tipo de pavimento cujo revestimento é constituído por peças pré-moldadas de concreto, às vezes restringindo-se a peças com certos formatos e dimensões.

Além das questões diretamente ligadas ao pavimento em si, faz-se, de forma sucinta, um breve relato quanto às características de sustentabilidade que envolvem a aplicação desse tipo de pavimento. De forma alguma se esgota o assunto, mas reafirma as necessidades do emprego da engenharia com uma visão integrada ao meio ambiente, como sói acontecer na visão da arquitetura.

A partir de práticas como a utilizada na nomenclatura desse tipo de pavimento, passando por construções que nem sempre atendem à norma brasileira vigente, obras que tem desempenho aquém do esperado ou que surpreendem positivamente, imagina-se a possibilidade de uma organização melhor sobre o assunto.

Dessa forma, desenvolve-se um levantamento das condições atuais, faz-se um estudo de caso e, de acordo com a devida compilação de dados, buscam-se comprovações quanto à possibilidade do uso de peças pré-moldadas de resistência mecânica menor do que as preconizadas pela norma da ABNT.

Com o intuito de colaborar com a devida normalização para a pavimentação intertravada, sugere-se não uma revisão das atuais normas, mas a criação de uma norma exclusiva; para a qual, desenvolve-se uma crítica à norma vigente que reúne tópicos fundamentais na discussão de um texto básico para uma nova norma.

## ABSTRACT

The nomenclature practiced in the commerce and corresponding technicians to this paving type comprehends the term “Interlocking Pavement”, which has been used, frequently, of inadvertent manner to designate any pavement type whose coating is constituted by precast paver of concrete, sometimes restricting the pieces with some formats and dimensions.

Besides the questions directly tied to pavement itself, it does, of succinct form, a brief report regarding the characteristics of sustainability that involve the application of this type of pavement. In no way it exhausts the subject, but it reaffirms the needs to engineering job with a vision integrated to the environment, like normally happen on vision from architectural.

From practices used as the used one in the nomenclature of this type of pavement, undergoing buildings what not always attend to the valid brazilian norm, works that has performance on this side of the waited or that surprise positively, it imagines the possibility of an organization better about the subject.

Thus, it develops a current conditions rising, it does a study of case and, according with owed her data compilation, they seek confirmations regarding the pieces precast of concrete smaller mechanical resistance use possibility that the recommended by ABNT's norm.

With intention of collaborating with due normalization for the interlocking paving, it suggests not a revision of the current norm, but the creation of an exclusive norm; for which, a criticism is developed to the valid norm that gathers fundamental topics in the discussion of a basic text for a new norm.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Preliminares

O sucesso dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto em todo o mundo pode ser atribuído à maneira única pela qual combinam os três requisitos fundamentais da pavimentação: estética, capacidade estrutural e integração com o ambiente.

As peças pré-moldadas de concreto - PPC - são duráveis e rígidas como as placas de concreto tendo, ao mesmo tempo, a flexibilidade associada aos pavimentos asfálticos.

Usar-se-á, por simplicidade, o termo pavimento intertravado - PI - para designar pavimentos com camada de revestimento constituída com características específicas. Argumenta-se sobre a necessidade dessa nomenclatura específica para determinar um tipo de pavimento; no caso, aquele constituído de peças pré-moldadas de concreto com dimensões e conformações que proporcionem o necessário intertravamento entre elas, possibilitando a transferência de carga devida ao atrito nas paredes laterais do conjunto peça-areia-peça e conferindo capacidade estrutural suficiente para simular uma camada contínua. Essa idéia é reforçada pela constante expressão nos trabalhos de SHACKEL (1981, 1988, 1990). Atribui-se, portanto, aos pavimentos ora estudados a condição *sine qua non* (indispensável e essencial) de intertravamento.

Por outro lado, quando o termo pavimento de peças pré-moldadas de concreto for, aqui usado referir-se-á ao caráter genérico de um pavimento com camada de revestimento constituída de peças pré-moldadas de concreto, com a mais ampla abrangência abordada pelas normas brasileiras da ABNT.

A imagem dos pavimentos intertravados geralmente está associada principalmente a áreas de postos de abastecimento e estacionamento de

automóveis; em segunda instância a zonas residenciais e calçadas, em que se busca simplesmente uma camada de revestimento ou efeitos estéticos – embora essas últimas aplicações tenham se despontado de forma intensa.

Desde a década de 1980, com a disponibilidade no mercado de equipamentos de grande produtividade e com elevado grau de precisão dimensional, a indústria de pavimentos intertravados vem crescendo em grandes proporções em todo o mundo, inclusive no Brasil. O que era um tipo de material utilizado apenas em áreas que demandavam efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, deu lugar a um material único extremamente versátil para harmonizar qualquer tipo de pavimento. Outra característica de destaque neste tipo de pavimento é sua manutenção, que ao contrário de outros tipos de pavimento que demandam equipamentos dispendiosos, pode ser realizada com uma pequena equipe e ferramentas manuais.

Segundo SMITH (2003), nos Estados Unidos a cada cinco anos dobra a quantidade em metros quadrados de área aplicada de Peças Pré-moldadas de Concreto. O que era quatro milhões de metros quadrados em 1980, em 2000 já atingia a marca de quarenta milhões a mais de metros quadrados aplicados. O mesmo crescimento tem sido registrados na Bélgica, Alemanha, Austrália, Nova Zelândia e África do Sul.

No Brasil, este consumo tem sido registrado pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um dos mais expressivos dos produtos pré-moldados que utilizam o cimento portland. Na cidade do Rio de Janeiro, programas de urbanização como o Rio Cidade e Favela Bairro já assentaram mais de 1.000.000 de metros quadrados de pavimentos de peças pré-moldadas na área urbana da cidade, nos últimos cinco anos.

## 1.2 Objetivos da Dissertação

Esta dissertação visa discutir as possibilidades do uso mais intenso e, de forma não menos enfática, agregar conceitos que possibilitem a abertura das idéias hoje fundamentadas numa normatização engessada, por mais estranho que possa parecer, na generalização tecnológica – refere-se às normas que tratam de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação, as quais não particularizam os pavimentos intertravados e suas possibilidades de aplicação.

Abrange a discussão de uma alternativa face às transformações inerentes ao desenvolvimento inadvertido que é praticado na área de engenharia de pavimentação que, por sua vez, não compactua com o compasso e sequer com a direção natural tomada pelos preceitos ecológicos.

Conduz, dessa forma, a questão para uma integração da engenharia na área da pavimentação, com os novos conceitos que podem equacionar as ciências humanas que estuda a estrutura e o desenvolvimento das comunidades humanas em suas relações com o meio ambiente e sua conseqüente adaptação a ele, assim como novos aspectos que os processos tecnológicos ou os sistemas de organização social possam acarretar para as condições de vida do homem.

Trata, dessa maneira, da aplicação da segunda lei da termodinâmica a questões sociais e ambientais. Assim, tem-se como parâmetro principal o próprio enunciado da lei: entropia é a medida da disponibilidade da energia, a qual afirma que toda energia de um sistema isolado passa de um estado ordenado para um desordenado. E, como pano de fundo, variável essencial, foca-se as necessidades e anseios da sociedade no âmbito do comportamento da natureza.

Colabora com subsídios para uma nova análise das normas vigentes e posicionamento quanto às reais necessidades de harmonia na pavimentação

urbana. A exemplo do corpo técnico nacional – incluem-se, aqui, os engenheiros, os arquitetos e os técnicos – ressalta-se os hábitos quanto à discrepância entre a nomenclatura comercial e a normatizada: usa-se o termo pavimento intertravado embora não haja uma norma específica para defini-lo. Todas as inferências, hoje, sobre pavimento intertravado não são balizadas por norma técnica da ABNT.

Uma variedade de métodos para dimensionamento das espessuras de pavimentos intertravados vêm sendo apresentados nas últimas conferências internacionais sobre o assunto e em várias outras publicações através dos anos, como abordado por: SHACKEL(1979, 1990), KNAPTON (1976), HALLACK (1998) e CRUZ (2003). Entretanto, os característicos específicos das peças que compõem o revestimento desse tipo de pavimento têm sido motivo de discussão apenas no âmbito da durabilidade em face de aplicações sob tráfego de veículos comerciais de intensidade significativa, como se percebe em HALLACK (1998), PITTA(1998) e também, a norma NBR 9780.

Os estudos de pavimentos intertravados dividem-se basicamente em duas escolas: a européia, liderada pela Inglaterra através das pesquisas de Knapton, e a australiana, resultante das pesquisas de Shackel na Austrália e na África do Sul. Ainda que a maior parte de seus achados sejam concordantes e compartilhados no todo ou parcialmente, existem ainda alguns pontos que geram discussões e antagonismo.

A visão da necessidade, sentida no desempenho da profissão, de se contemplar situações de solicitação menos intensa, no que diz respeito a cargas e respectivas frequências, é o foco principal dessa dissertação.

Alguns conceitos básicos envolvidos no projeto de pavimentos intertravados são revisados e agrupados nesta dissertação, em particular, àqueles que se destinam à áreas de baixo tráfego, dado que essas categorias devem

contemplar peças de resistência mecânica inferiores aos casos comuns sujeitos ao tráfego comercial intenso.

Abordam-se características especiais tais como as influências no desempenho do pavimento advindas do formato e do arranjo de assentamento das peças, do intertravamento e da espessura da camada de areia de assentamento; características que devem ser consideradas no projeto, ainda que não levadas em conta diretamente nos procedimentos de dimensionamento; tais inserções se dão tendo em vista a necessidade do atendimento a esses característicos mesmo em vias de baixo tráfego, caracterizando, assim, o tipo de pavimento, mas se constituindo em objeto principal dessa dissertação.

### **1.3 Justificativa e Relevância do Tema**

Trata de questão fundamental para a adequada implementação da infraestrutura das urbes. Os aspectos relevantes giram em torno de discussões ambientais e econômicas, pautando-se na utilização racional do consumo de energia, tanto no processo de construção, como, e essencialmente, no decorrer do uso desse tipo de pavimento, no que tange às circunvizinhanças.

As necessidades de novos conceitos e rompimentos com paradigmas arraigados no sistema das administrações urbanas fazem-se mister no rompimento do novo século. O trato das prerrogativas da natureza em relação aos costumes, cada vez mais intrincados, impressos nas iniciativas de cunho público tem relevo fundamental na questão abordada, em particular no caso das pavimentações urbanas.

Além da discussão quanto às energias despendidas, promove-se o conhecimento, senão unicamente o fomento, para o emprego de uma alternativa viável técnica e economicamente. Trata dos fundamentos da tecnologia dos pavimentos intertravados, dando enfoque especial a métodos construtivos e controle tecnológico que possibilite a verificação da qualidade

almejada. Pretende-se, de forma sucinta, contribuir com a boa prática da arquitetura e da engenharia numa área há algum tempo subjugada à mesmice.

Numa breve análise conjuntural, pode-se dizer que as diretrizes reinantes para o desenvolvimento da pavimentação seguem caminhos notáveis, como num processo gravitacional, atreladas ao fácil duto da entropia. Haja vista a fartura da matéria-prima mais utilizada e seus desmembramentos quanto ao gasto de energia e ao custo sócio-ambiental. Trata-se de ilhas de sintropia positiva que são facilmente acessíveis e, assim, exploradas pelo homem. O petróleo, encontrado em jazidas, é um componente material de um sistema numa ilha de sintropia positiva, o qual não se mistura de maneira indistinguível, mas está ordenadamente separado e, portanto, é facilmente identificável e passível de gerar trabalho para o processo econômico.

No cômputo das ações de exploração dessas fontes de “energia armazenada” pode-se vislumbrar os limites da sintropia positiva e o inevitável crescimento de entropia no processo econômico que se faz envolver, gerando, num comportamento zeloso, uma barreira ecológica ao desenvolvimento da área em questão quando do uso de tal matéria-prima.

Ora, notadamente, engendrar, por si só, promove a queda de potencialidade, a diminuição de probabilidade de arranjos da matéria e, conseqüentemente, o aumento da desordem local e o desencadear da entropia. Tal situação demanda o estudo de “movimentações” que, embora não devam deixar de ser pertinentes a um foco de desenvolvimento, tenham o caráter de sustentabilidade, promovendo, se não um ganho de potencialidade local, uma compensação de valores constatada pelo menor dispêndio de energia na consecução do intento – no caso, a pavimentação. A adoção de sistemas de pavimentação que permitam despender menos energia, tanto na obtenção de matérias-primas que constituem o pavimento, quanto na construção e na utilização do produto final, tem apelo de caráter ecológico e tangencia a inatingível assíntota da sustentabilidade.

No que se refere à obtenção da matéria-prima – no caso dos pavimentos intertravados, o cimento portland – tem um custo ecológico menor em função de se processar materiais abundantes na natureza que, quando tratados cuidadosamente, podem agredir de forma menos intensa e definitiva o local de sintropia positiva – tratamento e reflorestamento de jazidas e vizinhanças. O que não acontece numa exploração de petróleo.

Em termos sucintos, um pavimento é uma estrutura composta de camadas de diferentes materiais, construída sobre o solo, com a função de permitir o tráfego de veículos e pessoas de maneira segura, confortável e econômica, em qualquer condição de clima, durante um determinado período de tempo (período de projeto).

Dessa forma, o valor social alicerça o investimento, mas dada a impossibilidade de impedir entropias ecológicas pelo simples fato da necessidade de transformações e movimentações da matéria, deve agregar qualidade no que tange à sustentabilidade e, obviamente, passível de quantificação.

Assim, faz-se, de maneira concisa, um relato sobre as principais vantagens – talvez se possa dizer um dia, exigências para concepção de projeto de pavimentação urbana – que o pavimento intertravado pode conferir aos investidores, usuários e circunvizinhanças.

#### **1.4 Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica a seguir aborda temas, como o projeto do pavimento intertravado e a especificação de materiais, nos quais ficou evidenciada a escassez de dados encontrados na literatura científica, sobretudo inerente às características mecânicas necessárias ao adequado funcionamento da estrutura de pavimentação. Artigos técnicos, dissertações e teses de doutoramento também foram consultados para a realização desta revisão.

A presente dissertação aborda o estado-da-arte da pavimentação com peças pré-moldadas de concreto – como se referem as normas brasileiras da ABNT, com ênfase no projeto e nos característicos das peças do pavimento. As propriedades físicas das peças e sua aplicação como material de pavimentação também são referenciadas de maneira a dar o destaque de sua real importância para a indústria da construção civil.

Percebe-se, facilmente, pelo histórico desse tipo de pavimento no País, que a forma incipiente do uso de novas técnicas tem deparado com a inércia inerente ao *status quo* (estado atual) dessa área da engenharia – como sói acontecer na vasta gama de ciências aplicadas, principalmente em nosso País.

A partir da avaliação do estado-da-arte envolvendo esse tipo de pavimento, através da consulta de bibliografias recentes, será possível avaliar e destacar a necessidade de sua implementação, quer por razões meramente econômicas, quer pelas necessidades ambientais, no que tange à preservação do meio e à conservação de energia integrada que envolve a pavimentação urbana. Essa necessidade permite evidenciar que esse tipo de pavimentação tem potencial de aplicabilidade na construção civil, em substituição, com grandes vantagens, ao processo comumente utilizado – o asfaltamento.

## 2 VISÃO GLOBAL DOS PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

### 2.1 Breve Histórico: Primeiros Passos

MADRID (1985) relata que a história dos pavimentos de peças pré-moldadas se confunde com a história do primeiro pavimento que se construiu com superfície durável, há cerca de 25 séculos: a cobertura do terreno com a colocação de pedras em estado natural, que foi a origem dos pavimentos. Surgiu da necessidade de se ter vias duráveis, que permitissem o trânsito rápido e seguro em qualquer época do ano.

Com o aperfeiçoamento dos veículos de tração animal surgiu a necessidade de uma superfície de rolamento mais uniforme, que permitisse um trânsito mais confortável. Passou-se, então, a talhar as pedras para obtenção de um melhor ajuste entre elas. Pode-se dizer que assim se construiu o primeiro pavimento de peças pré-moldadas.

Para melhor entender a importância dos pavimentos com camada de revestimento constituída de peças pré-moldadas de concreto é relevante recorrer a alguns dados históricos que mostram como os povos através dos séculos, sentiram a necessidade de criar e construir caminhos, trilhas e atalhos com o objetivo de vencer as distâncias existentes entre os povoados e suas colônias, estabelecendo assim algum tipo de comunicação entre eles.

Na descrição de MULLER (2005), o desenvolvimento da técnica de pavimentação resultou de uma evolução de procedimentos. Consoante relata SAUNIER (1936), *apud* BERNUCCI *et al.* (2007), a história da pavimentação remonta aos egípcios, ressaltando uma das mais antigas estradas pavimentadas de que se tem registro, que remonta aos anos 2600 – 2400 a.C., a qual foi construída em lajões justapostos destinados ao transporte de carga em trenós. Ademais, destaca várias estradas na Antigüidade, como: a estrada de Semíramis (600 a.C.) construída entre as cidades da Babilônia (hoje no

território do Iraque) e Ecbátana (hoje Hamadá, no território iraniano); a estrada Real com 2000 km de extensão, ligando Jônia (hoje na Grécia) a Susa (hoje no Irã); e a estrada de Susa a Persépolis, com 600 km, elevando-se do nível do mar até uma altitude de 1800 m no atual Irã.

BITTENCOURT (1958), *apud* BERNUCCI *et al.* (2007), registra, ainda, estradas importantes da Antigüidade construídas pelos assírios, bem como os caminhos da Índia e da China.

KNAPTON (1996) proporciona uma abordagem dos primórdios da civilização ocidental, descrevendo a importância das técnicas de construção de pavimentos de várias épocas, que permitiram o desenvolvimento dos povos através dos séculos. Alguns destes fatos relevantes do desenvolvimento histórico da pavimentação serão ressaltados a seguir.

Os povos Etruscos dominaram a Itália no período compreendido entre 800 e 350 a.C. É creditado a estes povos o pioneirismo na construção de caminhos específicos com fins de transporte de pessoas e cargas entre as vilas e colônias da época. As técnicas utilizadas pelos Etruscos visavam ligar distâncias longas, com a preocupação de garantir conforto e resistência através de uma superfície mais plana possível, utilizando os materiais disponíveis e conhecidos na época. As ruas das cidades Etruscas chegavam a 15 metros de largura e no seu revestimento era adicionada pedra de mão, juntamente com um material mais fino, objetivando permitir às pessoas maior segurança quanto ao escorregamento, na presença de água na superfície.

Muito dos conhecimentos dos Etruscos sobre a construção de caminhos foram herdados pelos Romanos, o que muito contribuiu para a expansão de seu Império. À medida que os Romanos conquistavam novas regiões houve necessidade de construir ligações com o Império para principalmente manter o deslocamento de tropas militares, se necessário fosse. O auge do Império Romano foi por volta do século 117 d.C., mas desde os primeiros séculos d.C.

o poder e a riqueza do Império permitiram sua expansão a regiões distantes de toda a Europa como a “Gália” (França), “Bretanha” (Inglaterra) e parte da “Germânia” (Alemanha). Enfim, Roma dominava todo o mundo Mediterrâneo (KNAPTON, 1996; GLOBO, 1995).

Os caminhos Romanos foram construídos de várias formas de acordo com sua importância e expectativa de utilização, disponibilidades locais de materiais para construção, clima e topografia. Os materiais utilizados como revestimento dos caminhos de longa distância eram geralmente constituídos por solos arenosos misturados a pedras naturais do tipo seixos rolados. Pedras talhadas manualmente nas formas retangulares e poligonais eram utilizadas nos revestimentos das ruas mais utilizadas das cidades.

A maioria dos caminhos era construída, inicialmente, com propósitos militares, a fim de garantir o rápido deslocamento das tropas. A política de desenvolvimento das colônias conquistadas pelo Império Romano levou estes caminhos a serem utilizados para propósitos civis e de cunho econômico, transportando os tesouros e riquezas para Roma.

Os caminhos Romanos construídos na região da “Bretanha”, hoje conhecida como Inglaterra, tinham características inéditas. Eram construídos aterros sobre o terreno natural, a fim de obter maior visibilidade contra os possíveis ataques dos “Britons”, como eram conhecidos os povos que habitavam originariamente a “Bretanha”, considerados muito hostis. O material empregado no aterro era extraído de escavações paralelas aos caminhos, que indiretamente formavam um canal dos dois lados e em toda a extensão destes caminhos, servindo como uma drenagem natural.

Outra importante característica das técnicas de pavimentação utilizadas pelos Romanos ficou demonstrada em escavações arqueológicas realizadas em 1887, em Londres, em famosas ruas da época da Idade Média, como por exemplo, a Watling Street, Ermine Street e Fosse Way Street. Nas escavações

realizadas, foram encontradas estruturas compostas por três ou quatro camadas de materiais de diferentes espessuras e granulometrias.

A técnica das escavações dos canais foi disseminada pelas vias Romanas o que muito facilitou a criação dos aquedutos de Roma e implantou o conceito de drenagem nas vias principais.

Os Romanos também já reconheciam a importância dos tipos de areia utilizada na construção dos caminhos. Existem relatos de classificação das areias como as de rio, as extraídas dos canais e do solo natural. Havia uma proposta de mistura entre elas, juntamente com cal ou calcário, formando assim um tipo de argamassa na qual posteriormente era adicionado seixo rolado ou mesmo pedras de mão espalhadas sobre o caminho. Esta experiência já demonstrava a preocupação com a capacidade estrutural das camadas.

No século 150 a.C. foi descoberto na cidade Italiana de “Puzzeoli” um material conhecido na época como “puzzolana”. Rapidamente percebeu-se que este material utilizado em conjunto com a argamassa de cal e areia apresentava considerável resistência mecânica ao longo do tempo. Isto evoluiu para o que hoje se conhece como o cimento portland.

Na história da pavimentação Romana, fica clara a importância da utilização de pedras talhadas manualmente, que serviam como revestimento final da via. Um dos exemplos vivos dessa tecnologia que resiste até os tempos de hoje é a via Ápia, que foi um dos caminhos mais importantes do Império Romano e ligava Roma ao sul da Itália. Iniciada pelo censor romano Appius Cláudios, ligava Roma a Brindisi, numa extensão de 584 km, com o objetivo de transportar provisões, tropas e armamentos da costa do Mediterrâneo à costa Ádria. A Figura 2.1 apresenta um dos poucos locais em que se mantiveram intactas partes da Via Ápia.



Figura 2.1 - Vila Ápia em Roma (MADRI, 2004)

Com o passar dos séculos, cada vez mais se utilizavam os caminhos para fins mercantis, onde as composições das cargas transportadas foram se modificando, exigindo cada vez mais da camada de revestimento.

SHACKEL (1990) relata que a pavimentação de peças segmentadas vem sendo aplicada pelo homem desde a Idade Média. A natureza das peças utilizadas era basicamente função da oferta dos materiais locais aliada ao desenvolvimento das técnicas de execução. O processo evolutivo dos tipos de peças de pavimentação segmentadas é representado basicamente por quatro tipos de materiais. Algumas características destes materiais são descritas resumidamente a seguir.

### **Blocos de tijolos de argila**

Na Mesopotâmia existem evidências de uso de tijolos de argila em revestimento há 5.000 anos, foram também nesta época os primeiros relatos da utilização do

betume em pavimentação. Nesta técnica, os tijolos eram aplicados sobre uma camada de betume objetivando garantir a aderência dos tijolos ao leito do terreno. Porém, a durabilidade destes blocos não era grande devido ao excessivo desgaste superficial gerado pela ação do tráfego da época.

A utilização dos blocos de argila ficava restrita a regiões que não dispunham de outro material de maior resistência. No final do século XIX, apareceram os primeiros fornos que queimavam os tijolos em altas temperaturas, esta técnica resultava no aumento de resistência mecânica dos tijolos, passando então a ser muito utilizada na Europa e América.

Em 1926 teve início a pesquisa científica americana utilizando pistas experimentais para testes acelerados em pavimentação. Os primeiros estudos foram realizados em pavimentos com revestimento de tijolos de argila queimados. Muitas cidades Americanas como Baltimore, por exemplo, preservam este tipo de pavimento em sua parte central, apesar de grandes áreas já terem sido recapeadas com asfalto.

A cidade brasileira de Rio Branco, capital do Acre, vem utilizando a tecnologia dos blocos de tijolos de argila na pavimentação de suas ruas desde 1940, a Figura 2.2 apresenta um trecho de pavimento com a utilização de blocos de tijolos de argila nesta cidade. A inexistência de pedra naquela região do país, aliada à grande disponibilidade de material para a produção de tijolo cerâmico contribuiu de forma decisiva para este fato.



Figura 2.2 - Blocos de argila na cidade de Rio Branco, Acre (NASCIMENTO,2005).

A tecnologia de assentamento é feita diretamente sobre um aterro previamente preparado em termos geotécnicos oferecendo uma superfície que confere segurança ao rolamento, além de oferecer resistência à infiltração de água. A matéria prima para a fabricação dos blocos de tijolos de argila deve apresentar alto índice de resistência à compressão, para que, quando convenientemente preparada e queimada, dê origem a blocos que apresentem boa resistência à compressão e ao desgaste (FUNTAC, 1999).

### **Pedras talhadas e aparelhadas manualmente**

Revestimento de pedras talhadas foi o preferido pelos Romanos, quando era exigida grande resistência ao desgaste. Porém, sua utilização dependia essencialmente da disponibilidade de materiais. Para executar um quilômetro de revestimento com oito metros de largura (8.000 m<sup>2</sup>) deste tipo de pavimento eram necessários aproximadamente setenta homens por um período de um mês (KNAPTON, 1996).

No século XVIII, surgiam os primeiros modelos de assentamento em fileiras ou tipo espinha de peixe. Naquela época já existia grande preocupação em manter

as juntas estreitas entre as peças, exigindo esforços para homogeneizar as dimensões das peças. As espessuras variavam entre 90 e 180 mm.

No século XX, foi instituída a prática de selar as juntas com argamassa de cimento ou com uma mistura de asfalto e areia. Esta prática visava principalmente atenuar o barulho sob a ação do tráfego.

No Brasil, este tipo de pavimento é mais conhecido como o pavimento de paralelepípedos ou paralelos e pé de moleque. Nos pavimentos de paralelos, as peças têm dimensões aproximadas de 12 cm de largura, 20 cm de comprimento e 20 cm de altura. Este tipo de pavimento é muito utilizado nos dias de hoje nas cidades do interior do país e áreas como baias de ônibus das grandes cidades. O seu assentamento é sobre uma espessa camada de areia, guardando as juntas entre peças de até 2 cm. As pedras tipo pé-de-moleque são mais antigas que o paralelo. Foram trazidas pelos portugueses a partir de 1600. As pedras têm formatos irregulares e dimensões de até 50 cm e são arrumadas sobre o terreno natural. Exemplos de aplicação dos pavimentos de pedras pé-de-moleque podem ser vistos em cidades históricas do Rio de Janeiro e Minas Gerais, como Paraty, no Rio de Janeiro, e Tiradentes, em Minas Gerais. A Figura 2.3 apresenta um trecho de pavimento com a utilização de pedras pé-de-moleque na cidade de Paraty.



Figura 2.3 - Rua de pavimento com pedras pé-de-moleque localizada na cidade de Paraty/RJ. ([http://www.imagensviagens.com/br5\\_paraty.htm](http://www.imagensviagens.com/br5_paraty.htm))

Os portugueses construíram este tipo de pavimento para facilitar o transporte do ouro que era explorado nas cidades mineiras de Tiradentes, São João Del Rey e Ouro Preto e trazido até a cidade de Paraty no Rio de Janeiro para embarque nos navios que o levavam a Portugal. A Figura 2.4 ilustra este tipo de pavimento no caminho entre Paraty e as cidades mineiras, no chamado “Caminho do Ouro”.



Figura 2.4 - Pavimento com pedras pé-de-moleque no “Caminho do Ouro”.  
(<http://www.paratytours.com.br>)

### **Blocos de tijolos de madeira**

No início do século XIX, os revestimentos de peças de madeira eram utilizados objetivando diminuir o nível de ruído, principalmente onde o tráfego era composto de carruagens equipadas com rodas de ferro. Os blocos de madeiras tinham em média dimensões entre 125 mm e 250 mm de comprimento e 75 e 100 mm de largura. As peças eram envolvidas por uma camada de mastique betuminoso onde polvilhavam-se grãos pequenos de pedra para auxiliar sua ancoragem à base do pavimento.

Embora os pisos de madeira reduzissem o barulho durante o tráfego, tornavam-se escorregadios quando molhados. Com o aparecimento do automóvel dotado de pneus de borracha, este tipo de revestimento foi definitivamente abandonado.

## **Peças pré-moldadas de concreto (PPC)**

A primeira peça pré-moldada de concreto foi fabricada no final do século XIX e algumas patentes foram registradas antes da primeira guerra mundial. Rapidamente foi reconhecido que as PPC forneciam melhor uniformidade que as peças aparelhadas e obviamente não necessitavam re-aparelhamento antes do assentamento como acontecia com as pedras naturais.

Os primeiros avanços no desenvolvimento da utilização da pavimentação intertravada, ocorreram na Holanda e Alemanha no período de reconstrução dos países após a Segunda Guerra Mundial. A partir de 1950, houve uma evolução dos modelos de fôrmas existentes para a fabricação das PPC. Primeiramente as peças imitavam os tijolos e pedras aparelhadas utilizadas na época, objetivando obter sua substituição gradual. Nesta fase, as únicas vantagens de utilização eram os custos mais baixos e a homogeneidade dimensional.

Passado este período, foi incorporado um refinamento maior nas formas das peças, disponibilizando outros modelos de peças com formatos dentados, principalmente. O conceito de intertravamento e um melhor controle de espessuras das juntas começavam a ser implantados. Benefícios práticos para o assentamento das peças eram facilmente detectados permitindo a utilização correta de mão de obra pouco especializada.

O desenvolvimento da pavimentação intertravada permitiu relacionar a escolha da forma geométrica com o desempenho do pavimento, em função do tipo de tráfego. Mais recentemente, novas e importantes mudanças ocorreram com a iniciativa de desenvolver o assentamento mecânico.

Em meados dos anos 1960, além de grande parte dos países europeus, o pavimento intertravado já estava consolidado comercialmente nas Américas Central e do Sul e África do Sul. Na década de 1970 cresceu o uso nos

Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão. No final da década de 1970, proliferaram os sistemas de fabricação de PPC em todo o mundo e pelo menos 200 tipos de formas e diversos tipos de equipamentos de fabricação eram comercializados.

No início da década de 1980, a produção anual já ultrapassava 45 milhões de metros quadrados, sendo 66% deste total aplicados em vias de tráfego urbano. A indústria mundial de fabricação de PPC no final da década de 1990 chegou à marca de produção de 100 m<sup>2</sup> por segundo durante os dias úteis de trabalho (SMITH, 2003).

O emprego continuado e crescente da pavimentação com peças pré-moldadas de concreto e o grande desenvolvimento dessa tecnologia, observados nas três últimas décadas em diversos outros países, são provas da sua versatilidade, qualidade e economia. Além de agregar contribuição no que se refere ao caráter ecológico, proporcionando menor consumo de energia, melhor aproveitamento de materiais-primas locais e integrando-se ao meio de maneira mais suave e harmoniosa.

## **2.2 Estrutura Típica de um Pavimento Intertravado**

Sob o ponto de vista estritamente técnico, pode-se dizer que a função básica e primeira de um pavimento é distribuir cargas concentradas, de maneira a proteger o subleito, fazendo com que sua capacidade de suporte não seja excedida, seja o subleito resultante de corte ou aterro.

Os pavimentos intertravados possuem a seção transversal típica mostrada na Figura 2.5, abstraídos eventuais abaulamentos ou caimentos e dispositivos de drenagem.

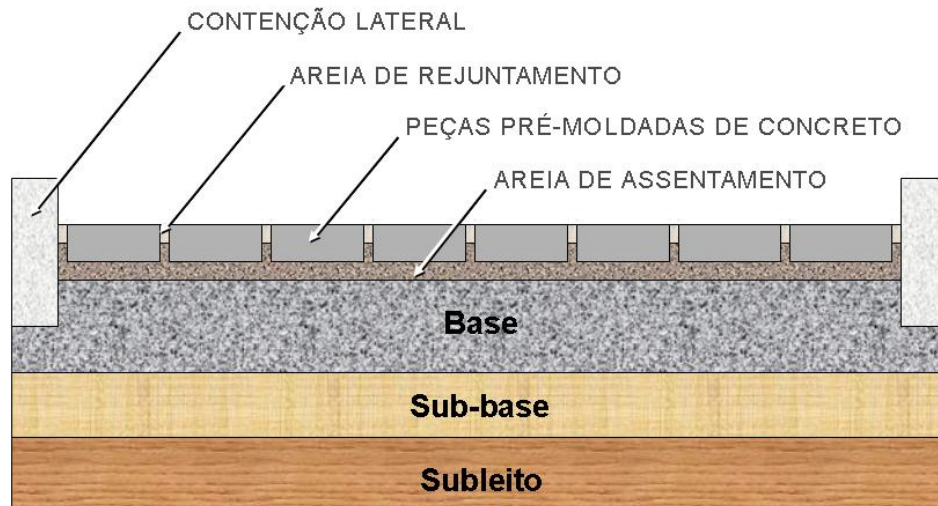


Figura 2.5 - Estrutura típica de um pavimento intertravado (HALLACK, 1998)

A camada de rolamento é formada por peças pré-moldadas de concreto que compõem um revestimento de durabilidade e resistência adequadas assentadas sobre uma camada delgada de areia. Este revestimento deve ser capaz de suportar as cargas e as tensões provocadas pelo tráfego protegendo a camada de base do desgaste por abrasão e a mantendo com baixos níveis de umidade permitindo melhor estabilidade do material constituinte (HALLACK, 1998; ABCP, 1999).

A base, que tanto pode ser composta de material puramente granular ou estabilizado, é normalmente a principal componente estrutural do pavimento. A ela cabe receber e distribuir as tensões provenientes das solicitações externas e transmiti-las em intensidade significativamente menor às camadas subjacentes.

Os estudos realizados por KNAPTON (1976) demonstram que a camada de base deve ser uma camada pouco permeável, ou impermeável, para evitar a penetração da água e a prematura deterioração do subleito. SHACKEL (1990) admite que o dimensionamento poderá requerer, ainda, uma camada de sub-base, suplementar à base, executada diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço de subleito dependendo da magnitude das cargas geradas pelo

tráfego e das características mecânicas e dos módulos de elasticidade da base e do leito.

A sub-base, cujas funções são semelhantes às da camada de base, geralmente é constituída de material puramente granular, de maneira a proporcionar aumentos de resistência global da estrutura a custos menores.

Pode-se dizer que as camadas constituintes da estrutura de um pavimento intertravado possuem a função de distribuir a tensão normal vertical aplicada na superfície, como exemplificado na Figura 2.6, de tal maneira que o subleito receba uma parcela muito inferior desta tensão, o que caracteriza um pavimento flexível.

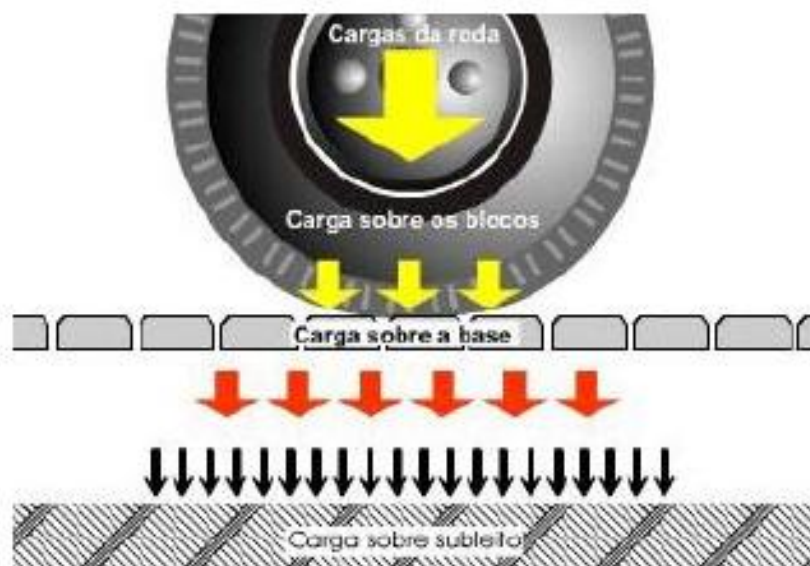


Figura 2.6 - Distribuição da carga normal vertical provocada pela roda, ao longo das camadas de um pavimento (BRICKA).

Alguns outros materiais começam a ser empregados no projeto e na execução de PI, como os geotêxteis. Eles possuem a finalidade de proteger as camadas inferiores da infiltração de água, evitar o bombeamento de finos e conter a fuga de materiais em áreas próximas às contenções laterais, tais como: meio-fios, drenos, caixas de serventia, etc. (CRUZ, 2003).

As espessuras das camadas constituintes do Pavimento Intertravado, como nos pavimentos asfálticos, irão depender das seguintes características (ABCP, 1999):

- Intensidade do tráfego que circulará sobre o pavimento;
- Características do terreno de fundação;
- Qualidade dos materiais constituintes das demais camadas.

### **2.2.1 Camada de Revestimento de PPC**

Segundo MULLER (2005) a camada de revestimento composta por PPC estabelece a condição de rolamento (conforto ao usuário), durabilidade do pavimento e contribui decisivamente para a função estrutural do pavimento (distribuição de tensões) por meio de suas características de intertravamento, além de suportar as tensões cisalhantes superficiais de contato das rodas dos veículos.

A capacidade de distribuição dos esforços da camada de revestimento depende essencialmente de sua espessura, formato e arranjo. Pode-se dizer que a resistência à compressão individual das peças possui pouca influência neste aspecto (HALLACK, 1998).

#### **Arranjo**

O arranjo ou modelos de assentamento das PPC afetam significativamente a aparência estética e o desempenho dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto. Na Figura 2.7 estão apresentados os principais tipos de arranjo existentes segundo HALLACK (1998).

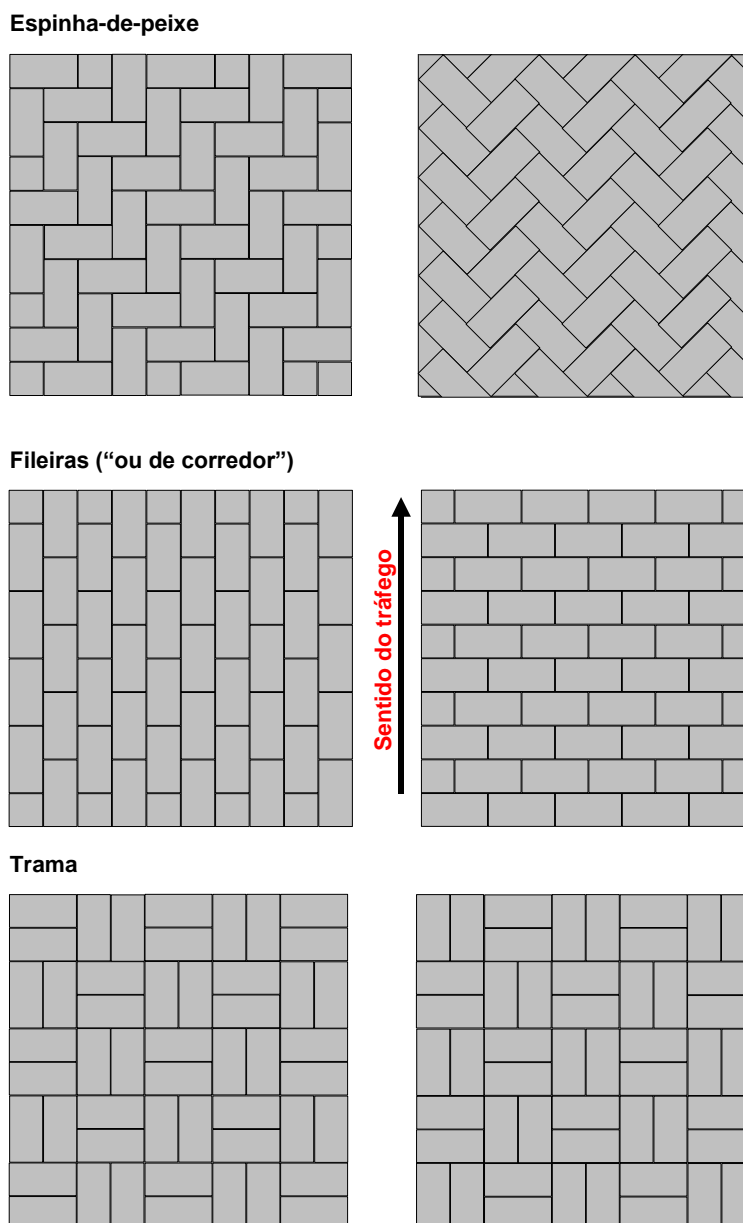


Figura 2.7 - Principais tipos de assentamento das PPC (HALLACK, 1998)

SHACKEL (1990) relata que os pavimentos com arranjo do tipo “espinha-de-peixe” possuem melhores níveis de desempenho, apresentando menores valores de deformação permanente associados ao tráfego, enquanto observaram-se maiores deformações permanentes em pavimentos com modelos de assentamento do tipo “fileira”, principalmente quando o assentamento for paralelo ao sentido do tráfego. Na Figura 2.8 está ilustrado o efeito do tipo de assentamento no desempenho dos PI, obtido na pesquisa relatada na referência citada.

O Boletim Técnico da ICPI nº 4 (ICPI, 2002) recomenda a utilização do arranjo do tipo “espinha-de-peixe” em áreas de tráfego veicular.

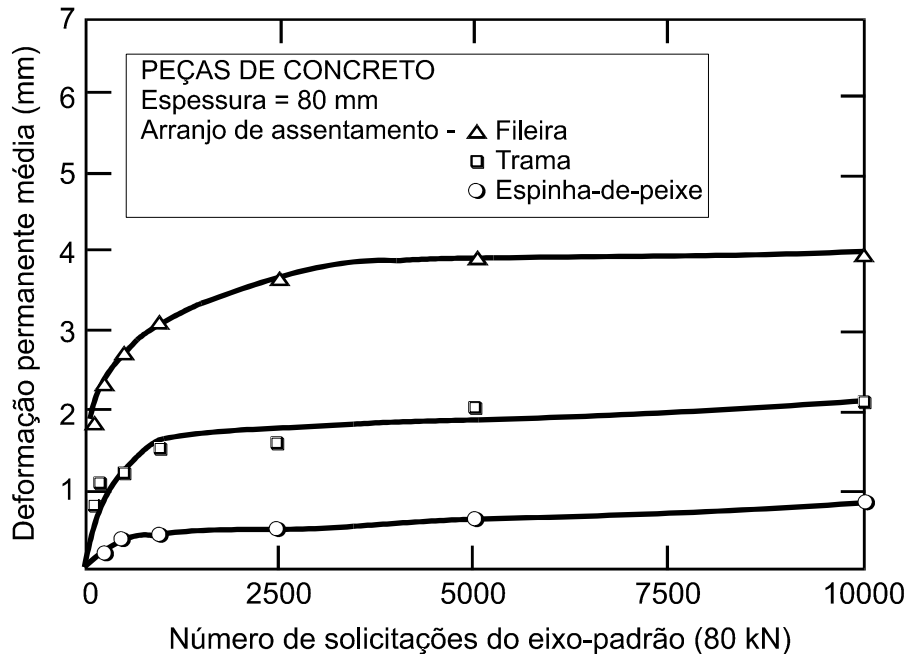


Figura 2.8 - Efeito do arranjo de assentamento das peças de concreto no desempenho do pavimento sob solicitação do tráfego. (SHACKEL, 1990).

### Formato

Alguns ensaios demonstraram que as peças pré-moldadas de concreto de lados segmentados se comportam melhor do que aquelas de lados retos ou suavemente curvados, proporcionando menores deformações permanentes na trilha de roda (“rutting”) e deformações horizontais (ondulações) muito menores. (SHACKEL, 1979)

Não existe consenso entre os pesquisadores sobre qual o melhor formato da PPC. SHACKEL (1990) aponta que as peças segmentadas proporcionam melhor distribuição dos esforços devido a um melhor intertravamento proporcionado pelo desenho da peça. De outro lado, KNAPTON & COOK (1992) e ABCP (1999b) afirmam que o formato das PPC não exerce uma significativa influência no desempenho e no mecanismo

funcional dos pavimentos. Portanto pode-se concluir que o único requisito recomendado com relação ao formato das peças é que ele seja capaz de permitir o assentamento em combinação bidirecional. As Figuras 2.9 e 2.10 apresentam formatos típicos de PPC.

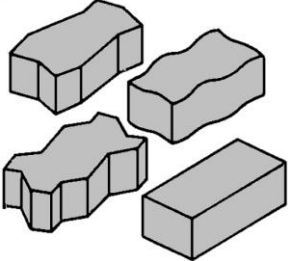
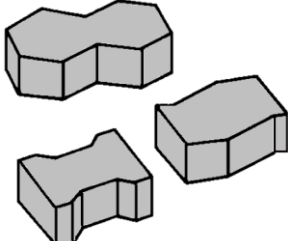
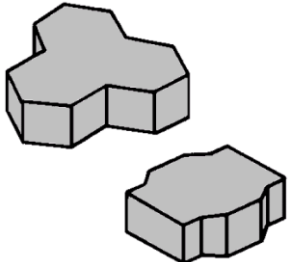
	<p>A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.</p>
	<p>B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “I”.</p>
	<p>C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

Figura 2.9 - Formatos típicos das PPC mais usuais (HALLACK, 1998)

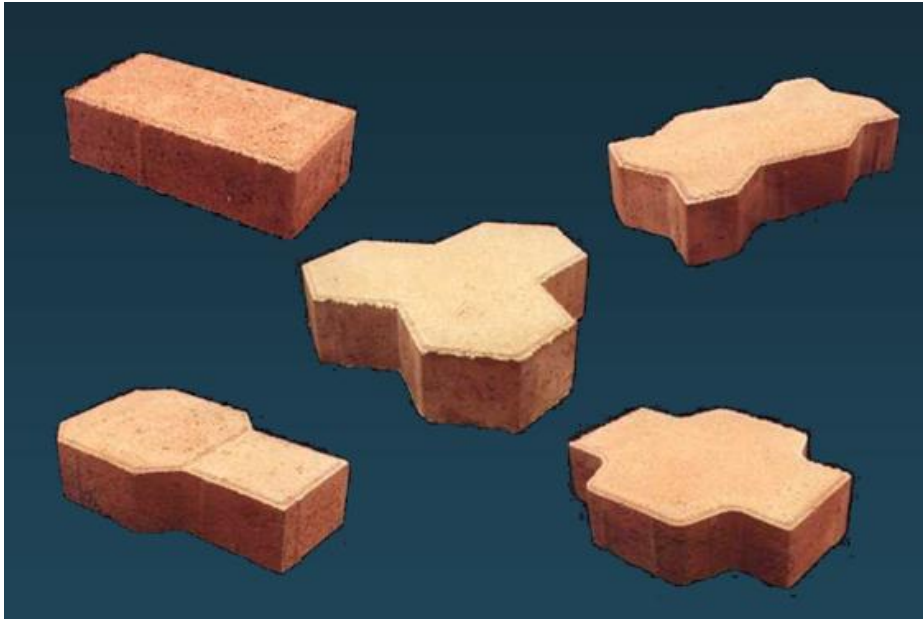


Figura 2.10 - Formatos típicos de PPC (ABCP, 2004)

### **Espessura**

KNAPTON (1976) com base em ensaios estáticos de carga preconiza que a espessura das peças de concreto têm pouca ou nenhuma influência no comportamento estrutural dos pavimentos.

Por outro lado, SHACKEL (1979, 1990) mostra que um aumento na espessura das peças, dentro de um intervalo de 60 mm a 100 mm, é benéfico ao desempenho do pavimento.

SHACKEL (1979) mostra que ensaios efetuados com o Simulador de Veículos Pesados, na África do Sul, indicavam que as deformações permanentes no pavimento eram consideravelmente menores com peças pré-moldadas de concreto de 80 mm que com peças de 60 mm, num mesmo nível de solicitação. Com peças pré-moldadas de concreto de 100 mm, o benefício adicional não era tão acentuado. No entanto, em SHACKEL (1990) percebe-se algumas alterações quanto às diferenças de desempenho entre as três espessuras analisadas, conforme mostra a Figura 2.11.

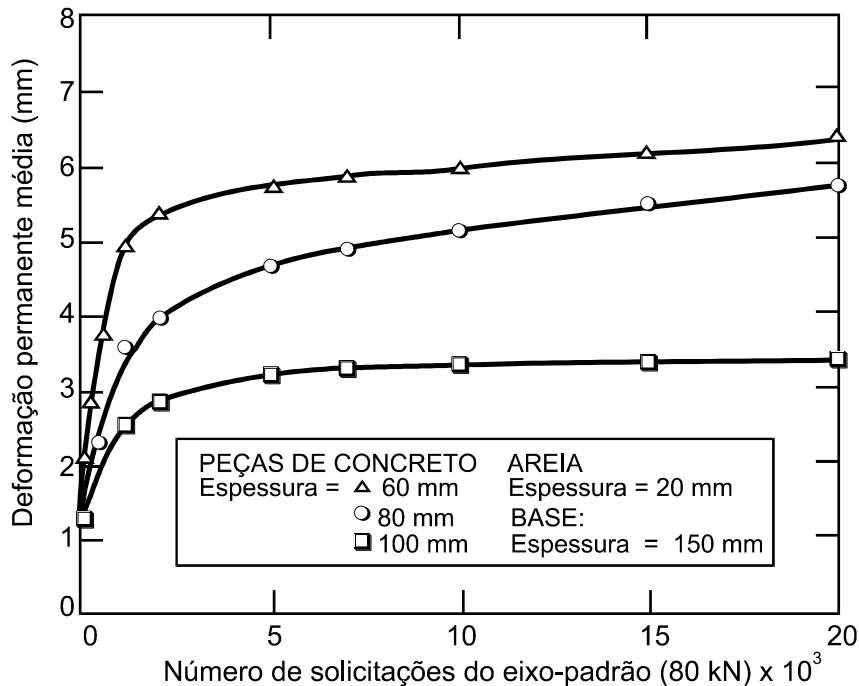


Figura 2.11 - Efeito da espessura das peças de concreto no desempenho do pavimento sob solicitação do tráfego (SHACKEL, 1990).

### 2.3 Procedimentos de Construção dos PI

SHACKEL (1990) fornece detalhadamente os procedimentos de construção e de manutenção dos pavimentos de peças pré-moldadas, bem como as especificações para cada material utilizado. A construção dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto se dá de acordo com o mostrado na Figura 2.12.

As peças de concreto são assentadas, manual ou mecanicamente, sobre a camada de areia e compactadas; em seguida espalha-se a areia para o preenchimento das juntas e compacta-se as peças novamente até que as juntas estejam totalmente preenchidas com areia. Dessa forma, o intertravamento das peças, estado desejável para o bom desempenho do pavimento, é obtido (HALLACK, 1998).

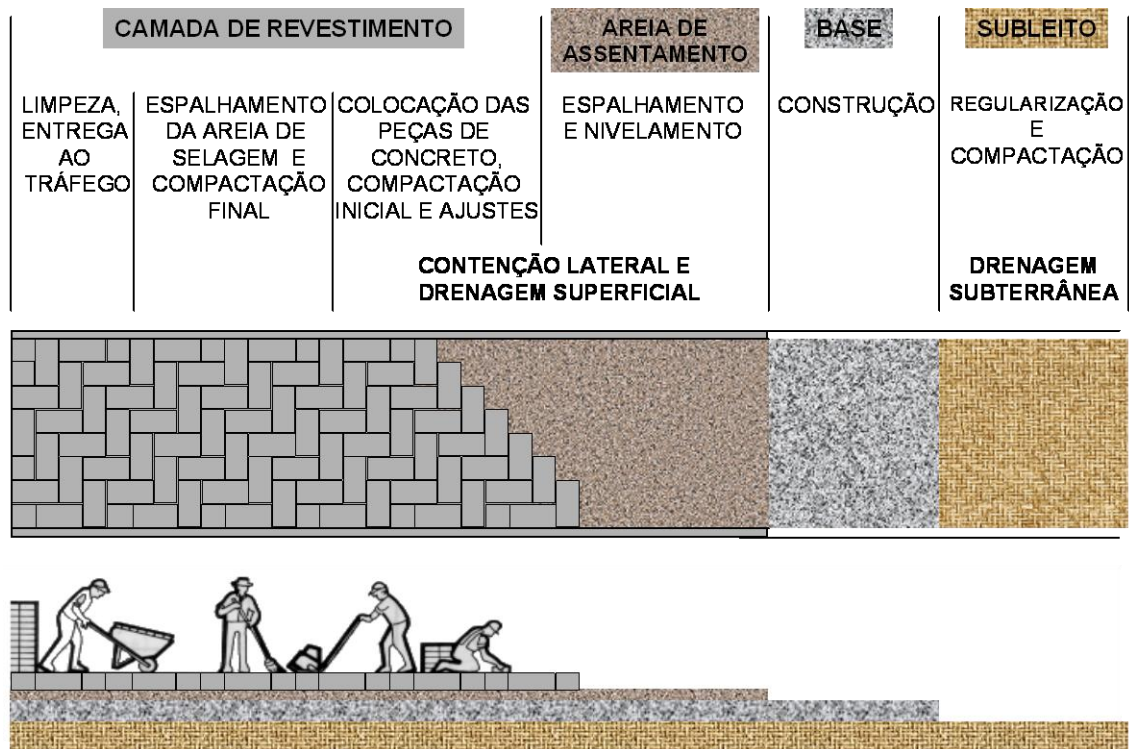


Figura 2.12 - Procedimento de construção. (MADRID & LONDOÑO, 1986).

#### 2.4 Característica do Intertravamento Produzido pelas Peças do PI

As peças pré-moldadas de concreto, em um pavimento intertravado, comportam-se como uma camada flexível e única devido à propriedade de intertravamento. HALLACK (2000) define o intertravamento das PPC como sendo a capacidade que as PPC possuem de adquirir resistência aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças vizinhas. SHACKEL (1991), KNAPTON (1996), HALLACK (2000) e BURACK (2002) descrevem que no pavimento intertravado existem três tipos de intertravamento que atuam simultaneamente em serviço detalhados a seguir.

## Intertravamento Horizontal

KNAPTON (1996) descreve o intertravamento horizontal como sendo a incapacidade de uma peça se deslocar horizontalmente em relação às peças vizinhas em qualquer tipo de arranjo de assentamento.

O intertravamento horizontal, mostrado na Figura 2.13, está relacionado diretamente com o formato e arranjo de assentamento das PPC sobre a camada de areia. Neste sentido contribui na distribuição dos esforços de cisalhamento horizontal sob a atuação do tráfego, principalmente em áreas de aceleração e frenagem. As juntas entre as peças, quando convenientemente cheias com tipo adequado de areia e bem compactada, são, na verdade, as responsáveis pelo nível deste tipo de intertravamento.

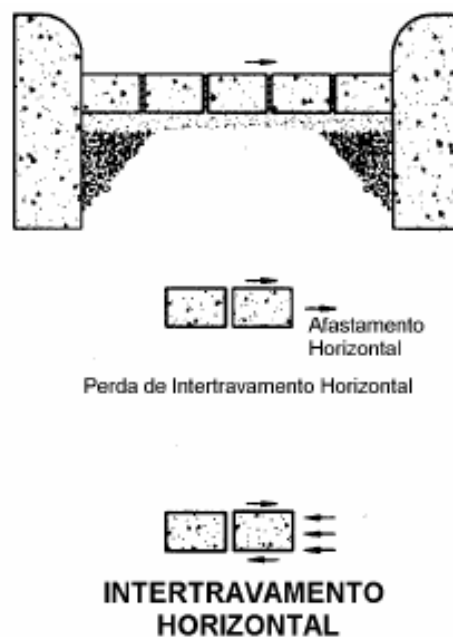


Figura 2.13 - Intertravamento horizontal (ICPI nº 4, 2002).

## Intertravamento Vertical

KNAPTON (1996) descreve o intertravamento vertical como sendo a incapacidade de cada peça se mover no sentido vertical em relação às peças

vizinhas. É conseguido através dos esforços de cisalhamento absorvidos pelo rejuntamento de areia entre as peças e a capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento.

Pode ser obtido utilizando PPC especiais com formatos e encaixes reentrantes uma a uma. Assim, quando é aplicada uma carga vertical sobre as PPC existe um contato do tipo macho-fêmea distribuindo os esforços para as peças vizinhas. Outro tipo de intertravamento vertical independe do formato das peças. Este é alcançado através da malha de juntas formada pelos grãos de areia bem compactados lateralmente e a estabilidade estrutural do colchão de areia compactado e confinado.

Segundo HALLACK (1998) ao aplicar uma carga vertical sobre uma peça pré-moldada de concreto sem travamento vertical, esta vai tender a afundar em relação às peças adjacentes, produzindo, com isto, tensões excessivas nas camadas inferiores, Figura 2.14a. Consegue-se o travamento vertical, Figura 2.14b, com a vibração final das peças pré-moldadas de concreto. A areia de assentamento ao comprimir-se tende a escapar pelas juntas entre as peças, subindo em média 25 mm medidos da base de assentamento das peças, Figura 2.14c, esta areia penetra por todo o perímetro inferior com certa pressão, produzindo o mencionado travamento vertical, e tende a uniformizar a espessura das juntas. Dessa forma, a carga vertical sobre a peça pré-moldada de concreto pode ser transferida a suas vizinhas por esforços de cisalhamento.

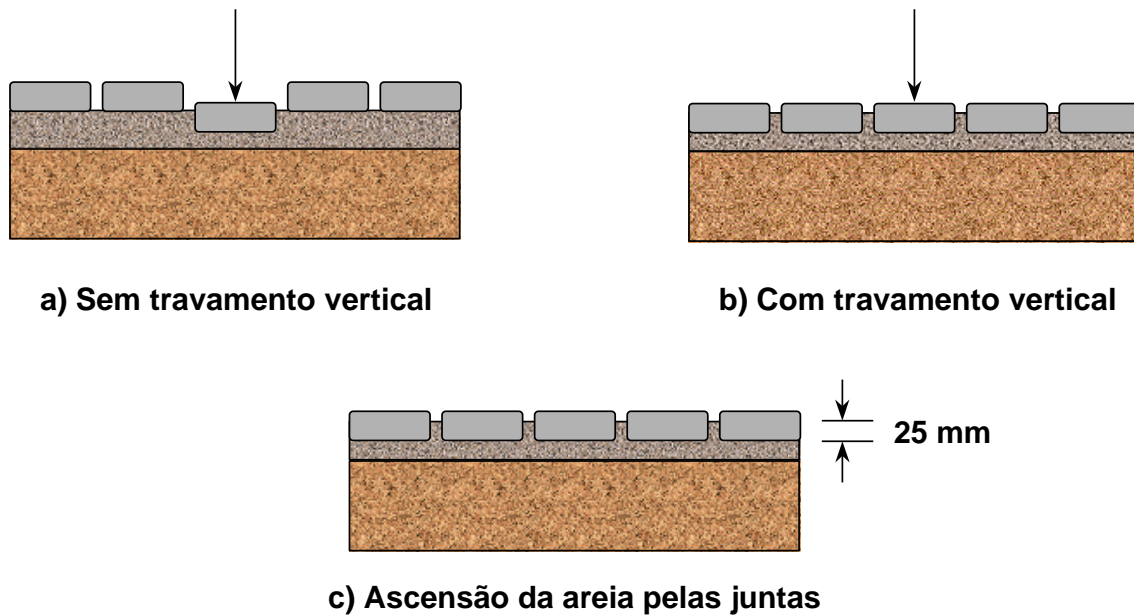


Figura 2.14 - Intertravamento vertical (HALLACK, 1998).

### Intertravamento Rotacional ou Giratório

KNAPTON (1996) descreve o intertravamento como a incapacidade da peça girar em relação ao seu próprio eixo em qualquer direção. É conseguido pela espessura das juntas entre as peças e conseqüente confinamento oferecido pelas peças vizinhas.

Geralmente o fenômeno de giração, mostrado na Figura 2.15, é provocado pelo tipo e freqüência do tráfego, principalmente nas áreas de frenagem, aceleração e tensões radiais dos pneus, curvas, além de regiões de confinamento lateral duvidoso. Assim, sua ocorrência depende principalmente da natureza das juntas entre as PPC, isto é, da sua largura, do tipo de areia utilizada e rejuntamento.

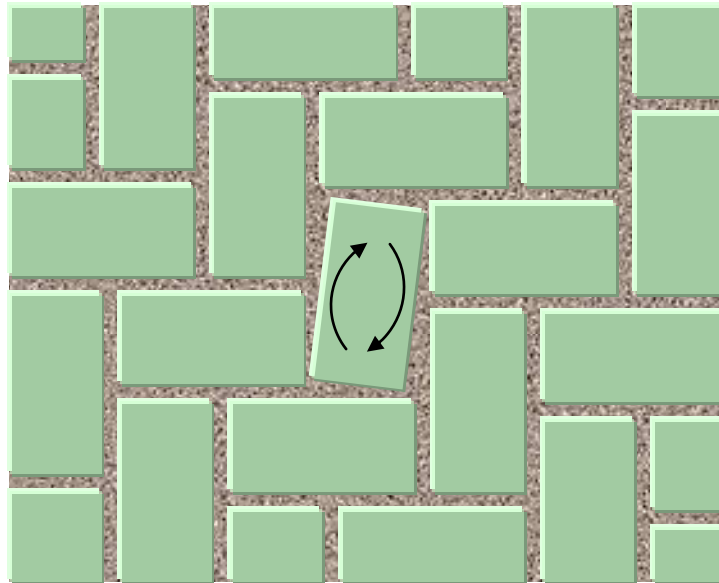
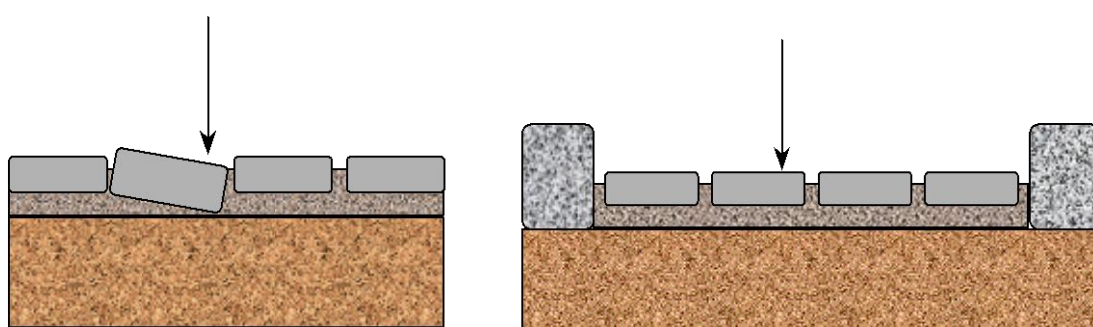


Figura 2.15 - Movimento de rotação das peças pré-moldadas de concreto (HALLACK, 1998).

Segundo HALLACK (1998) uma carga aplicada assimetricamente sobre uma peça tende a rotacioná-la. Para que isso aconteça, é necessário que essa peça desloque suas vizinhas lateralmente, como apresentado na Figura 2.16a. Todavia, se estas são impedidas de se deslocar mediante uma restrição nas bordas, consegue-se um travamento rotacional. A areia de enchimento das juntas permite a transmissão destes esforços horizontais até as bordas.



**a) Sem travamento**

**b) Com travamento**

Figura 2.16 - Intertravamento rotacional (HALLACK, 1998).

## 2.5 Características Funcionais dos Pavimentos Intertravados

O meio técnico conhece as vantagens, as limitações e a simplicidade dos processos de construção e controle dos pavimentos intertravados. Aliadas às qualidades estéticas e à versatilidade do material, estão suas facilidades de estocagem e homogeneidade, além de permitirem o imediato uso do pavimento.

No entanto, no que se refere à sua aplicação em áreas de menor solicitação – magnitude e frequência de cargas, algumas propriedades devem ser ressaltadas:

- Permitem a utilização imediata do pavimento;
- Impedem a transmissão e o aparecimento na superfície do pavimento de eventuais trincas das camadas de base;
- Têm a capacidade de manter a continuidade do pavimento mesmo quando sujeitos a acomodações do subleito;
- Permitem fácil reparação quando ocorre assentamento do subleito que comprometa a capacidade estrutural do pavimento;
- Há facilidade de acesso às instalações de serviços subterrâneas e posterior reparo, sem marcas visíveis;
- Permitem a reutilização das peças de concreto;
- São de fácil execução;
- As peças de concreto são de alta qualidade, o que lhes confere durabilidade e resistência à abrasão, indispensáveis aos pavimentos industriais e portuários;
- Resistem ao ataque de óleos e ao derramamento de combustíveis;
- Requerem pouca ou nenhuma manutenção;
- Não é necessária a utilização de mão-de-obra especializada e nem de equipamentos especiais, o que permite criar várias frentes de trabalho e economia de tempo de construção;

- Os materiais utilizados na construção chegam à obra já prontos para aplicação, não sendo necessário o emprego de processos térmicos ou químicos;
- Podem ter simultaneamente capacidade estrutural e valor paisagístico;
- Facilitam a incorporação de sinalização horizontal pela utilização de peças coloridas;
- O controle de qualidade dos materiais empregados (peças de concreto, areias etc.) pode ser feito em seus próprios centros de produção.

BEATY & RAYMOND (1995) atribuem os defeitos nestes pavimentos a fontes potenciais que se relacionam a:

- Arranjo geométrico inadequado para o assentamento das peças de concreto;
- Uso de areia imprópria para a camada de assentamento;
- Largura incorreta das juntas entre as peças, seja pela falta de espaçadores na própria peça, seja por procedimento construtivo inadequado;
- Uso de areia imprópria para o preenchimento das juntas ou procedimento inadequado de preenchimento;
- Contenção lateral ineficaz das peças, permitindo movimentos laterais e perda de intertravamento entre elas;
- Utilização de peças com formatos e tamanhos diferentes;
- Drenagem deficiente e
- Existência de zonas de transição.

MADRID (1985) acrescenta como limitações:

- Não se deve usar estes pavimentos como canais coletores de águas que possam gerar correntes volumosas e rápidas ou submetidos à jatos de água sob pressão, sob pena de perda da selagem das juntas;

- Geração de níveis de ruído maiores do que aqueles gerados por outros tipos de pavimentos;
- Provocar maior vibração nos veículos;
- Requerem processo construtivo acurado, ainda que de acordo com parâmetros simples, porém estritos (tolerâncias de nivelamento, largura de juntas, compactação, escolha de areias etc);
- Devem ter estruturas de drenagem e contenção lateral bem projetadas e bem construídas.

DOWSON (1998a) descreve os tipos mais comuns de falhas observados e as atribui a projetos incorretos ou deficiências dos métodos de construção. Ressalta que, na maioria dos casos, as falhas poderiam ter sido evitadas caso houvesse uma melhor compreensão destes procedimentos e obediência às especificações existentes.

De fato, o principal defeito que estes pavimentos podem vir a apresentar refere-se a desníveis entre as peças de concreto, normalmente causado por falhas das camadas subjacentes, seja por deficiência de projeto ou de construção. A solução, no entanto, é simples: retirada da camada de rolamento, reparo das camadas danificadas e recolocação das peças pré-moldadas de concreto.

Tais peças apresentam danos apenas quando de má qualidade; geralmente, são relacionados à quebra das bordas ou desgaste acentuado. Deve-se, portanto, obedecer aos requisitos das Normas NBR-9780 “Peças de Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência à Compressão (Método de ensaio)” e NBR-9781 “Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação”, que estabelecem procedimentos de ensaio (resistência à compressão simples) e especificações capazes de garantir a qualidade do produto acabado. Entretanto, cabe salientar que a durabilidade do pavimento é compatível com sua utilização, portanto promove-se, aqui, a discussão sobre uma maior tolerância quanto a resistências no caso de utilizações em vias de baixo tráfego.

Limita-se ainda a sua utilização, por motivos de conforto e segurança, a vias sujeitas apenas a velocidades baixas e moderadas, até aproximadamente 70 - 80 km/h, conforme MADRID (1985); no Brasil, até 60 km/h tem sido a prática comum.

O emprego de peças pré-moldadas de concreto encontra na pavimentação, um fértil campo de aplicações: de pátios de estacionamento de automóveis até áreas industriais ou portuárias submetidas a cargas elevadas, abrangendo:

- Calçadas, parques, praças e jardins;
- Ruas, avenidas, estacionamentos, paradas de ônibus, faixas demarcatórias e de sinalização, trechos-alerta (antecedendo curvas, cruzamentos, passagens de nível etc.), acostamentos e estradas, com tráfego composto desde veículos leves até um grande número de veículos comerciais;
- Pavimentos sob os quais se instalarão ou haverá necessidade de obras de manutenção de redes de água, esgoto, telefone etc.

Ou ainda:

- Áreas de cargas (pátios, depósitos, galpões industriais, oficinas e plataformas);
- Áreas de exposições e feiras;
- Pisos rurais (currais, bebedouros etc.);
- Pavimentos cujos subleitos não ofereçam boas condições de suporte ou estejam sujeitos a recalques acentuados;
- Terminais de cargas ou de contêineres;
- Pátios e vias de aeroportos.

SHACKEL (1990) faz uma análise aprofundada das vantagens e desvantagens que os pavimentos intertravados apresentam em relação aos outros tipos de

pavimentos, mormente com relação aos pavimentos com revestimento de material asfáltico.

Em SHACKEL & CANDY (1988) e SHACKEL (1990) encontram-se resultados de estudos sobre outras características dos pavimentos intertravados que não influenciam em seu comportamento estrutural (e, portanto não consideradas nesta dissertação). No entanto, expõem-se a seguir as principais conclusões:

- **Coloração:** as peças de concreto oferecem visibilidade superior à das superfícies betuminosas, tanto à luz do dia quanto à luz artificial, independentemente de sua coloração.
- **Conforto de rolamento:** com base em medidas objetivas, ou seja, com a utilização de equipamentos específicos os pavimentos intertravados apresentam padrões mais baixos de conforto do que os pavimentos asfálticos. Suas condições de conforto de rolamento, no entanto, tendem a melhorar sob a ação do tráfego. A velocidades menores do que 70 km/h, pesquisas com usuários indicaram que o pavimento intertravado são tidos como proporcionadores de conforto de rolamento equivalente aos pavimentos com outros tipos de revestimentos.
- **Resistência à derrapagem:** ainda que diversos fatores influenciem na sua avaliação, os pavimentos intertravados têm mostrado serem capazes de manterem níveis satisfatórios de resistência à derrapagem durante sua utilização. A resistência à derrapagem tende a ser equivalente àquela associada aos pavimentos de concreto e equivalente, ou melhor, àquela associada aos pavimentos asfálticos.
- **Geração de ruído:** para velocidades acima de 60 km/h a geração de ruídos associada às peças de concreto é superior a dos demais tipos de revestimento, ao passo que para velocidades menores do que aquela, há uma similaridade ou vantagem (menor geração de ruídos) das peças de concreto principalmente em superfícies secas.
- **Infiltração de água:** há um senso comum de que os pavimentos intertravados tornam-se “impermeáveis” ao longo de sua utilização

devido à “selagem” das juntas pela deposição de detritos, borracha e óleo. O problema maior verifica-se nos primeiros períodos após a construção. Dessa forma, recomendam-se cuidados redobrados na selagem das juntas com areia adequada, o confinamento da areia de assentamento, a utilização de peças chanfradas na face superior de modo a diminuir o efeito de sucção dos selantes das juntas pela passagem dos pneus, a construção de dispositivos de drenagem e prover ao pavimento caimento superior a 2 %.

### **3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO**

#### **3.1 Antecedentes**

BALADO (1965) deu início, na década de 60, aos estudos pioneiros visando conhecer melhor as características e o comportamento dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto. Nesse estudo, procurou-se estabelecer um método de dimensionamento com base em uma série de ensaios em seções experimentais, com medição das cargas aplicadas e das deformações observadas. Obteve-se um procedimento de dimensionamento derivado do Método do CBR, que contemplava camadas de base granular e de solo-cimento.

Até meados da década de 70, o projeto de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto assemelhava-se quase que completamente ao de pavimentos flexíveis asfálticos.

LIRA (1984) afirma que “as propriedades mecânicas dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto, tomadas como um conjunto, não haviam sido consideradas inclusive em países que já contavam com normas sobre pavimentos de peças pré-moldadas de concreto, como a Alemanha com sua “Pflasterstein aus Beton”, DIN 18.501 de 1964 e a Holanda com sua NEN 7000 de 1966. Ambas enfatizaram somente as propriedades físicas das peças pré-moldadas de concreto, sem justificar com antecedentes tecnológicos, os métodos de projeto propostos.”

Na Inglaterra, KNAPTON (1976) passou a pesquisar as propriedades mecânicas adicionais destes pavimentos para estabelecer algum método de dimensionamento e, eventualmente, torná-los mais competitivos com as soluções tradicionais. Knapton construiu seções de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto dentro de laboratórios e os submeteu a cargas verticais, aplicadas através de dispositivos circulares com área similar às áreas de

contato de pneus de veículos comerciais. Para isto projetou um aparato experimental, mostrado na Figura 3.1, que simula um pavimento submetido à carga vertical.

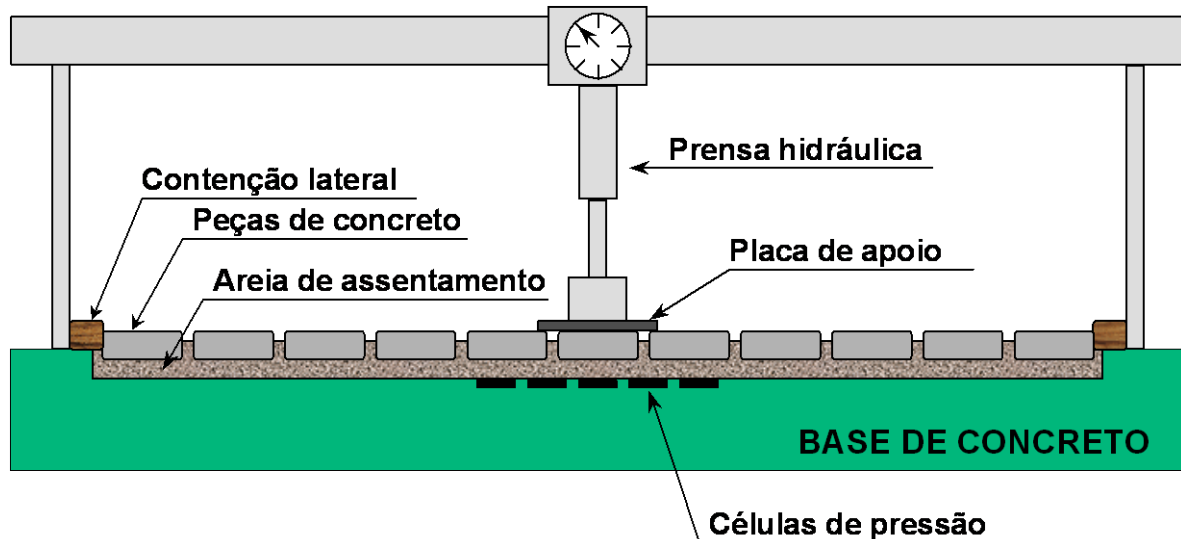


Figura 3.1 - Aparato de Knapton (KNAPTON, 1976).

As peças pré-moldadas de concreto foram assentadas sobre uma camada de areia, que, por sua vez, apoiava-se sobre uma base de concreto. Uma bateria de células de pressão foi montada na interface entre a camada de areia de assentamento das peças e a placa de concreto sobre a qual o pavimento foi construído, permitindo-se a medição da pressão e de sua distribuição, comparando-as com aquela aplicada na superfície do pavimento. Sobre as peças pré-moldadas de concreto aplicou-se o carregamento através de uma placa circular com diâmetro igual a 250 mm. Aplicaram-se cargas de até 25 kN (pressões até 510 kN/m<sup>2</sup>), e registraram-se as pressões nas células correspondentes à carga aplicada.

Esta experiência, realizada com vários formatos e arranjos de peças pré-moldadas de concreto, demonstrou que as pressões nas células aumentavam em menor proporção percentual do que aquelas aplicadas na superfície.

Da comparação destes resultados com ensaios análogos em pavimentos asfálticos, concluiu-se que a propriedade de dissipação de cargas de uma camada combinada de peças de concreto mais areia de assentamento era equivalente a uma camada de 160 mm de material betuminoso, em outras palavras, esses testes mostraram que as peças de concreto com espessuras no intervalo de 65-80 mm assentadas sobre uma camada de areia com espessura igual a 50 mm após a compactação, possuíam capacidade de distribuição de carga similar a uma camada de 160 mm de material betuminoso(\*), o que permitiu estabelecer um método de dimensionamento de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto similar ao de pavimentos flexíveis.

Testes similares feitos por CLARK (1981) sobre camada de base de material granular - ao invés de placas de concreto - levaram a conclusões semelhantes.

KNAPTON (1976) recomendava que a camada de sub-base deveria ser dimensionada de acordo com a Road Note 29 (INGLATERRA, 1970), e a base e o revestimento substituídos por peças de concreto assentadas sobre uma camada de areia com 50 mm de espessura. Todavia, ainda persistia a dúvida se estes métodos de dimensionamento refletiam o comportamento real destes pavimentos sob tráfego. Questionava-se se todo o potencial dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto havia sido explorado. Algumas críticas surgiram principalmente devido ao fato dos pavimentos-teste terem sido construídos sobre uma placa de concreto e submetidos à uma carga estática não repetitiva.

Tornaram-se urgentes, portanto, os testes em verdadeira grandeza, com seções transversais típicas adotadas na aplicação destes pavimentos e com cargas dinâmicas.

---

(\*) Atualmente, conforme registram KNAPTON & COOK (1992), a equivalência adotada entre a camada de peças de concreto mais areia e material asfáltico é de um para um, ou seja, uma camada de peças de concreto com 80 mm de espessura assentadas sobre uma camada de areia com 40 mm de espessura têm a mesma capacidade de distribuição de cargas do que uma camada asfáltica com 120 mm de espessura.

Assim, já em 1977, a Concrete Masonry Association e a Australian Concrete Association patrocinaram um exaustivo programa de ensaios de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto em escala real submetidos a cargas móveis, dirigido por Shackel, que posteriormente foi ratificado no National Institute of Transport and Road Research de Pretória, África do Sul, empregando um Simulador de Veículos Pesados.

Aquela primeira pesquisa, na Austrália, demonstrou que (MORRISH, 1979):

- a espessura da camada de areia de assentamento deveria ser reduzida a uma espessura mínima construtiva, passando os pavimentos a serem constituídos por camadas compactadas de 30 mm de areia ao invés de 50 mm recomendados anteriormente por Knapton;
- as peças de concreto com 100 mm de espessura proporcionavam pouco benefício adicional em relação às de 80 mm na maior parte das situações. Por outro lado, as peças de concreto com 80 mm proporcionavam aos pavimentos desempenhos bastante superiores àqueles que continham peças com espessura igual a 60 mm.

A pesquisa na África do Sul iniciou-se em 1979 e tinha como objetivo estudar o desempenho dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto, utilizando seções-teste de pavimentos em verdadeira grandeza e com ensaios acelerados de tráfego, usando o Simulador de Veículos Pesados. Os principais fatores analisados foram: o formato, a espessura, a resistência das peças de concreto e seus arranjos de assentamento.

Com referência a essa pesquisa, SHACKEL (1979) mostra, dentre outras conclusões, que o desempenho dos pavimentos de peças pré-moldadas de concreto sob tráfego depende intimamente do formato das peças e que o formato influencia fortemente o processo de desenvolvimento do intertravamento. Afirma ainda que muitas das conclusões obtidas confirmaram aquelas obtidas no estudo anterior feito na Austrália.

Foram ensaiadas mais de 100 seções-teste de pavimentos em verdadeira grandeza (SHACKEL, 1990), com peças pré-moldadas de concreto de 60 mm, 80 mm e 100 mm de espessura, de diversos formatos e arranjos de assentamento, submetidas a mais de 40.000 passagens do Simulador de Veículos Pesados (SHACKEL, 1979).

As conclusões destes ensaios e investigações têm sido convincentes, e é assim que outros países que utilizam este tipo de pavimento de forma mais intensa vêm acolhendo paulatinamente estas recomendações e incorporando-as às suas próprias especificações.

Esta realidade permite acolher algumas destas conclusões e apresentá-las como base para um método de projeto de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto em nosso país, buscando selecionar aquelas recomendações relativas a obter um bom comportamento destes pavimentos, mantendo outros conceitos consagrados no meio técnico local.

### **3.2 O Estado-da-Arte dos Métodos de Dimensionamento dos Pavimentos Intertravados**

Com base nos estudos de LILLEY (1991) e SHACKEL (1984), os vários procedimentos existentes podem ser divididos em quatro categorias:

- baseados na experiência de campo;
- utilizando-se experiência de campo e ensaios de laboratório;
- fundamentados na equivalência de materiais;
- baseados em modelos numéricos.

### 3.2.1 Dimensionamentos baseados na experiência de campo

Neste caso, as espessuras das peças e da camada de base são escolhidas em função da experiência adquirida na construção de outras vias sobre subleitos similares àquele em questão.

Em locais onde a experiência acumulada é grande, como na Europa, este método proporciona resultados satisfatórios. Os dimensionamentos são apresentados em catálogos que resumem o conhecimento local.

O mais abrangente exemplo de catálogo de dimensionamento certamente é aquele desenvolvido pelo National Institute for Transport and Road Research da África do Sul (ÁFRICA DO SUL, 1987), em que a experiência local foi amparada por testes acelerados de tráfego e análises mecânicas.

Este é um método seguro de dimensionamento caso exista um pavimento idêntico, em todas as suas características, a outro que vá ser construído. Porém, a simples existência de um pavimento que seja “fisicamente” igual não é o suficiente: é necessário que ele seja antigo o bastante para que fique assegurado e seja constatado seu desempenho satisfatório a longo prazo. A dificuldade reside justamente no fato de se encontrar pavimentos tão parecidos e que tenham registros confiáveis de construção e manutenção.

Tal método tende a ser conservador. Ainda que proporcione projetos mais baratos, nem sempre proporciona o pavimento mais econômico. Além disso, sua adoção pode constituir-se num obstáculo para o desenvolvimento e introdução de novos materiais e métodos construtivos, além de não possibilitar a sua adoção para tráfegos mais pesados do que aqueles constatados na experiência anterior, tanto quanto às cargas quanto aos volumes de tráfego.

Esta forma de dimensionamento encontra seus méritos em pavimentações secundárias, em que os custos de projeto excedem as economias potenciais

que poderiam ser obtidas pela elaboração de uma sondagem apurada do subleito ou de um dimensionamento racional.

Nos Países Baixos, durante anos, o dimensionamento dos pavimentos de vias revestidas com paralelepípedos ou peças de concreto baseava-se quase que totalmente neste método e era considerado satisfatório. No entanto, tais países têm um subleito uniforme, e por muito tempo nem as cargas e nem o número de veículos solicitantes tiveram uma alteração significativa. Assim foi até a construção de grandes portos, que requeriam pavimentos que pudessem suportar cargas elevadas provenientes de transportadores de contêineres, criando-se a necessidade de pesquisas e estudos para o desenvolvimento de métodos de dimensionamento mais sofisticados, como os de HENDRIKX *et al.* (1996) e HUURMAN (1996a, 1996b, 1996c)

### **3.2.2 Dimensionamentos utilizando-se experiência de campo e ensaios de laboratório**

Estes métodos consideram que os pavimentos de peças pré-moldadas de concreto podem ser dimensionados por métodos consagrados para pavimentos flexíveis e que as peças podem substituir parte da espessura encontrada.

As peças têm sido consideradas como equivalentes a 2,1 a 2,9 vezes a espessura de material granular britado e 1,1 a 1,5 vezes mais eficientes do que o concreto asfáltico, conforme SHACKEL (1984).

Uma variedade de ábacos de dimensionamento de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto foram publicados usando-se estes conceitos. Eles incluem adaptações de métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do USACE - United States Army Corps of Engineers (ROLLINGS, 1984), da Road Note 29 da Inglaterra (KNAPTON, 1976) e do método da AASHTO (RADA *et al.*, 1990). A própria Road Note 29, publicada na Inglaterra em 1970, é um dos mais conhecidos frutos deste tipo de método de dimensionamento.

LILLEY (1991) afirma que este tem sido o método básico de dimensionamento de rodovias públicas no Reino Unido durante anos, apoiado por trechos experimentais construídos e monitorados pelo Transport and Road Research Laboratory (TRRL) e pela experiência prática de engenheiros de pavimentação de órgãos rodoviários locais. Os trechos experimentais construídos tiveram seus estágios de projeto, especificação e construção cuidadosamente registrados, bem como seu desempenho a longo prazo.

Outra maneira utilizada para elaboração de métodos de dimensionamento desta categoria é a construção de pistas experimentais submetidas a testes acelerados de tráfego. A mais conhecida delas é a pista da American Association of Highway Officials (AASHO).

Nessa linha, vários testes foram feitos na África do Sul e na Austrália utilizando-se simuladores de tráfego para aumentar o conhecimento sobre o desempenho dos pavimentos com peças pré-moldadas de concreto.

Tais equipamentos submetem uma seção de pavimento a um tráfego intenso, com carga controlada, mais rapidamente do que o tráfego normal de um trecho o faria, além de proporcionar uma trilha de roda bem definida, enquanto várias propriedades da estrutura dos pavimentos vão sendo medidas.

Nas pesquisas de ambos os países, o uso do simulador de tráfego mostrou que a camada de peças de concreto tem de fato a capacidade de distribuir cargas e que a qualidade dessa distribuição é função do arranjo das peças (SHACKEL, 1981,1984).

### **3.2.3 Dimensionamentos fundamentados na equivalência de materiais**

Tendem a seguir os métodos desenvolvidos para pavimentos asfálticos. Isto significa que as vantagens de desempenho dos pavimentos de peças pré-

moldadas de concreto não são totalmente exploradas. Normalmente, a análise refere-se ao cálculo da tensão de tração na camada de base estabilizada e assim definindo a vida de fadiga ou determinando a tensão vertical de compressão no subleito e usando-a para prever a deformação de trilha de roda que ocorrerá sob a ação do tráfego.

A escolha das espessuras das várias camadas do pavimento deve atender tanto a um modelo de fadiga adequado quanto à deformações de trilha de roda toleráveis.

Estes métodos de dimensionamento têm sido usados de forma a permitir que o conhecimento obtido em experiências anteriores ou em pesquisas levadas a cabo em verdadeira grandeza possa ser aplicado para materiais de pavimentação com os quais há pouca ou nenhuma experiência.

A confiança depende da acurácia na determinação da equivalência estrutural desse novo material em relação a outros já consagrados, normalmente feita através de testes de laboratório, podendo-se estimar os benefícios ou desvantagens de sua aplicação, ao longo do tempo.

Uma vez estabelecida esta correspondência, tornou-se possível, por exemplo, a utilização da Road Note 29 (INGLATERRA, 1970) para o dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto.

Este tipo de critério de dimensionamento foi utilizado quando da “introdução” dos pavimentos com peças pré-moldadas de concreto no Reino Unido, fundamentado nos estudos de KNAPTON (1976) e de CLARK (1981), serviu de base para o dimensionamento da maior parte dos pavimentos naquela época.

Os estudos de KNAPTON (1976) e de CLARK (1981) estão sujeitos a críticas a partir do momento em que, em seus testes, não levaram em conta os efeitos dinâmicos das cargas. No entanto, esses estudos permitiram que centenas de

pavimentos “confiáveis” com peças pré-moldadas de concreto fossem dimensionados e construídos em vários países, usando-se guias como os de LILLEY & WALKER (1978), LILLEY & CLARK (1978) ou LILLEY et al. (1992).

Um outro procedimento que utiliza a equivalência de materiais é o manual de dimensionamento publicado pela British Ports Association [(KNAPTON, 1988) e KNAPTON & MELETIOU (1996)]. Esse manual foi preparado para um tipo de aplicação específico: o dimensionamento de pavimentos portuários, onde as cargas por eixo e as cargas por roda podem alcançar valores muito maiores que aqueles permitidos em vias rodoviárias ou urbanas.

Devido ao fato dessas cargas excederem àquelas para as quais existiam experiências anteriores de métodos de dimensionamento, uma combinação de métodos analíticos e baseados na equivalência de materiais foi utilizada para desenvolver os ábacos de dimensionamento, que constituem a maior parte daquela publicação.

#### **3.2.4 Dimensionamentos baseados em modelos numéricos**

Da mesma forma que outros tipos de estruturas, um pavimento pode ser dimensionado lançando-se mão de análises numéricas. No entanto, isso só se tornou possível quando se passou a dispor de computadores de grande capacidade, em vista do grande número de variáveis que tornava trabalhoso seu cálculo “manual”.

Os anais das mais recentes conferências internacionais sobre pavimentos com peças pré-moldadas de concreto têm trazido estudos sobre o uso da análise por elementos finitos, principalmente para a avaliação do comportamento estrutural dos revestimentos (peças pré-moldadas de concreto). Estudos como os de HOUBEN *et al.* (1984,1988) mostram que, apesar do método dos elementos finitos produzir resultados mais próximos das condições de campo, sua complexidade ainda é uma grande limitação.

Apesar de considerada uma ferramenta importante, a confiabilidade na acurácia da modelagem e de sua verossimilitude, para este tipo de pavimento, não é ainda totalmente aceita. Por esta razão, LILLEY (1991) propõe que a utilização destes procedimentos de dimensionamento devam, até o presente, ter caráter restrito e suas conclusões serem aferidas por outro tipo de método.

### **3.3 Desenvolvimento e impasses**

O Autor entende que a resistência da peça, obviamente, tem importância fundamental no comportamento do pavimento como um todo. Entretanto, salienta que os valores de resistência da peça não se constituem em parâmetro numérico para o dimensionamento da estrutura de pavimentação intertravada, conforme se observa no item 3.2.

Ainda, os métodos pré-citados preconizam de maneira clara a necessidade de se firmar uma resistência mecânica para as peças em função da solicitação de cargas que, por sua vez, está intimamente correlacionada a questões de durabilidade do revestimento.

Uma vez que a Norma Brasileira não contempla outras resistências além de 35 MPa e 50 MPa, tendo em vista a durabilidade do material que constitui a peça, neste momento, não caberia menção a outros valores. No capítulo 4 discute-se a possibilidade da alteração das especificações da Norma vigente, de forma que se contemple situações de solicitações leves, muito comuns nas áreas periféricas das cidades e até, como é o caso citado no capítulo 5, e até em locais mais nobres com tráfego essencialmente de veículos de passeio e ambiência rústica.

## **4 ANÁLISE DE NORMAS E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DESTINADO A TRÁFEGO LEVE**

### **4.1 Estágio Atual das Normas Internacionais e Brasileiras**

Os países europeus são os que têm mais tradição na utilização da pavimentação intertravada. Basicamente, as normas existentes em todo o mundo tiveram sua origem nas experiências de países europeus, como: Alemanha, Holanda, Bélgica e França.

Somente a partir da década de 1970, os Estados Unidos e Canadá apareceram no cenário internacional como países “exportadores” de equipamentos de fabricação e experiência tecnológica neste tipo de pavimentação.

Devido ao impressionante crescimento registrado nos últimos anos deste tipo de pavimentação em todo o mundo, percebe-se que na maioria dos países acontece uma grande revisão nos processos normativos, na tentativa de obter o consenso sobre os tipos de ensaios utilizados para verificar o desempenho das PPC. É tendência também estabelecer especificações de qualidade para controles de recebimento e das técnicas construtivas.

A Alemanha é um dos países pioneiros em todo o processo de fabricação e utilização da tecnologia de pavimentação de peças pequenas e segmentadas desde a década de 1940. É dos alemães o mérito do desenvolvimento tecnológico dos primeiros equipamentos do tipo vibroprensa para fabricação das PPC em larga escala, que possibilitou a existência de peças de excelente resistência mecânica e controle dimensional. Tudo isto levou a um crescimento exponencial da utilização das PPC em todo o mundo após a década de 1970 provocando sucessivas revisões das normas internacionais.

Na Bélgica, por exemplo, nos anos de 1970 e 1980 a pavimentação intertravada ganhou grande importância. Sua utilização se deu principalmente

na reurbanização arquitetônica das cidades, com ênfase nas áreas e ruas residenciais, calçadas, praças, etc.. A produção de PPC passou de 742.000 m<sup>2</sup> em 1970 para 4.800.000 m<sup>2</sup> em 1989 (DECRAMER, 1992).

A grande demanda pela pavimentação intertravada também é observada em outros países europeus, na América do Norte, Austrália, Japão e África do Sul. Segundo SHACKEL (1990) as especificações gerais sobre PPC compreendem cinco características consideradas importantes para o respectivo controle, que são:

### **Materiais**

Faz-se necessário a especificação dos tipos de materiais que podem ser utilizados na fabricação e execução dos PI. O tipo de cimento, agregados miúdos e graúdos, aditivos, pigmentos e água normalmente seguem as mesmas especificações relativas ao concreto, sendo usadas as normas nacionais de cada país. Em alguns casos é especificada, por exemplo, a faixa granulométrica do agregado graúdo para a fabricação das PPC.

O objetivo principal de estabelecer padrões de qualidade para materiais utilizados é garantir a durabilidade das PPC, nas condições ambientais e de utilização onde o pavimento será construído.

### **Análise Dimensional – Tolerâncias**

A falta de um controle dimensional das PPC influencia o funcionamento do pavimento intertravado. Ela afeta o perfeito alinhamento horizontal das PPC, prejudicando o assentamento e a manutenção (no caso da necessidade de substituir uma PPC após assentada). Não havendo precisão dimensional entre as PPC, as juntas não mais se encontram, o que impede a execução do modelo escolhido para o assentamento. Apenas no modelo de fileiras, é possível variar a espessura das juntas sem atrapalhar o assentamento.

Existe uma forma simplificada de verificar o aspecto dimensional das PPC em uma área já assentada, através da seguinte equação:

$$L = n \cdot B + (n - 1) \cdot \overline{X} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

L: Segmento de reta escolhido sobre uma área qualquer do pavimento intertravado

B: Largura de uma peça aleatória contida no segmento (L)

n: número inteiro que corresponde ao total de peças contidas no segmento (L)

X: Média aritmética do número de juntas contidas em um determinado comprimento de peças assentadas (L)

Caso a Equação 1 não seja satisfeita, existem grandes variações nas dimensões das PPC. Neste caso, não será possível manter o alinhamento de juntas para o modelo de assentamento utilizado.

A outra importância do aspecto dimensional das peças está relacionada com sua espessura, o que afeta o nivelamento final do pavimento após um determinado período de tráfego. De acordo com SHACKEL (1991), a experiência alemã mostra que uma variação considerável na altura das peças provoca uma perda progressiva de nivelamento da superfície do pavimento, conforme ilustra a Figura 4.1.

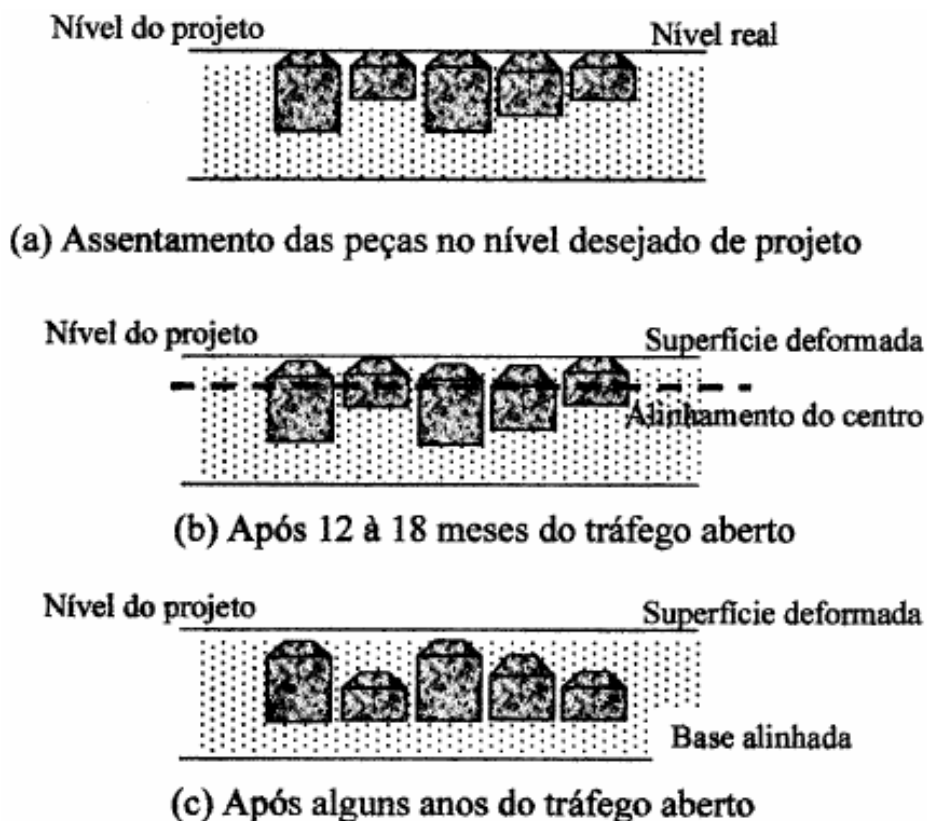


Figura 4.1 - Perda progressiva de nivelamento da superfície do pavimento devido a variações de espessura nas PPC (SHACKEL, 1990).

Na maior parte das especificações existentes, as tolerâncias das variações de comprimento e largura das peças vão de 2,0 a 3,0 mm, enquanto para a espessura são de 2,0 a 5,0 mm.

### Resistência

As PPC devem ter resistência suficiente para garantir seu manuseio durante a sua fabricação e execução do pavimento, além de ter capacidade estrutural suficiente para resistir às ações do tráfego e quaisquer outras formas de utilização. Na maioria das especificações internacionais o controle de resistência das PPC é um dos ensaios mais requeridos. A incidência de problemas registrados nos pavimentos devido a uma resistência baixa das PPC é muito pequena.

Na África do Sul foi realizada uma pesquisa em pistas experimentais onde concluiu-se não haver correlação entre a resistência da PPC e o comportamento estrutural do pavimento. Foram investigadas PPC com resistências à compressão variando entre 25 e 55 MPa (SHACKEL, 1990). Esta experiência sugere que uma alta resistência da PPC não é necessária para garantir uma boa performance do pavimento intertravado.

Apesar disso, a maioria das especificações mundiais estabelece que as PPC devem apresentar resistência à compressão maior que 40,0 MPa ou resistência à flexão maior que 3,5 MPa, independentemente do método de ensaio utilizado.

No que se refere às especificações de resistências mecânicas e a interpretação dos resultados, não existe consenso sobre os métodos de ensaios utilizados, tipos de equipamentos, corpos de prova (peça inteira, cilindros, cubos serrados), condições de umidade da amostra a ser ensaiada (saturada com superfície seca, seca em ambiente natural, seca em estufa), idade de ensaio e número de corpos de prova que deve ter cada amostra.

Entretanto, uma pesquisa realizada em vários países apontou que é norma geral estabelecer um valor mínimo de resistência à compressão para resultado individual dentro de uma faixa de 45,0 MPa a 50,0 MPa independentemente da metodologia de ensaio utilizada (SHACKEL, 1990).

### **Durabilidade**

Basicamente, a durabilidade da PPC está relacionada à resistência à Abrasão e à capacidade de suportar ciclos de gelo e degelo nos países de clima frio. Assim as especificações internacionais de durabilidade são norteadas pelas condições climáticas, incluindo ou não resistência aos ciclos de gelo/degelo.

Existem exceções, como a Inglaterra e a Holanda, onde, apesar de situadas em regiões frias, considera-se que a durabilidade das PPC pode ser controlada pela especificação de resistência à compressão ou flexão e pela relação água/cimento.

SHACKEL (1990) relata que entre as décadas de 1970 e 1980, foram observadas várias patologias de desgaste nos pisos, independentemente do tipo de clima do país, ou mesmo da resistência da PPC. Deste fato, resultou que as revisões das normas internacionais em geral, têm indicado a necessidade de se realizar ensaios de abrasão.

### **Aparência**

Uma das características que mais diferencia os pavimentos intertravados dos de outros tipos de materiais é seu aspecto estético. Apesar deste ser um fato importante, não se observa nas especificações internacionais algum tipo de controle para estas características. Geralmente, a uniformidade, textura e cor da superfície da PPC são especificadas apenas de maneira subjetiva.

Devido à constante revisão das normas internacionais desde a década de 1970 e à falta de consenso com relação aos principais ensaios de controle, a seguir será feita uma descrição resumida do processo de normatização no continente Europeu, na América do Norte e no Japão. Também será apresentada uma comparação das especificações utilizadas nos países que hoje integram a União Européia, nos Estados Unidos e no Canadá e nos países da América do Sul.

Cabe destacar que, no Brasil, o CB18, Comitê Técnico Normativo responsável por criar e atualizar as normas técnicas vigentes no país para cimento, concreto e argamassa, criou um grupo de trabalho para fazer a revisão das normas nacionais de pavimentação intertravada.

#### 4.1.1 Norma Brasileira Atual

Apesar de o mercado Brasileiro ter registrado um grande crescimento na pavimentação intertavadada nos últimos anos, a aplicação deste material tem sido basicamente em áreas de reurbanização e revitalização das cidades. A própria norma brasileira NBR 9781, que foi editada em 1987, estabelece como objetivo principal fixar as condições exigíveis para a aceitação das PPC, destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento ou similares. Não contempla, portanto, outras aplicações como vias destinadas a tráfego leve, por exemplo.

De acordo com a norma NBR 9781, PPC é definida como uma peça pré-moldada de formato geométrico regular, com comprimento máximo de 400 mm, largura mínima de 100 mm e altura mínima de 60 mm.

No capítulo de condições específicas, a resistência característica estimada à compressão é calculada de acordo com a Equação 2 demonstrada a seguir:

$$f_{pk} = f_p - t \cdot s \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$f_{pk}$  = resistência característica à compressão, em MPa;

$f_p$  = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

$s$  = desvio padrão da amostra  $\sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$ , em MPa.

$f$  = resistência individual das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

$n$  = número de peças da amostra;

$t$  = Coeficiente de Student, fornecido por tabela na NBR 9781;

O resumo dos requisitos de aceitação das PPC constantes na NBR 9781 é apresentado na Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Requisitos físicos para produção de PPC no Brasil (NBR 9781/87)

Requisitos Físicos		Limites admissíveis
Tolerância Dimensional (mm)	Comprimento	$\pm 3,0$ mm
	Largura	$\pm 3,0$ mm
	Altura	$\pm 5,0$ mm
Resistência à compressão Axial (MPa)	1	$\geq 35,0$ Veículos comerciais de linha
	2	$\geq 50,0$ Veículos especiais ou cargas que produzem acentuados efeitos de abrasão

CARVALHO (1998) recomenda utilizar, para o colchão de areia, areia com uma fração de silte  $< 5,0$  % e no máximo 10 % de material retido na peneira 4,8 mm. A granulometria recomendada é apresentada na Tabela 4.2

Tabela 4.2 - Granulometria da areia para o colchão de areia para pavimento intertravado (CARVALHO, 1998).

Abertura da peneira (mm)	% que passa em massa
9,5	100
4,8	95 - 100
1,2	50 - 86
0,6	25 - 60
0,3	10 - 30
0,15	0,5 - 15
0,0075	0 - 10

#### **4.1.2 Parâmetros necessários a serem introduzidos na Norma Brasileira**

Como em outros países, a norma brasileira tem aproximadamente 15 anos. Com o expressivo aumento da demanda por este tipo de pavimentação no país, e a experiência prática adquirida durante estes anos, é condição prioritária a revisão dos parâmetros normativos atuais, adequando-os aos parâmetros internacionais. Neste processo, deverão ser levadas em consideração as experiências em outros países, como, por exemplo, a Colômbia, Estados Unidos e Canadá, e o projeto de norma da União Européia (UE).

Na América do Sul, a Colômbia vem se destacando como um bom exemplo de atendimento às exigências atuais dos pavimentos intertravados. A sua nova norma NTC 2 017 – Adoquines de Concreto para Pavimentos contempla vários ensaios relacionados à durabilidade das PPC, como Abrasão e Absorção, além de adotar os critérios de resistência à tração na flexão ao invés de compressão.

Outro importante projeto de norma, que atualmente está em fase final de aprovação, é o da União Européia (UE), que abrange os tópicos de controle de qualidade de produção de PPC e ensaios de escorregamento com pêndulo britânico, além de sugerir rotinas de controle de qualidade, através de ensaios de verificação já durante o processo de fabricação das PPC, objetivando principalmente garantir a homogeneidade das peças produzidas.

Na América do Norte, destaca-se a utilização de procedimentos específicos para recepção das PPC na obra, e a existência do ICPI (INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE), órgão que disponibiliza manuais e folhetos técnicos concisos visando a correta aplicação de PPC. Estes folhetos técnicos passam a ser, na prática, anexos à norma da ASTM nos Estados Unidos e CSA no Canadá.

Aqui no Brasil, o que se observa é que as normas existentes não conseguem cobrir as necessidades do mercado que utiliza as PPC. Um exemplo recente é a adoção pela Prefeitura do Rio de Janeiro de PPC de 40 mm de espessura para praças, ciclovias, calçadas, etc., apesar da norma NBR 9781 especificar 60 mm como espessura mínima de utilização. Segundo CRUZ (2003), existem mais de 600.000 m<sup>2</sup> de PPC aplicadas na cidade do Rio de Janeiro em áreas como calçadas, praças, ciclovias, áreas residenciais e comerciais, com espessura de 40 mm. Pelo menos 20 % das áreas identificadas possuem mais de 8 anos em serviço, apresentando excelente desempenho. O problema neste tipo de produto reside no fato de não existir regulamentação, os parâmetros de qualidade são acordados entre fabricante e consumidor sem nenhum compromisso formal.

Nas revisões futuras da norma brasileira, além da regulamentação de outros limites de espessura, torna-se necessária a inclusão de novas exigências, como, por exemplo, ensaios de abrasão e absorção. Além disto, é essencial a criação de um anexo de recomendação para a execução do pavimento intertravado, limitando espessura do colchão de areia, definindo materiais e espessura de camadas de base, e técnicas de assentamento.

#### **4.1.3 Processo de revisão da normatização européia**

VAN DER VRING (1992) aponta a data de 01 de janeiro de 1993 como o marco histórico da unificação Européia (UE) para a criação de uma área de livre comércio para os produtos fabricados pelos países participantes do bloco de unificação. Assim, foi criado como o órgão máximo de normatização, o Comitê Europeu de Normatização (CEN – “Committee European Standardization”). Desde então, seu objetivo principal vem sendo construir um sistema harmonizado das inúmeras normas e especificações locais, independentes, dos produtos produzidos em cada país, aceito em toda a comunidade participante.

Resumidamente, a Figura 4.2 representa a organização hierárquica do CEN. Nesta estrutura existem centenas de comitês técnicos (TC), responsáveis por cada tipo de assunto.

No caso da pavimentação intertravada, o comitê técnico responsável é o CEN/TC 178, chamado de “Paving Units and Kerbs”. O TC 178 foi formado antes mesmo do processo de unificação da Europa, sendo integrado como comitê da CEN em 1991. É formado por representantes de 14 países: Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Irlanda, Itália, Holanda, Noruega, Espanha, Suécia, Suíça e Inglaterra.

Especificamente, o TC 178 é dividido em três grupos de trabalho (WG) e subdividido em três grupos Técnicos (TG). A normatização das PPC está ligada ao WG1, que gerencia três grupos técnicos (TG) responsáveis por elaborar os anteprojetos das normas em desenvolvimento (TG1), Resistência gelo-degelo (TG2) e Estatísticas (TG3).

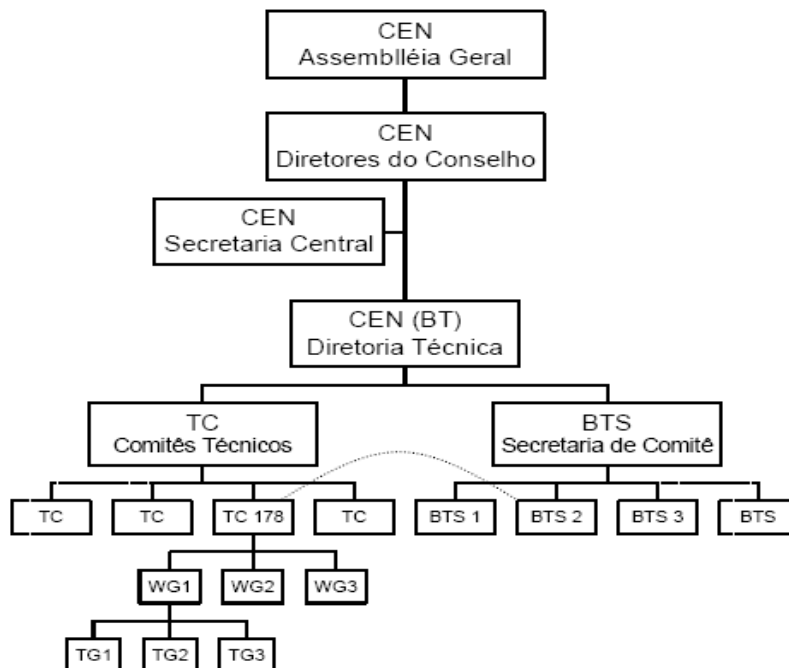
O objetivo principal do WG é promover as reuniões técnicas e harmonizar os pontos de vista das propostas elaboradas pela equipe dos TGs. Caso seja impossível obter o consenso entre os assuntos discutidos, são formulados objetivamente os diferentes pontos de discordância para serem levados ao conhecimento do TC. Neste caso, nova discussão é realizada e, quando necessário, a decisão do tópico discutido se dará através do voto dos participantes.

### **Projeto de Norma EN 1338**

Em 1993 foi elaborado o projeto de norma especificamente para as PPC, identificado como EN 1338 – “Concrete Paving Blocks – Requirements and Test Methods”, a serem utilizadas em áreas como: calçadas, áreas urbanas das cidades, ciclovias, estacionamentos, estradas, rodovias, áreas industriais

como portos e terminais de carga, aeroportos, baías de ônibus e postos de gasolina.

O projeto de norma EN 1338 (1996) diferencia-se das outras normas internacionais principalmente por incorporar um sistema no processo de fabricação das PPC que possibilita ao produtor garantir um sistema adequado de qualidade dos produtos fabricados e despachados para os respectivos clientes, de acordo com as normas específicas dos países produtores e do CEN.



**Legenda:**

*BTS1 = Mecânica*  
*BTS2 = Construção*  
*BTS3 = Saúde, Segurança e Meio Ambiente*  
*TC178 = Peças Pavimentação e Meio-fio*  
*TG1 = Projetos de Norma*  
*TG2 = Resistência Gelo-Degelo*  
*TG3 = Estatísticas*

*WG1 = Peças pequenas de pavimentação feitas com concreto pré-moldadas*  
*WG2 = Produtos de pedra Natural*  
*WG3 = Produtos de Argila*

Figura 4.2 - Estrutura funcional do CEN e as subdivisões do TC 178 (CRUZ, 2003).

A norma consta de três partes interligadas, sendo a primeira parte destinada às definições gerais e requisitos de materiais e produtos fabricados. A segunda

parte trata da avaliação da conformidade dos produtos produzidos e critérios de atendimento aos requisitos especificados. Ela tem ainda oito anexos que descrevem a metodologia dos ensaios.

O ensaio de resistência adotado é o de tração indireta, que é uma adaptação do método do Prof. Lobo Carneiro desenvolvido inicialmente para concreto, utilizando corpos de prova cilíndricos de 150 x 300 mm.

Na Figura 4.3 está esquematicamente representado o ensaio brasileiro de compressão diametral para determinação indireta da resistência à tração (CARNEIRO, 1943). O ensaio consiste na aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, esta gera ao longo do diâmetro solicitado tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro.

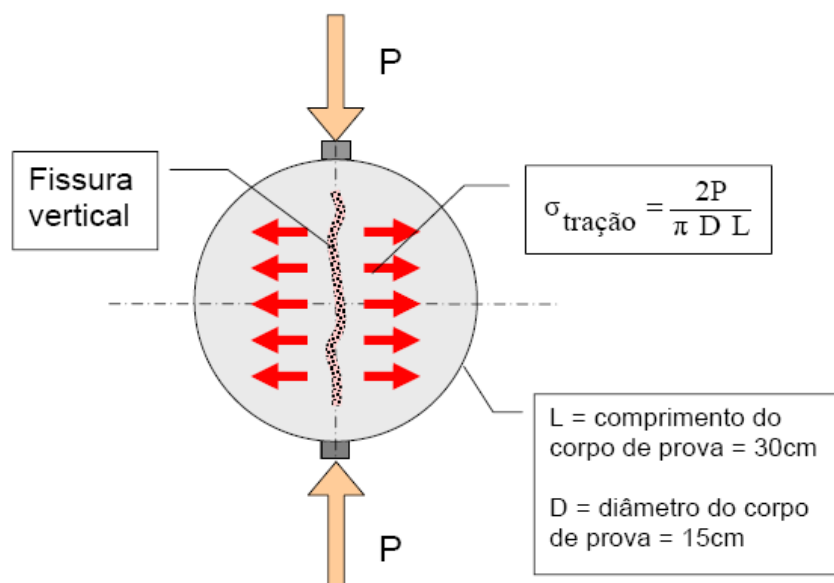


Figura 4.3 - Ensaio de tração indireta (THOMAZ).

No caso das PPC, este ensaio tem uma vantagem quando comparado com o ensaio à compressão, pois não é necessário utilizar nenhum tipo de capeamento, apenas um espaçador de madeira. A Figura 4.4 mostra um esquema do ensaio, e a Figura 4.5 mostra um dispositivo para a realização deste ensaio.

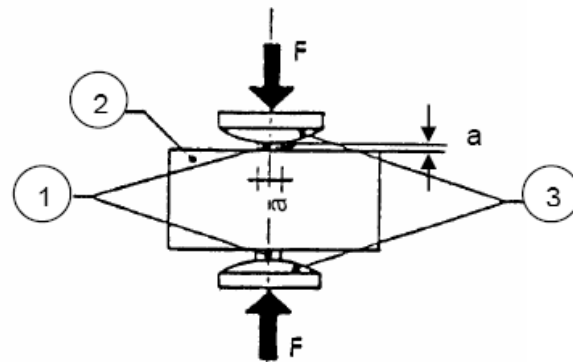


Figura 4.4 - Esquema do ensaio de tração por compressão na própria PPC (EM 1338, 1996).

Onde:

- 1 - Espaçador de madeira (Espessura  $4 \pm 1$  mm; Largura  $15 \pm 1$  mm)
- 2 - PPC
- 3 - Viga de metal semi-esférica (raio  $75 \pm 5$  mm)



Figura 4.5 - Dispositivo de ensaio de tração, utilizado em ensaios de resistência (CRUZ, 2003)

Para a resistência à abrasão são propostos dois tipos de ensaios. O primeiro é especificamente idealizado para paver, conhecido como ensaio de abrasão do

disco de Desgaste Metálico. Este método foi desenvolvido a partir da norma francesa NF P 98-303: Concrete paving blocks, e é o mais utilizado pela comunidade europeia (VALLÈS, 1997 apud CRUZ, 2003). O segundo método é o tradicional ensaio alemão, realizado com o disco de Bohme, seguindo a norma específica DIN-52108: Boehme test. O ensaio de resistência a ciclos de gelo-degelo não será comentado pelo fato do Brasil ser um país de clima tropical.

Os ensaios especificados na BS EN-1338 (2003) que determinam a conformidade dos pavers estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Requisitos do projeto de norma europeia EN 1338(2003).

<b>Tipo de requisito</b>		<b>Limites aceitáveis</b>		
Resistência a ciclos de gelo-degelo		Média de 3 resultados < 1,0 kg/m <sup>2</sup> e nenhum resultado individual > 1,5 kg/m <sup>2</sup>		
Absorção		< 6,0 %		
Resistência à tração por compressão (adaptação do Método Lobo Carneiro)		Nenhum resultado individual < 3,6 MPa e a carga de ruptura < 250 N/mm		
Resistência à abrasão (*disco de Bohme, DIN-52108) (**disco de Desgaste Metálico, NF P 98-303)		≤ 20 cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup> (*) ≤ 23 mm (**)		
Resistência frenagem/escorregamento (Pêndulo Britânico)		> 45		
Aspectos visuais – Textura e cor		Nenhum paver deve apresentar fissuras, quebras ou delaminação (no caso de paver de dupla camada)		
Tolerância dimensional (mm)	Altura da peça	Comprimento	Largura	Altura
	< 100	± 2	± 2	± 3
	> 100	± 3	± 3	± 3

#### **4.1.4 Processo norte-americano de normatização e institucionalização da tecnologia de PPC**

SMITH (1992) relata que em 1980 já era registrado um grande crescimento dos pavimentos intertravados na América do Norte, porém as aplicações se concentravam em áreas residenciais, comerciais e programas de reurbanização de cidades onde somente os requisitos estéticos e arquitetônicos eram especificados. Nos segmentos onde se exigia a comprovação de desempenho estrutural do pavimento não era indicado por não existir experiência anterior de utilização naqueles países. Entre outros tópicos, observou-se que era premente a necessidade de criar normas de dimensionamento e especificações gerais de fabricação e qualidade das PPC. A partir desta constatação, vários órgãos e institutos de pesquisa foram envolvidos na empreitada de especificações como o ACI, NCPA, NRMCA, NAPA, FHWA, FAA, TAC, AASHTO, ASTM e TRB.

Na década de 1990, o Instituto de Pavimentos de Peças Pré-Moldadas de Concreto (ICPI) conseguiu regulamentar métodos de dimensionamento específicos para pavimentos intertravados. Quanto à normatização de fabricação e controle das PPC, revisões foram feitas nas normas americana ASTM C936 (1996) e canadense CSA A231.2-95 (1995).

Nessas normas, as características requeridas são basicamente as mesmas das normas européias, mas não existe consenso na metodologia dos ensaios. Na

**Tabela 4.4** são apresentados os principais requisitos de desempenho e controle de fabricação de PPC prescritos nas normas americana e canadense atualmente em vigor.

Tabela 4.4 - Requisitos para PPC das normas Americana e Canadense  
(CRUZ, 2003)

Requisitos		Limites aceitáveis	
		Norma Americana ASTM C 936	Norma Canadense CSA A231.2-95
Dimensões das peças	Área da PPC	< 0,065 m <sup>2</sup>	
	Relação comprimento/ espessura	≤ 4	
Tolerância dimensional	Comprimento	± 1,6 mm	-1,0 / +2,0 mm
	Largura	± 1,6 mm	-1,0 / +2,0 mm
	Altura	± 3,2 mm	± 3,0 mm
Resistência à compressão (MPa)	Média	≥ 55,0	≥ 50,0
	Individual	≥ 50,0	≥ 45,0
	Corpo de prova para ensaio	Peça inteira	Cubo ou cilindro extraído da peça - relação comprimento ou diâmetro / altura = 1/1
Área considerada no ensaio de Resistência à Compressão		Área Líquida*	Área da seção de aplicação da carga
Absorção	Média	≤ 5,0 %	-
	Individual	≤ 7,0 %	
Resistência ciclos gelo-degelo		Perda de massa < 1,0 % (depois de 50 ciclos)	Média de 3 amostras Depois de 25 ciclos ≤ 200g/m <sup>2</sup> Depois de 50 ciclos ≤ 500g/m <sup>2</sup>
Resistência Abrasão (Perda do Volume)		≤ 15 cm <sup>2</sup> / 50 cm <sup>2</sup>	-

\* Conforme norma ASTM C 140-02.

## 4.2 Sugestões para Elaboração da Norma de Pavimento Intertravado

As normas têm por finalidade precípua especificar as exigências mínimas de qualidade (características) de um produto, bem como as diretrizes para se mensurar essas características, visando a qualidade global quando da utilização desse produto.

Os trâmites para elaboração de Norma são:

- a. Os interessados solicitam ao Órgão Normatizador;
- b. Produtores, Neutros e Consumidores são convidados pelo Órgão;
- c. Um projeto é elaborado com a participação de todos;
- d. O projeto é posto em votação;
- e. A comissão adapta ao projeto as emendas recebidas;
- f. O Órgão aprova a norma, imprime e divulga.

Os ditames técnicos – como é notório – constituem o respaldo para suprir as necessidades de determinada área da engenharia. Dessa forma, as sugestões e os questionamentos para a elaboração da Norma em questão devem estar apoiados nesse rigor técnico, lembrando que as necessidades do mercado nem sempre estão em consonância com o domínio técnico atual, embora possam ser, e normalmente o são, motivo desencadeante do avanço tecnológico.

Assim, enumeram-se a seguir questões polêmicas com as respectivas sugestões e, quando for o caso, apresentam-se alternativas, quais sejam:

### **Peça de 4,5 cm de altura**

Não há pesquisa técnica que confirme o adequado desempenho do pavimento para esse caso e, ainda, a maioria das normas internacionais não contempla tal situação. Conforme já exposto, a mera solicitação dos fabricantes não significa

a condição necessária e suficiente para que a Norma Brasileira sobre pavimento intertravado contemple tal tipo de peça, mas pode suscitar o interesse do meio técnico pelo estudo dessa possibilidade.

Sugestão:

- Criar Categorias de Utilização na Norma, restringindo seu uso exclusivamente para tráfego de pedestres, mantendo o valor mínimo de resistência mecânica característica da peça igual a 35 MPa.
- Concomitantemente, verificar o desempenho desses pavimentos, por processo empírico e por pesquisa aplicada.

Alternativa:

- Não incluir esse tipo peça na Norma até que se tenha o devido respaldo técnico advindo de pesquisa aplicada.
- Se for o caso, tratar essa peça como um simples revestimento, sem controle tecnológico da qualidade até que se possa aferir alguns parâmetros que garantam o desempenho esperado de determinado pavimento.

### **Resistência da peça**

Embora as afirmações de que os valores hoje preconizados de resistência mecânica na Norma sejam elevados não proceda – visto que se trata de ensaio específico, cujo valor numérico não pode ser comparado ao convencional ensaio de compressão de concreto (realizado em corpo-de-prova constituído de cilindro de 15 cm de diâmetros por 30 cm de altura) – percebe-se a necessidade de uma classificação específica mais ampla quanto à resistência mecânica da peça e sua utilização.

Sugestão:

- Criar Categorias de Utilização na Norma, incluindo faixas de resistência correspondentes ao uso – área urbana, industrial, portuária etc. –

correlacionando com o número de solicitações do eixo padrão de 80 kN. Faz-se, dessa maneira, uma alusão à fadiga, fato passível de verificação em pesquisa aplicada.

- Criar Categorias de Utilização na Norma como, por exemplo, resistência característica de 25 MPa para pavimentos de baixo tráfego – equivalentes a 10 solicitações do eixo padrão de 80 kN por dia – a ser projetado para um período de projeto de 10 anos;
- Concomitantemente, verificar o desempenho desses pavimentos, por processo empírico e por pesquisa aplicada.

Alternativa:

- Manter as exigências atuais da Norma vigente.

### **Absorção**

A permeabilidade de uma peça tem significância que vai além das características estéticas do pavimento ao qual ela pertence. Questões relativas à resistência mecânica da peça e à durabilidade do pavimento são ligadas diretamente à capacidade de absorção de uma peça. Normas internacionais são normalmente utilizadas para solucionar impasses mais freqüentes como a ocorrência de manchas em pavimentos. Entretanto, o uso inadvertido dessas normas pode levar a sérios prejuízos, desde a aprovação de uma peça ruim, até a rejeição de uma peça boa, passando pela negligência e o preciosismo técnico, como, por exemplo, se observa quando da utilização das especificações constantes da ASTM C-936 que, quanto à absorção, preconiza média no máximo igual a 5 % e valor individual máximo de 7 %, entretanto tais valores podem ser almejados tendo em vista o valor mínimo de resistência à compressão igual a 55 MPa, também especificado nessa mesma norma.

Sugestão:

- Adotar absorção média máxima de 6 % e simultaneamente valores individuais não superiores a 7 %;

- Caso seja adotada uma classificação de peças quanto à utilização, lembra-se que a menores valores de resistência mecânica deverá corresponder a uma flexibilidade maior quanto às exigências de absorção mínima. Aqui, as implicações estéticas como o aparecimento de manchas, certamente, deverão estar em segundo plano como acontece, por exemplo, em vias periféricas de baixo tráfego.
- Concomitantemente, verificar o desempenho dos pavimentos em utilização.

Alternativa:

- Não mencionar tal característica na Norma.

### **Verificação da qualidade da peça quanto a desgaste por abrasão**

Questão bem resolvida mantendo-se as especificações atuais. Entretanto, a criação de categoria de utilização correlacionada à resistência mecânica da peça essa abordagem faz-se necessária, seja, inicialmente, por um conceito simplista de adotar menor período de projeto em alguns casos ou, em médio prazo, basear-se em pesquisa aplicada sobre o assunto.

Sugestão:

- Mencionar o tipo de ensaio a ser feito para casos especiais de solicitação, em que o projetista achar necessário. O ensaio Amsler parece ser adequado, mas de difícil acesso em muitos lugares do Brasil, talvez o ensaio de desgaste por jato de areia seja a solução mais viável;

Alternativa:

- Manter as exigências atuais da Norma vigente.

### **Defeitos de fabricação e devidos ao transporte das peças**

A análise de tal parâmetro exige, pelo menos a princípio, a apreciação de cada uma das peças que constituirão um dado lote o que, por sua vez, demanda manuseio que se constituirá, sem dúvidas, num entrave para o adequado desenvolvimento de uma obra. Por conseguinte, cabe questionar a necessidade de tal exigência normativa, se seu cumprimento não for viável.

Sugestão:

- Formar lotes a cada 300 m<sup>2</sup> de pavimentação;
- Limitar a perda total a 2 % do número de peças, implicando a rejeição do lote analisado quando esse valor for superado;
- Até 2 % de peças defeituosas em um lote, embora aceito, deverá haver reposição das peças pelo fabricante, sem ônus para o consumidor;

Alternativa:

- Manter as exigências atuais da Norma vigente.

### **Nomenclatura**

Questões ligadas a Marketing ou a fomento do uso de um produto, ou até de uma técnica de engenharia, não são objetivo e nem mesmo devem integrar o corpo de uma Norma técnica. Entretanto, embora a norma não tenha caráter didático, a facilitação para o entendimento da metodologia ou especificação, nela preconizada, é bem vinda e promove seu uso o que, por sua vez, reveste-se de suma importância para a disseminação da técnica aplicada na engenharia, decorrendo, por exemplo, a obtenção dos melhores resultados baseados no estado-da-arte do assunto em questão.

A confusão hoje reinante sobre como se referir às peças pré-moldadas de concreto para pavimentação (como é atualmente – NRB 9780 e NBR 9781 – tal

referência) promove modismos, perdas de identidade lingüística e desintegração do meio técnico.

Sugestão:

- Adotar o termo peça para pavimentação;

Alternativa:

- Adotar o termo peça, simplesmente. Assim como bloco refere-se, ou normalmente entendemos que sim, a artefato de concreto para alvenaria.
- Caso se renda ao anglicismo, que o aporuguesamento tenha vez.

### **4.3 Dimensionamento para Tráfego Leve**

Apesar de ser um dos segmentos em que mais se utiliza o pavimento intertravado em todo o mundo, muito pouco existe sobre o dimensionamento de pavimentos intertravados em áreas de tráfego leve. Estas áreas são as preferidas pelos arquitetos e paisagistas, que utilizam a potencialidade de formatos e cores que este tipo de pavimento oferece.

As áreas de tráfego leve são, geralmente, estacionamentos, pátios, calçadas, praças, ciclovias e ruas secundárias. Os problemas que ocorrem nestes tipos de aplicação de pavimento intertravado estão, em sua maioria, associados a aspectos construtivos: deficiência de compactação da camada de base granular e falta de confinamento em regiões de borda.

Na maioria dos projetos deste tipo, é mais importante a prática do projetista e sua habilidade que outras classes de pavimentos. São em geral projetos pequenos que devem ser bem baratos, e o pavimento deve precisar de pequena ou nenhuma manutenção durante sua vida útil.

COOK (1996) propõe metodologia empírica para o dimensionamento dos pavimentos de tráfego leve, tendo por base experiências anteriores. Classifica os pavimentos de tráfego leve em duas categorias:

- Tráfego de pedestres e veículos leves;
- Tráfego de veículos leves e poucos veículos pesados.

Em função da categoria da área a ser pavimentada, são propostos fluxogramas de dimensionamento, descritos na Figura 4.6 para a categoria A, e na Figura 4.7 para a categoria B.

COOK (1996) propõe para os pavimentos desta categoria, na ausência de ensaios disponíveis do solo (o que geralmente acontece), proceder um teste prático, que é, caminhando sobre o subleito, verificar a presença da impressão das marcas dos passos no solo. A partir desta observação, classifica-se o subleito conforme indicado na Figura 4.6. A Associação Espanhola de PPC (1997) propõe uma classificação dos tráfegos leves em 5 categorias, conforme mostrada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Categorias de tráfego para pavimentos (EUROADOQUIN, 1997)

<b>Categoria</b>	<b>Tráfego de Projeto (Veículos pesados por dia)</b>
C0	50 a 150 Ruas ou artérias principais de elevado tráfego, Parada de ônibus, Estações de Serviço, Terminais para caminhões e áreas de armazenamento que não superam 150 veículos por dia
C1	25 - 49 Ruas comerciais, Ruas com largura > 6 metros, sem parada de ônibus Travessias de carretas com tráfego até 49 veículos por dia
C2	15 - 24 Ruas de grande atividade comercial, Ruas com largura > 6 metros e serviço de ônibus.
C3	25 - 49 Ruas comerciais com largura maior que 6 metros, sem serviço regular de ônibus.
C4	0 - 4 Áreas de pedestres, ruas com largura < 6m sem tráfego comercial, ruas exclusivamente comerciais. Aparecimento esporádico de veículos.

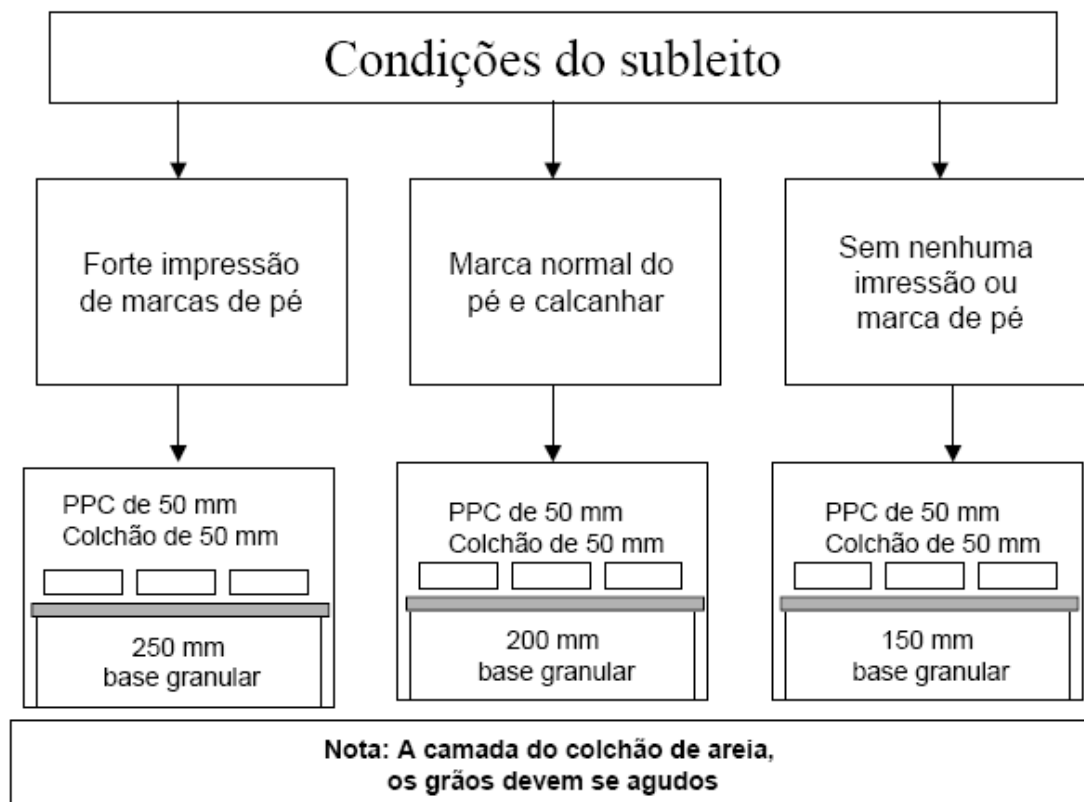


Figura 4.6 - Fluxo de dimensionamento empírico para tráfego leve – Pedestres e carros leves (COOK, 1996)

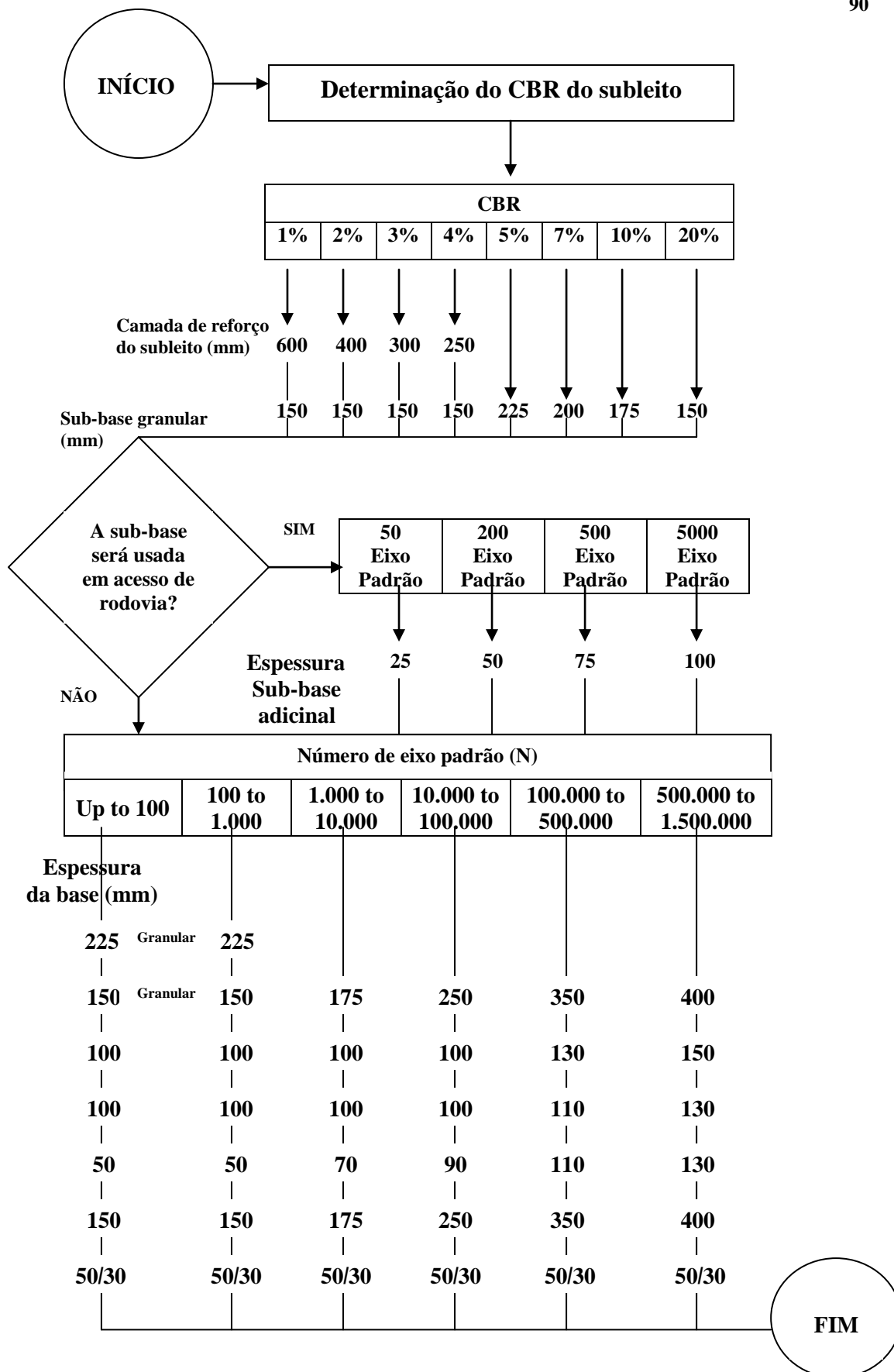


Figura 4.7 - Fluxo de dimensionamento empírico de PPC para tráfego leve – veículos leves e poucos veículos pesados (Adaptado COOK, 1996).

Conclui-se para este caso que as resistências mecânicas das peças também possam ser afetadas conforme a solicitação, sugerindo-se, assim, valores inferiores a 35 MPa que atendam às questões de durabilidade.

## 5 ANÁLISE DE CASO

### 5.1 Brumadinho

A norma brasileira NBR 9781 especifica dois valores de resistência característica estimada à compressão para peças de concreto para pavimentação: 35 MPa, para as solicitações de veículos comerciais de linha, e 50 MPa, para suportar o tráfego de veículos comerciais ou outras solicitações capazes de produzir acentuados efeitos abrasivos. O caso específico da cidade de Brumadinho, mostrada na Figura 5.1, cidade do estado de Minas Gerais, que será aqui analisado, não se enquadra em nenhuma dessas duas imposições, embora seja satisfatoriamente justificável.



Figura 5.1 - Vista parcial da cidade de Brumadinho (2000)

Entende-se que as questões de durabilidade são essenciais e, portanto, não há observação contrária ao exposto na norma brasileira, uma vez que trata das solicitações de forma tão genérica. No entanto, há situações que devem ser particularizadas, principalmente por questões de solicitações de pequena monta. Esses casos geram análises técnicas que não são viabilizadas economicamente ou, atendendo às expectativas de custo da obra, atualmente, não têm respaldo legal nas normas brasileiras.

Em Brumadinho, por esforço e insistência da comunidade local, quando esta percebeu as vantagens do pavimento intertravado, foi implementado pela Prefeitura Municipal, em maio de 2000, um programa de pavimentação de grandes áreas em bairros dessa pequena cidade.

Este pavimento recebeu um tratamento diferenciado que visou atender às necessidades da Prefeitura no que se refere ao aspecto estético e ao tráfego leve predominante de carros de passeio, com incidência de alguns veículos comerciais por dia apenas, como por exemplo, um caminhão de lixo, um caminhão de gás e algum outro eventual.

Ademais, a disponibilidade limitada de verba e o equipamento de produção reduzido e precário eram fatores adicionais para o baixo custo pretendido para as peças pré-moldadas, mas cujo objetivo de qualidade foi atingido por meio de orientações passadas e do acompanhamento dos serviços de produção e execução por intermédio de profissional especializado, com o apoio da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP.

Portanto, considerou-se a resistência característica à compressão de 20 MPa como suficiente e adequada para esse caso particular, sendo uma especificação exclusiva que não atende às normas, mas que atende à situação de Brumadinho.

Os últimos ensaios realizados na FEA-FUMEC - Faculdade de Engenharia e Arquitetura - Fundação Mineira de Educação e Cultura, em Belo Horizonte (MG), presentes no Anexo 1, atestaram que esse valor foi atingido com os traços T4, T5 e T6, mesmo com a utilização do equipamento disponível, o qual é de baixa eficiência.

Segundo os anais da 10ª Reunião de Pavimentação Urbana da Associação Brasileira de Pavimentação, realizada em Uberlândia (MG), os equipamentos utilizados para a confecção das peças pré-moldadas, mostradas na Figura 5.2,

foram: um pequeno britador; doze fôrmas para seis peças cada (PAVIBRU); seis fôrmas para seis peças cada (MINIBRU); três betoneiras de trezentos e vinte litros, sem carregador; duas mesas vibratórias; quatro fôrmas para produção de meio-fio; uma vibroprensa marca Menegott e oito carrinhos-de-mão para transporte de peças. A equipe de trabalho foi composta por um encarregado e vinte e um funcionários e a produção mensal era de 54.000 peças, ou 1.200 m<sup>2</sup>.



Figura 5.2 - Peças pré-moldadas confeccionadas em Brumadinho (2000)

A 1ª fase d projeto, de acordo ABI-ACKEL et al.(2000), contemplou nove trechos de ruas, totalizando 2,204 km, ou 15.428 m<sup>2</sup>. A Figura 5.3 mostra as ruas, do bairro Silva Prado, nas quais foram implantados os pavimentos intertravados.



Figura 5.3 - Bairro Silva Prado, Brumadinho (2000).

A produção dos artefatos e o assentamento foram de responsabilidade da Prefeitura de Brumadinho. A equipe de execução foi composta por dois encarregados, seis calceteiros e oito serventes. As Figuras 5.4 e 5.5 mostram respectivamente as fases de rejunte, com areia fina, e a compactação do pavimento intertravado.



Figura 5.4 - Varrição do rejunte de areia. Bairro Silva Prado, Brumadinho (2000).



Figura 5.5 - Compactação do Pavimento Intertravado. Bairro Silva Prado, Brumadinho (2000).

Nas Figuras 5.6 e 5.7 são apresentadas duas ruas, do bairro Silva Prado, com o pavimento intertravado concluído.



Figura 5.6 - Pavimento intertravado concluído, Bairro Silva Prado, Brumadinho (2000).



Figura 5.7 - Pavimento intertravado concluído, Bairro Silva Prado, Brumadinho (2000).

### 5.1.1 Situação atual das peças usadas em Brumadinho

ABI-ACKEL (2009), utilizou em seus estudos como referência para a comparação entre os resultados encontrados nos ensaios de caracterização física de concretos com resíduos sólidos de construção e demolição, peças de

pavimento intertravado adquiridas no mercado e peças de PI de concreto da cidade de Brumadinho/MG.

Foram avaliadas as particularidades dos materiais empregados para a confecção de peças, seguidos da análise dos dados obtidos nos ensaios, de forma a procurar estabelecer parâmetros de comparação entre peças para pavimento intertravado adquiridas no mercado e outras utilizadas na pavimentação das ruas da Cidade de Brumadinho/MG.

As peças de Brumadinho foram coletadas junto a entulhos das obras de recuperação de ruas da cidade, estas peças possuem idade aproximada de 9 anos.

### **Resistência a Compressão**

Para a determinação da resistência a compressão dos corpos de prova foi utilizada a NBR 9780 – Peças de Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência a Compressão. Esta Norma estabelece, entre outros:

Sobre o equipamento para o ensaio a compressão:

- Item 3.21 “As duas placas auxiliares de ensaio devem ser circulares, com diâmetro de 90 mm, confeccionadas em aço, com dureza maior que 60 RC. Suas superfícies não devem apresentar afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de 0,01 mm em 90 mm.”

- Item 3.2.2 “As placas auxiliares devem ser acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma no prato inferior e outra no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.”

Na Figura 5.8 está representado uma peça de concreto de pavimento intertravado com as dimensões de 10 cm de largura, 20 cm de comprimento e 10 cm de espessura, tendo em suas superfícies superior e inferior os discos de

aço, com diâmetro de 9 cm, posicionados para o ensaio de determinação de sua resistência a compressão. Esta representação da peça de concreto com os discos de aço foi a utilizada para o ensaio de compressão do pré-fabricado de concreto adquirido no mercado.

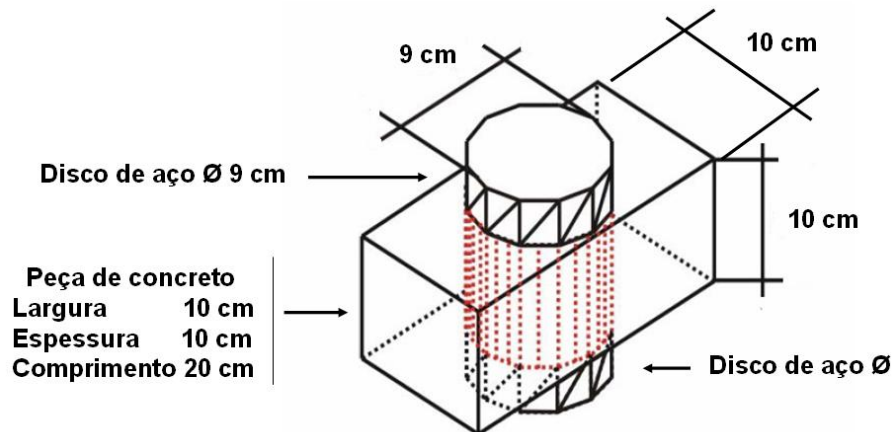


Figura 5.8 - Representação de uma peça de concreto de pavimento intertravado, peça adquirida no mercado (ABI-ACKEL, 2009).

A Figura 5.9 representa um cilindro concreto moldado, com as dimensões de 10 cm de espessura e 10 cm de diâmetro, sendo posicionados em suas faces paralelas, superior e inferior, os discos de aço, com diâmetro de 9 cm, posicionados para o ensaio de determinação da sua resistência a compressão.

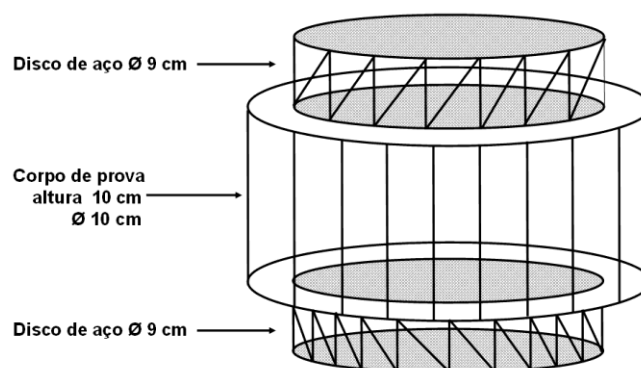


Figura 5.9 - Representação de um cilindro concreto moldado, utilizando resíduos de construção civil (ABI-ACKEL, 2009).

A Figura 5.10 apresenta uma perspectiva de uma peça pré-fabricada de concreto, formato de polígono com 16 lados tendo a largura de 10 cm, comprimento 10 cm e altura 8 cm. Estão posicionados, na face superior e na inferior, os discos de aço, com diâmetro de 9 cm, para o ensaio de resistência a compressão. A referida peça, com idade aproximada de 9 anos, foi conseguida na Cidade de Brumadinho/MG, onde a Prefeitura promoveu a sua fabricação e assentamento.

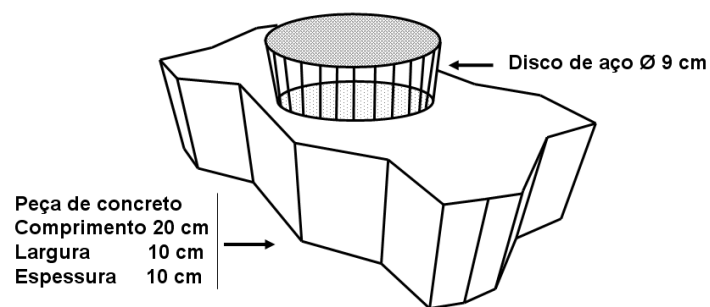


Figura 5.10 - Perspectiva de uma peça pré-fabricada de concreto, da Cidade de Brumadinho/MG (ABI-ACKEL, 2009).

Quanto às amostras para o ensaio:

- Item 5.1 “As peças representativas do lote amostrado devem estar nas seguintes condições, no momento do ensaio:

- a) saturadas em água;
- b) superfícies de carregamento capeadas com argamassa de enxofre, ou similar, com espessura inferior a 3 mm”.

Para o ensaio à compressão, ABI-ACKEL (2009) utilizou a prensa hidráulica do Laboratório de Concreto da UFMG apresentada na Figura 5.11.

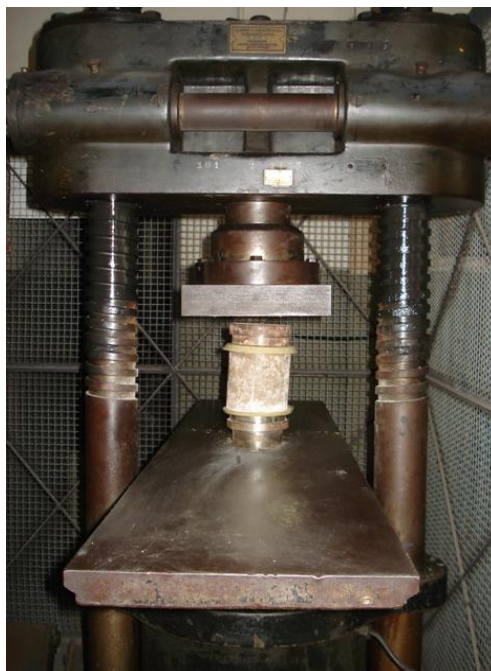


Figura 5.11 - Prensa para o ensaio de compressão dos corpos de prova de concreto, Laboratório de Concreto, UFMG (ABI-ACKEL, 2009)

ABI-ACKEL (2009) conclui que nenhum dos corpos de prova (peça), sejam eles moldados em laboratório ou adquiridos no mercado e na Cidade de Brumadinho atingiu a resistência mínima de 35 MPa, preconizada pela NBR 9780. A diferença de resistência dos corpos de prova moldados com escória ativada com hidróxido de sódio acrescida de cimento Portland CP V ARI apresentou limite de ruptura de 4,6 % inferior daqueles que tem como aglutinante somente o Cimento Portland CPV ARI. Os resultados dos ensaios a compressão são apresentados na Tabela 5.1 e na Figura 5.12.

Tabela 5.1 - Resultado do ensaio a compressão dos corpos de prova, conforme NBR 9780 (ABI-ACKEL, 2009).

<b>Concreto</b>	<b>MPa</b>
CP V ARI + escória + RCD	16,77
CP V ARI + RCD	17,55
Mercado	31,12
Brumadinho	25,94

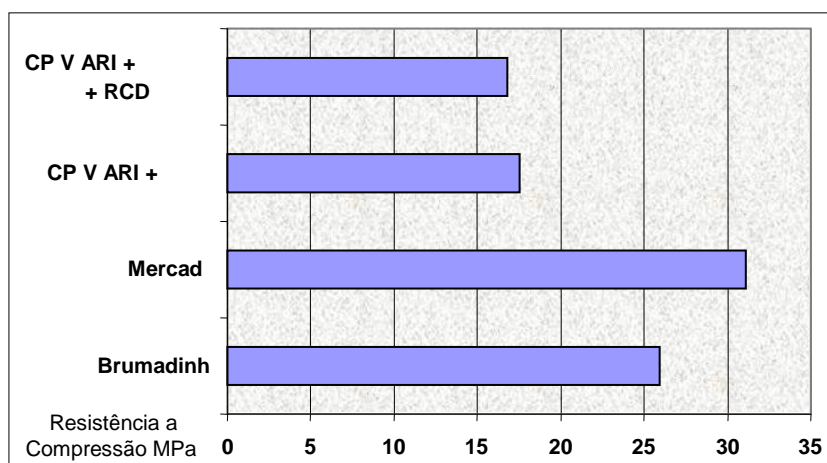


Figura 5.12 - Gráfico com os resultado do ensaio a compressão (ABI-ACKEL,2009).

A resistência a compressão obtida nas peças de Brumadinho foi de 25,94 MPa, ou seja, não atingiu a resistência à compressão mínima exigida pela NBR 9780.

Os valores mínimos exigidos pela NBR 9780 (ABNT, 1980) para o ensaio de resistência à compressão fazem com que os blocos tenham que suportar resistências muito elevadas. Esquece-se que esse tipo de pavimento também pode ser e é utilizado em ambientes com sobrecargas pequenas, como, por exemplo, em calçadas, praças, ciclovias e tráfego leve.

Todavia, se compararmos os valores mínimos de resistência à compressão exigidos no Brasil com os de alguns outros países, como, por exemplo, Austrália e África do Sul, que dispõem de normas que especificam resistências mínimas de 25 MPa, dependendo da finalidade de utilização do produto, que dominam essa técnica de fabricação e que vêm utilizando a pavimentação intertravada com blocos intertravados há muito mais tempo que o Brasil, veremos então que as resistências exigidas em nosso país são realmente elevadas. Nestes países onde a norma especifica resistência mínima de 25 MPa, as peças de Brumadinho atenderiam a norma em questão.

Na África do Sul, segundo *The Manufacture of Concrete Paving Blocks*, a especificação requer que as peças atendam a determinadas tolerâncias, e tenham resistência à compressão de 25 MPa, para tráfegos leves, ou 35 MPa, em circunstâncias mais severas ou onde o carregamento por roda é maior do que 30 kN. A especificação em vigor que preconiza os requisitos para peças de concreto para pavimentação é SABS 1058:2002 Concrete paving blocks que é referida no SABS 1200 MJ: 1984 Standard specification for civil engineering construction: segmented paving.

### **Resistência a Abrasão**

Para o ensaio de resistência a abrasão foram utilizadas as recomendações da NBR 12042 – Materiais Inorgânicos - Determinação do Desgaste por Abrasão. A Figura 5.13 mostra o equipamento de ensaio de abrasão utilizado. Para tal, dois corpos de prova cilíndricos dos concretos moldados utilizando resíduos de construção civil, com idade de 28 dias, devidamente curados por imersão em água, foram cortados com disco de serra diamantado em paralelepípedos de 7 x 7 cm com espessura de 3 cm. Comparativamente, para o presente ensaio, foram cortados dois prismas da peça de concreto para pavimento intertravado adquirida no mercado e também outros dois prismas de igual dimensão de peças de uma rua pavimentada da Cidade de Brumadinho/MG. Os paralelepípedos têm inicialmente determinados as suas massas e mensuradas as suas dimensões.



Figura 5.13 - Máquina Amsler (ABI-ACKEL, 2009).

O objetivo do ensaio de abrasão é medir o denominado desgaste abrasivo, sendo esta a propriedade que um material possui em resistir à remoção contínua dos minerais de sua superfície, a qual pode ser medida por diminuição da massa.

O equipamento de ensaio de abrasão consiste basicamente em um anel de ferro onde um abrasivo quartzoso de diâmetro 0,15 mm é ininterruptamente despejado sobre ele. As peças a serem ensaiadas são presas a suportes que as mantêm constantemente sob o atrito do abrasivo sobre o anel de ferro que gira a velocidade constante, até atingir o equivalente de 1000 m lineares. Para avaliar a abrasão, uma vez completados os 1000 m, os materiais são pesados, para avaliar a perda massa.

ABI-ACKEL (2009) apresenta um estudo comparativo sobre desgaste por abrasão que abrange uma amostra de peças retiradas da pavimentação intertravada de Brumadinho, que por ser alvo desse estudo e, de certa forma, justificativa para as premissas, o Autor transcreve alguns resultados a seguir.

São apresentados resultados dos ensaios feitos por ABI-ACKEL (2009), considerando a amostra de concreto adquirida no mercado como referência para avaliar o desgaste por abrasão, tem-se a seguinte relação:

- Concreto com resíduos, escória ativada e cimento Portland desgastou mais que a amostra de referência em 11,34 %
- Concreto com resíduos e cimento Portland também desgastou mais que a amostra de referência em 9,02 %
- Concreto das peças de Brumadinho apresentou desgaste inferior à amostra de referência em 44,59 %

Os agregados graúdos são aqueles que apresentam, de forma significativa, resistência ao desgaste por abrasão do concreto, assim as considerações sobre este ensaio têm por base a natureza deste agregado.

A maior resistência ao desgaste por abrasão da peça da Cidade de Brumadinho, comparada à amostra do concreto adquirida no mercado, se deve ao agregado graúdo utilizado. Trata-se de hematitas, hematitas alteradas e itabiritos, que têm dureza Mohs superior à do calcário – agregado graúdo do concreto de referência.

Com relação a diferença da porcentagem de desgaste por abrasão entre a amostra do concreto das peças adquiridas no mercado comparado ao concreto com resíduos de construção e demolição consideramos que a presença de cerâmicas vermelhas seja o fator mais evidente, uma vez que a dureza do calcário é maior que a das referidas cerâmicas.

A Figura 5.14 apresenta a superfície, após o corte com disco de serra diamantado e o ensaio de desgaste por abrasão, do corpo de prova moldado com agregados de resíduos de construção e demolição, tendo como aglutinantes 30 % de cimento Portland CP V ARI e 70 % de escória ativada com 6 % de hidróxido de sódio. Podemos observar a presença dos agregados

de cerâmica vermelha e calcários. A pequena presença de agregados graúdos possivelmente está mascarada pela grande quantidade de finos presente nos agregados miúdo e graúdo, originado dos resíduos.

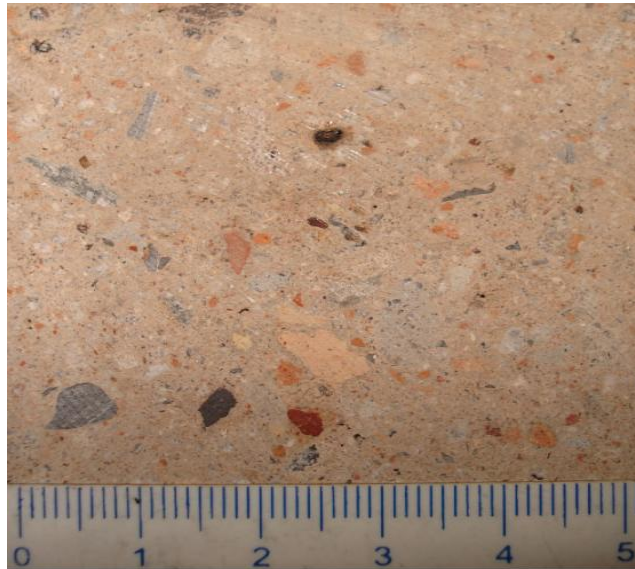


Figura 5.14 - Superfície após o ensaio de abrasão do corpo de prova moldado com agregados de resíduos de construção e demolição (ABI-ACKEL, 2009).

A Figura 5.15 apresenta a superfície da peça de concreto para pavimentação intertravada, após o corte com disco de serra diamantado e o ensaio de desgaste por abrasão, adquirida no mercado onde podem ser identificados os vários agregados graúdos calcários e os agregados miúdos de origem quartzoso.



Figura 5.15 - Superfície da peça de concreto para pavimentação intertravada adquirida no mercado, após o ensaio de abrasão (ABI-ACKEL, 2009).

Nas peças obtidas na Cidade de Brumadinho, Figura 5.16, identificam-se os agregados grãos de hematita, que ficaram expostos pelo corte com disco de serra diamantado, e o desgaste superficial promovido pelo ensaio de abrasão.



Figura 5.16 - Superfície da peça vinda de Brumadinho/MG, após o ensaio de abrasão (ABI-ACKEL, 2009).

Em que pese a determinação da NBR 9780 quanto a resistência mínima a compressão ser de 35 MPa, devemos considerar que as peças de concreto para pavimentação intertravada têm dimensão máxima de 20 cm. Desta forma é interessante cotejar que a capacidade de suportar o desgaste a abrasão seja o parâmetro mais importante para avaliar o desempenho do piso, em detrimento da resistência que passaria a um padrão secundário.

Ciente de que estas considerações, caso aceitas, impõem a revisão das Normas pertinentes, o que traria uma nova ótica para avaliar a performance das peças de concreto destinadas a pavimentação intertravada e o *jus esperiandi* de setores da cadeia produtiva da indústria que ver-se-iam prejudicados em seus interesses.

Os resultados dos ensaios de resistência a abrasão são apresentados na Tabela 5.2 e na Figura 5.17.

Tabela 5.2 - Desgaste por abrasão, referente a um percurso de 1000 m (ABI-ACKEL, 2009).

<b>Concreto</b>	<b>Desgaste %</b>
CP V ARI + escória + RCD	4,32
CP V ARI + RCD	3,53
Mercado	3,88
Brumadinho	2,15

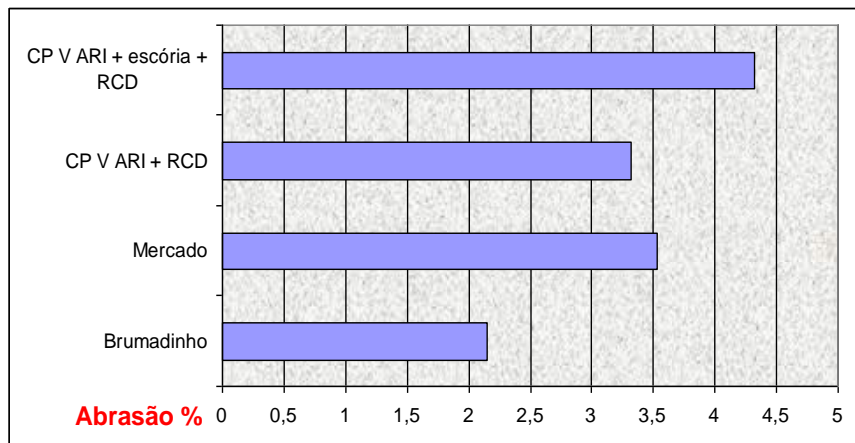


Figura 5.17 - Gráfico Desgaste por abrasão (ABI-ACKEL, 2009).

## 5.2 Mário Campos

A cidade mineira de Mário Campos, localizada a 38 km de Belo Horizonte, também não se enquadra em nenhuma das duas imposições, referentes a valores de resistência característica, da norma brasileira NBR 9781. Assim sendo, o pavimento intertravado desta cidade pode ser particularizado, por apresentar questões de solicitações de pequena monta, assim como analisado para a cidade de Brumadinho.

Apesar de não existirem documentos que comprovem que as resistências das peças dos pavimentos intertravados desta pequena cidade mineira são inferiores aos exigidos pela NBR 9781, relatos informais de funcionários que trabalharam na execução do pavimento confirmam que as peças utilizadas possuíam esta característica.

Atualmente o pavimento intertravado de Mário Campos, com idade aproximada de vinte e nove anos, encontra-se em excelente estado. Este pavimento visou atender aos aspectos estéticos e ao tráfego leve da cidade, predominante de carros de passeio, com incidência de alguns veículos comerciais por dia apenas. Nas Figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 são apresentadas fotos tiradas pelo Autor em novembro de 2008 que comprovam a durabilidade do pavimento intertravado mencionado.



Figura 5.18 - Pavimento intertravado, Mário Campos (2008)



Figura 5.19 - Pavimento intertravado, Mário Campos (2008).



Figura 5.20 - Pavimento intertravado, Mário Campos (2008).



Figura 5.21 - Pavimento intertravado, Mário Campos (2008).

## **6 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

### **6.1 Avaliação Funcional**

A avaliação funcional se correlaciona com o conforto ao rolamento do pavimento e engloba o conceito dos usuários quanto ao nível de serviço fornecido pelo pavimento, bem como se correlaciona com estimativas quanto a custos operacionais dos veículos. Normalmente, pode ser composta por uma avaliação subjetiva, quando é atribuída uma nota de 0 a 5 às condições gerais da via, e por uma avaliação objetiva, que pode ser exemplificada pela medida da irregularidade longitudinal.

Alguns outros componentes de uma avaliação funcional são os indicadores de segurança de uma determinada via. A resistência à derrapagem em pista molhada pode ser medida por alguns dos inúmeros equipamentos que os engenheiros têm à disposição.

#### **6.1.1 Permeabilidade ou Drenabilidade de PI**

MOTTA (2005) descreve a permeabilidade do pavimento como a capacidade de um meio poroso em permitir a passagem de um líquido qualquer. No caso de pavimentos, o meio poroso a ser considerado pode se referir apenas à camada de revestimento ou a uma das camadas constituintes, chamada de camada drenante, ou ao pavimento como um todo, onde toda a estrutura do pavimento tem por objetivo escoar a água da superfície podendo ser chamado de pavimento drenante.

Darcy em 1850, experimentalmente verificou como os diversos fatores influenciavam a vazão da água e, baseado em seus experimentos, estabeleceu a teoria da permeabilidade para os solos. O fluxo de água é proporcional ao gradiente hidráulico e à área de uma amostra (PINTO, 2002):

$$Q = k.i.A \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- Q = vazão;
- A = área do permeâmetro;
- i = gradiente hidráulico, que é a relação entre a carga que se dissipa na percolação (h) e a distância ao longo da qual a carga de água se dissipa (L).

A Lei de Darcy pode ser escrita de acordo com a Equação 4:

$$Q = k.A.h/L \quad (\text{Equação 4})$$

O gradiente hidráulico pode ser definido como a perda de carga por comprimento. A perda de carga aumenta linearmente com a velocidade da água, uma vez que esta seja transmitida por um fluxo laminar. Quando o fluxo da água torna-se turbulento, a relação entre a perda de carga e a velocidade comporta-se de maneira não-linear. Assim, na condição turbulenta do fluxo da água, a lei de Darcy, não é válida (COOLEY, 1999).

Dois ensaios distintos são usados para medir a permeabilidade da Lei de Darcy: o de permeâmetro de carga constante e o de permeâmetro de carga variável. O ensaio de carga constante é aplicável a materiais com coeficiente de permeabilidade relativamente baixos, como as argilas, enquanto o ensaio de carga variável é recomendado para materiais com coeficiente de permeabilidade mais elevados (COOLEY, 1999; PINTO, 2002). A Tabela 6.1 mostra valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos (PINTO, 2002).

Tabela 6.1 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos (PINTO, 2002)

<b>Tipos de Solos</b>	<b>Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)</b>
Argila	$< 10^{-9}$
Silte	$10^{-6}$ a $10^{-9}$
Areias argilosas	$10^{-7}$
Areias finas	$10^{-5}$
Areias médias	$10^{-4}$

Segundo COOLLEY (1999) e BROWN *et al.* (2004), diversos fatores foram identificados e podem afetar a drenabilidade de pavimentos asfálticos. Entre eles, os mais importantes são:

- Distribuição granulométrica e formato dos agregados;
- Composição molecular do ligante asfáltico;
- Vazios de ar no interior das camadas;
- Grau de saturação;
- Tipo de fluxo;
- Temperatura.

QVIST & KIRK (1996) desenvolveram um tipo de permeâmetro para determinar a infiltração da água em pavimentos de blocos de concreto, na Dinamarca. O permeâmetro consiste em um tanque, na parte superior, para o armazenamento da água, sustentado por um tripé, para o nivelamento, tendo no contato entre o equipamento e a superfície do pavimento um cilindro plástico. O cilindro e o tanque estão conectados por duas pipetas; a primeira é utilizada para levar a água do tanque até o cilindro e a segunda é utilizada como uma torneira, que é acionada para começar e encerrar o ensaio. A seção do cilindro, em contato com o pavimento, possui uma área de  $0,07\text{m}^2$ .

IMAI *et al.* (2003); KARASAWA & SUDA (1996); e SHACKEL *et al.* (1996) utilizaram em seus trabalhos o “Constant Water Level Type Permeability

Tester” (CWLTP) para medir a drenabilidade de algumas estruturas de pavimentos intertravados. Este equipamento mede a permeabilidade de toda a estrutura de um pavimento permeável, por meio de uma carga de água constante em sua superfície, partindo do princípio que a água penetra em toda sua estrutura pela superfície. O CWLTP está apresentado na Figura 6.1.

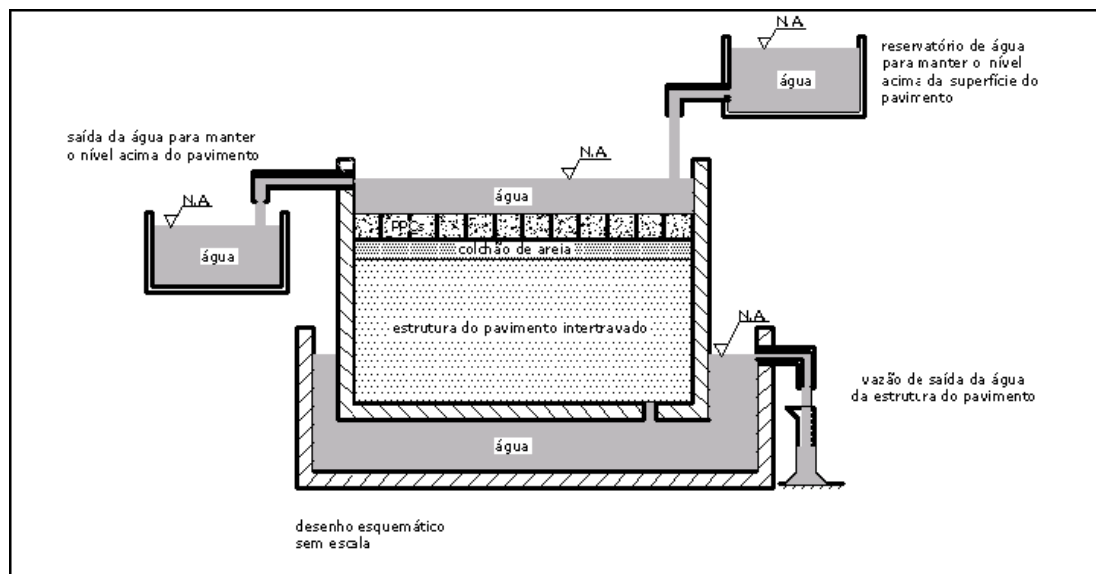


Figura 6.1 - “Constant Water Level Type Permeability Tester”  
(KARASAWA & SUDA, 1996)

O chamado “Gerador de Chuva Artificial” (“Artificial Rain Generation”), mostrado na Figura 6.2 (JAMES & von LANGSDORFF, 2003) é outro ensaio para determinar a permeabilidade e a infiltração da água em pavimentos. Este ensaio permite obter medidas da permeabilidade de toda a estrutura do pavimento e determinar a vazão que escoar pela superfície do pavimento. O ensaio simula uma chuva padrão, para um determinado caso de projeto, sobre a superfície de um pavimento (JAMES & von LANGSDORFF, 2003; KARASAWA & SUDA, 1996).

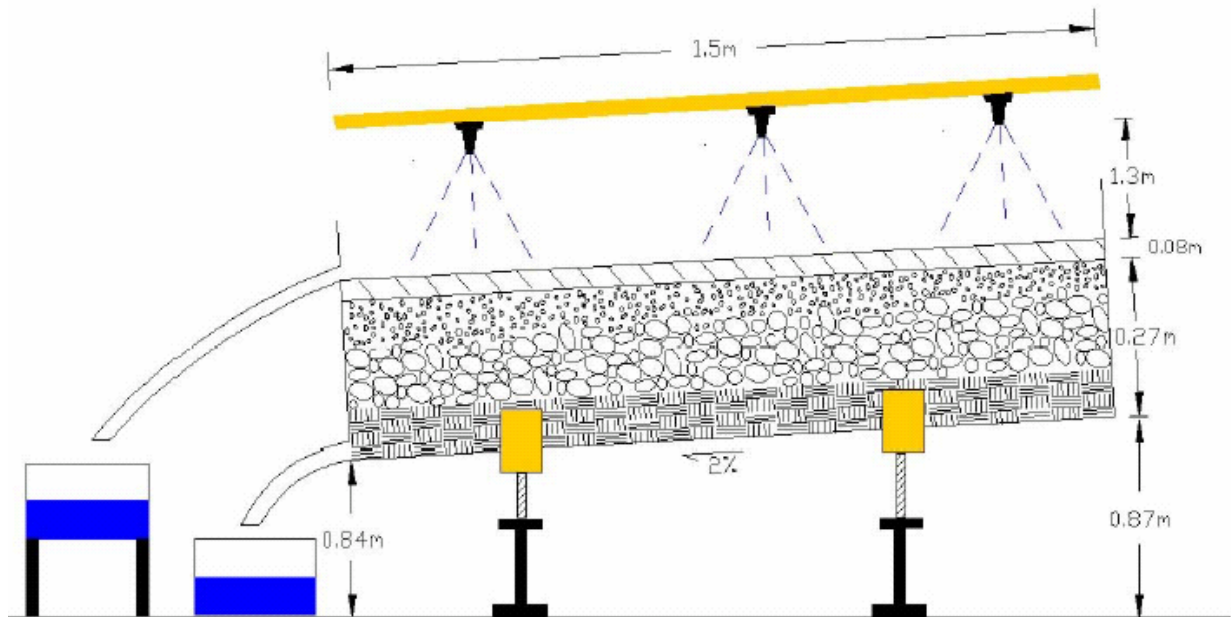


Figura 6.2 - Gerador de Chuva Artificial (JAMES & von LANGSDORFF, 2003).

LEENDERS (1988) relata que a infiltração de água pelas juntas dos pavimentos intertravados pode atingir até, aproximadamente, 45% da infiltração anual. HADE e SMITH (1988) sugerem que, em área de tráfego de veículos, a infiltração é menor que em área de tráfego de pedestres. Isto pode ser causado pela sucção da passagem dos pneus dos veículos pelas juntas.

MALYSZ *et al.* (2003) utilizaram blocos vazados preenchidos com areia para controle do escoamento superficial de águas pluviais em localidades urbanas em Porto Alegre. A Figura 6.3 apresenta a construção do pavimento com blocos vazados desta experiência.



Figura 6.3 - Execução dos pavimentos intertravados drenantes  
(MALYSZ *et al.*, 2003).

KNAPTON & COOK (2000) descrevem uma solução de pavimentos permeáveis de blocos de concreto para o porto de Santos, Brasil, que cobria uma área de 132.000m<sup>2</sup> para depósito de contêineres. Foram utilizados blocos de concreto com 80mm e com juntas de 6mm entre eles. A permeabilidade do colchão de areia foi determinada tendo a capacidade de escoar uma chuva de 36mm/h.

ITO *et al.* (2000) determinaram a permeabilidade de um pavimento intertravado, realizando a comparação de sua permeabilidade em três datas distintas de utilização de uma via e de uma calçada de pedestres. À primeira medição foi realizada logo após a construção, a segunda 6 meses após a liberação ao tráfego e a terceira um ano após a liberação ao tráfego. A Figura 6.4 mostra os resultados de permeabilidade encontrados.

MADRID (2005) e MADRID *et al.* (2003) relatam que os pavimentos intertravados jovens tendem a permanecer úmidos por um período de tempo mais longo que os pavimentos velhos. Esta constatação leva à hipótese de que, com o passar do tempo, as juntas vão selando devido a fenômenos físicos e a presença de finos nas juntas. Foi realizado um estudo, totalizando vinte e

quatro ensaios de permeabilidade em quatorze trechos em idades de utilização entre zero e vinte e seis anos. Neste estudo, (MADRID, 2005) chegou às seguintes conclusões:

- Existe uma excelente relação entre a idade do pavimento de blocos de concreto e a taxa de infiltração de água. A taxa de infiltração decresce exponencialmente com a idade do pavimento, independentemente da espessura dos blocos e da composição e da granulometria da areia de rejunte;
- A influência da largura das juntas é mais importante do que a inclinação do pavimento;
- Não é lógico considerar os pavimentos intertravados fundamentalmente permeáveis, pois qualquer valor de infiltração é alterado rapidamente com o passar dos anos, chegando a atingir 50% da infiltração inicial nos primeiros cinco anos de utilização.

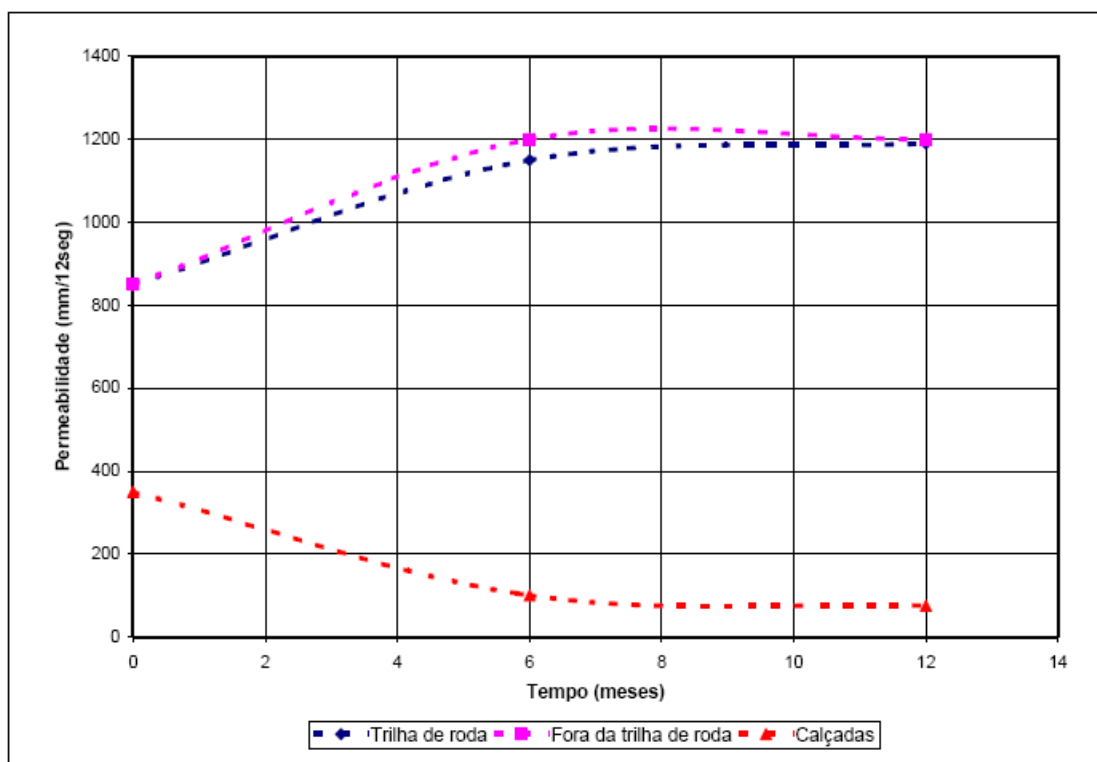


Figura 6.4 - Permeabilidade de pavimentos de Blocos de Concreto em várias idades (ITO *et al.* 2000)

IMAI *et al.* (2003) relacionaram algumas categorias de pavimentos intertravados conforme a permeabilidade, medida por permeâmetros, variando o coeficiente de permeabilidade, medido em ruas, rodovias e calçadas de pedestres. As categorias relacionadas pelos autores estão descritas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Categorias de pavimentos intertravados conforme a permeabilidade

	Categorias							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	Coeficiente de Permeabilidade ( $10^{-2}$ cm/s)							
Média	5,2	6,9	8,8	27,3	28,1	36,1	45,7	53,5
Máximo	5,9	7,9	9,5	34,6	32,8	37,8	46,9	54,3
Mínimo	4,7	5,6	8,1	16,7	20,7	34,3	44,2	52,6
Mediana	5,1	6,9	9,1	29,5	29,0	36,4	45,7	53,6

Com o crescimento das cidades, as taxas de permeabilidade dos solos diminuíram consideravelmente. As águas pluviais são encaminhadas em grandes proporções para os coletores públicos, estes não comportam tais volumes, provocando sobrecarga no sistema público de drenagem urbana e levando a ocorrência de inundações.

A vantagem para o meio ambiente é que ao contrário do que ocorre com pavimentos asfálticos, os pisos intertravados, possibilitam que a água da chuva permeie entre as juntas e encontre o solo, facilitando a drenagem. A Figura 6.5 mostra um tipo de pavimento intertravado drenante, também conhecido como pavigrama e a Figura 6.6 apresenta outro tipo de pavimento drenante e sua aplicação.



Figura 6.5 - Pavimento intertravado drenante, pisograma  
([http://pavifort.net/produtos\\_paviverde.htm#](http://pavifort.net/produtos_paviverde.htm#)).



Figura 6.6 - Aplicação de pavimento intertravado drenantes (JAMES, 2003).

### 6.1.2 Avaliação da Resistência à Derrapagem

A resistência à derrapagem entre as superfícies de um pneu e do revestimento de um pavimento é uma grandeza que afeta diretamente a segurança do usuário, tendo em vista que é o principal fator que contribui para a parada do veículo durante a frenagem, ou em sua permanência na trajetória em curvas horizontais.

Pode-se citar diversos tipos de equipamentos para determinar o coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento; entre eles:

- Skidometer – BV-11 Skid Trailler;
- Mark 2 Saab Friction Tester (SFT);
- Veículo de Frenagem Diagonal (Braked Vehicle – DBV);
- M 6800 – Ranway Friction Tester (RFT);
- Medidor de Valor  $\mu$  ( $\mu$ -meter);
- Pêndulo Britânico.

No Brasil, a avaliação de atrito é mais usual nas pistas de aeroportos do que em rodovias ou vias urbanas. No caso dos aeroportos, a experiência brasileira é significativa e se utilizam diversos equipamentos. Porém, a experiência em vias urbanas é escassa, sendo que o equipamento mais comumente utilizado é o Pêndulo Britânico (utilizado para avaliação do atrito nesta pesquisa), devido a baixos custos, facilidade de transporte e manuseio simples (PEREIRA, 1998).

O Pêndulo Britânico é um equipamento portátil, que foi desenvolvido para proporcionar ao engenheiro rodoviário uma rotina de avaliação da resistência a derrapagem em superfícies úmidas. O aparelho mede a resistência ao atrito entre a tira de borracha (montada no final do braço do pêndulo) e a superfície da via simulando um veículo a 50 km/h. PEREIRA (1998) apresenta valores mínimos de atrito sugeridos para alguns locais, conforme apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Valores mínimos sugeridos da resistência à derrapagem medido com o Pêndulo Britânico (PEREIRA, 1998)

<b>Categoria</b>	<b>Tipo de Local</b>	<b>Valor mínimo (superfície molhada)</b>
A	Locais difíceis tais como: (i) Pistas circulares; (ii) Curva com raio maior que 1,5 m em qualquer via; (iii) Rampas, 1:20 ou inclinações com mais de 100 m de comprimento; (iv) Acesso para tráfego leve em qualquer via.	0,65
B	Rodovias nacionais e rodovias classe 1 e vias urbanas de tráfego intenso (mais de 2.000 veículos/dia)	0,55
C	Todos os demais locais	0,45

Na Tabela 6.4, extraída de CRUZ (2003), são apresentados os valores de resistência à derrapagem medidos com o Pêndulo Britânico para pavimentos intertravados.

Tabela 6.4 - Valores recomendados a resistência à derrapagem medidos com o Pêndulo Britânico (CRUZ, 2003)

<b>Valor BPN</b>	<b>Categoria</b>
> 0,65	Muito Bom
0,30 - 0,65	Bom
0,25 - 0,34	Regular
< 0,24	Insatisfatório

O ensaio permite apreciar um aspecto das qualidades de aderência de uma superfície rodoviária molhada, por atrito a baixa velocidade, de um patim de borracha sobre esta superfície. O objetivo do ensaio é medir um coeficiente de

atrito que é, por definição, a média dividida por cem de um certo número de leituras efetuadas no mostrador do aparelho (ABPv, 1999).

A velocidade admissível de uma pista pode variar de 50 km/h até 130km/h. Assim, os valores de resistência à derrapagem a 50km/h, não podem traduzir sozinhos o desempenho a altas velocidades. A queda da resistência ao atrito com o aumento da velocidade em pistas úmidas depende da textura da superfície e é consideravelmente menor em pistas rugosas do que em lisas. Se esse ensaio for usado em pistas de altas velocidades, é necessário um critério adicional indicando a textura (PEREIRA, 1998).

CRUZ (2003) escolheu 2 traços para cada módulo de finura do concreto (MFC) para confecção de PPC que foram submetidas ao ensaio de Pêndulo Britânico. Para cada traço, foram realizados ensaios considerando a superfície da PPC na Via Seca, sem a presença de água, e em Via Úmida, com presença de água corrente. Foram realizadas cinco determinações em cada PPC ensaiada, e fez-se a média dos valores medidos. A Tabela 6.5 apresenta os resultados obtidos por CRUZ (2003).

Tabela 6.5 - Resultados da resistência à derrapagem em PPC, medidas com o pêndulo britânico (CRUZ, 2003)

Identificação		Pêndulo Britânico (BPN)			
		MFC = 2,5 ± 0,2		MFC = 3,0 ± 0,2	
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )		420			
Umidade do concreto (kg/m <sup>3</sup> )		5,0 %	7,0 %	5,0 %	7,0 %
Índice BPN	Via seca	0,83	0,83	0,85	0,79
	Via úmida	0,74	0,74	0,76	0,72

ITO *et al.* (2000) determinaram o coeficiente de atrito dinâmico para um pavimento intertravado com velocidades variando de 20 a 80 km/h, neste artigo não tendo sido descrito o equipamento utilizado. Os coeficientes de atrito foram determinados em três períodos: o primeiro após a construção, o segundo seis meses após a liberação ao tráfego e o terceiro um ano após a liberação ao tráfego, objetivando realizar uma comparação entre os resultados obtidos e determinar um possível polimento das peças pela passagem dos veículos. A Figura 6.7 apresenta os valores de coeficiente de atrito dinâmico encontrados por ITO *et al.* (2000).

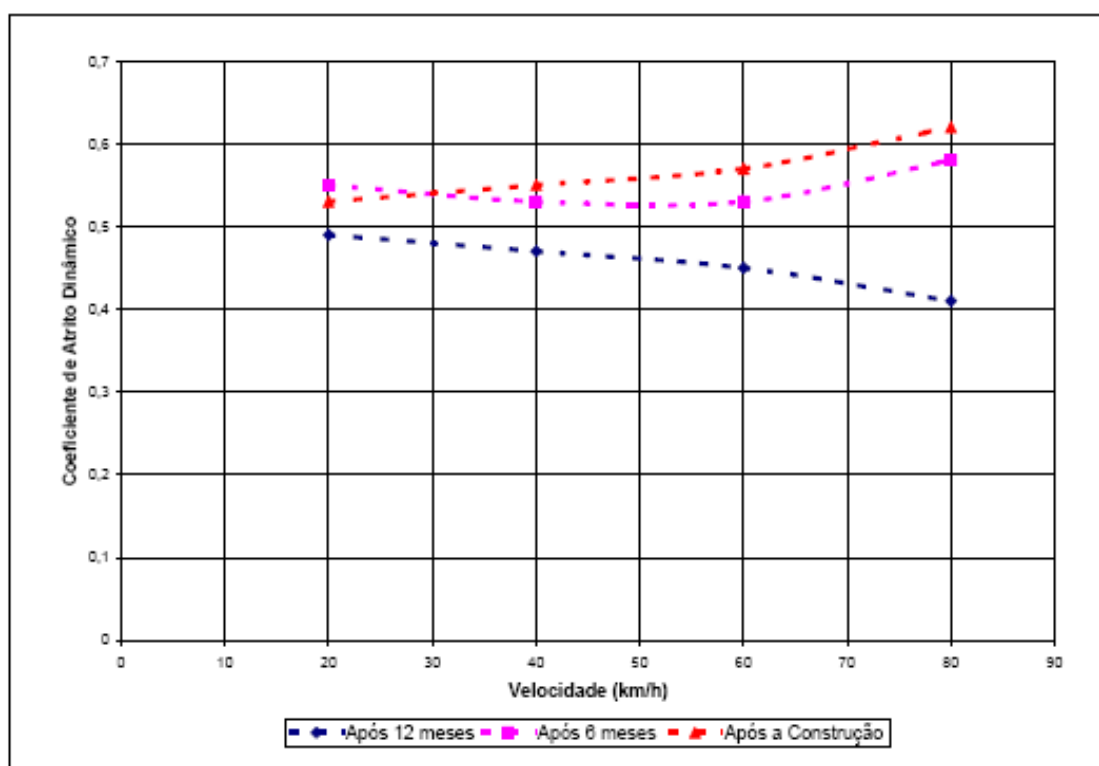


Figura 6.7 - Valores de coeficientes de atrito dinâmico em pavimentos intertravados (ITO *et al.*, 2000)

### 6.1.3 Conforto de rolamento

Em agosto de 2004, a Universidade de Pittsburgh completou seu terceiro estudo na interação de pavimentos e cadeiras de rodas. A pesquisa foi realizada para verificar as condições de vibração em cadeiras de roda sobre

superfície de passeios. Foram utilizadas cadeiras de roda manuais e auto-propelidas (elétricas) e pavimentos devidamente construídos, conforme os ditames do ICPI. A Figura 6.8 mostra a conformação dos pavimentos constantes do estudo.

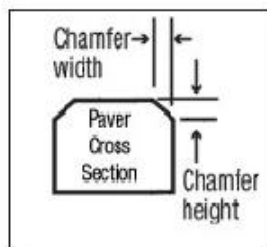


Figura 6.8 - Tipos de peça e pavimento (ICPI, 2005).

O estudo realizado implicou medições de vibração ocorrida nas cadeiras de rodas trafegando sobre os diversos tipos de pavimentos intertravados, conforme é mostrado nas Figuras 6.9 e 6.10.



Figura 6.9 - Cadeira manual (ICPI, 2005).



Figura 6.10 - Cadeira elétrica (ICPI, 2005).

A conclusão mostra e confirma a compatibilidade entre cadeiras de roda e pavimentos intertravados, conforme se observa pelo exposto na Tabela 6.6 valores de exposição – ou uso contínuo do cadeirante – ou de rolamento sobre uma superfície, sem paradas, está dentro dos limites permitidos pelo *Health Guidance Caution Zone*, conforme afirmado no *Interlocking Concrete Pavement Magazine*, agosto de 2005.

Tabela 6.6 – Tempo de exposição contínua do cadeirante (ICPI, 2005).

Superfície	Material, chanfro, medida e ângulo.	Cadeira de roda manual	Cadeira de roda elétrica	
		Tempo limite de exposição, até 1 m/s	Tempo limite de exposição, até 1 m/s	Tempo limite de exposição, até 2 m/s
1	Concreto	6,77	11,62	1,26
2	Peça de concreto, 0 mm, 90°	13,38	24,31	4,72
3	Peça de concreto, 2 mm, 90°	8,53	16,40	3,14
4	Peça de concreto, 8 mm, 90°	2,34	2,43	2,31
5	Cerâmica, 4 mm, 45°	6,38	15,98	2,52
6	Cerâmica, 0 mm, 45°	6,00	12,82	2,03
7	Peça de concreto, 6 mm, 90°	4,32	4,81	3,49
8	Peça de concreto, 6 mm, 45°	2,46	12,57	2,66
9	Peça de concreto, 4 mm, 90°	6,52	11,16	4,44

#### 6.1.4 Sintropia e Entropia

As diretrizes reinantes para o desenvolvimento da pavimentação seguem caminhos notáveis, como num processo gravitacional, atreladas ao fácil duto da entropia (medida da disponibilidade da energia, a qual afirma que toda energia de um sistema isolado passa de um estado ordenado para um desordenado). Haja vista a fartura da matéria-prima mais utilizada e seus desmembramentos quanto ao gasto de energia e ao custo sócio-ambiental. Trata-se de ilhas de sintropia positiva que são facilmente acessíveis e, assim, exploradas pelo homem. O petróleo, encontrado em jazidas, é um componente material de um sistema numa ilha de sintropia positiva, o qual não se mistura de maneira indistinguível, mas está ordenadamente separado e, portanto, é facilmente identificável e passível de gerar trabalho para o processo econômico.

A adoção de sistemas de pavimentação que permitam despender menos energia, tanto na obtenção de matérias-primas que constituem o pavimento,

quanto na construção e na utilização do produto final, tem apelo de caráter ecológico e tangencia a inatingível assíntota da sustentabilidade.

No que se refere à obtenção da matéria-prima – no caso dos pavimentos intertravados, o cimento portland – tem um custo ecológico menor em função de se processar materiais abundantes na natureza que, quando tratados cuidadosamente, podem agredir de forma menos intensa e definitiva o local de sintropia positiva – tratamento e reflorestamento de jazidas e vizinhanças. O que não acontece numa exploração de petróleo.

Na fabricação do material mais nobre que constitui a peça dos pavimentos intertravados tem-se notada diferença no consumo de energia para seu conseguinto em relação ao que é mais usado atualmente: o asfalto.

Esteticamente mais agradável e, dessa forma, colaborador com a sinergia local do bem-estar, parâmetro que deveria ser essencial nas concepções arquitetônicas e de engenharia.

Os pavimentos intertravados apresentam maior conforto térmico, quando comparados aos pavimentos asfálticos (ABCP,2004). Na Figura 6.11 está apresentada a medição realizada por Idário Domigues em Ribeirão Preto/Agosto de 2001, a distância entre os pontos de medição foi de apenas 100 metros.



Figura 6.11 - Medição realizada por Idário Domigues em Ribeirão Preto/Ago 2001 (ABCP, 2004)

Ainda, cabe salientar que medições e conseqüente quantificação de certas características cancelam sua eficácia, como é o caso de quando proporcionam economia de energia elétrica – além de maior visibilidade e segurança, permitem até 30% a mais de reflexão de luz (STARK, 1986). As Figuras 6.12 e 6.13 apresentam pavimentos intertravados proporcionando economia de energia elétrica, além de maior visibilidade e segurança.



Figura 6.12 - Economia de energia elétrica proporcionada pelos pavimentos intertravados (ABCP, 2004)



Figura 6.13 - Economia de energia elétrica proporcionada pelos pavimentos intertravados. (ABCP, 2004)

Na Tabela 6.7 estão apresentados fatores de luminância dos PI de diversas cores. Segundo ABCP (2004) em superfícies asfálticos este fator é apenas 0,07.

Tabela 6.7 - Fator de luminância (ABCP, 2004).

<b>COR BLOCO</b>	<b>LUZ DO DIA</b>	<b>ARTIFICIAL</b>
Cinza escuro	0,15	0,14
Cinza claro	0,18	0,16
Marrom escuro	0,18	0,16
Marrom claro	0,29	0,27
Vermelho claro	0,18	0,16
Amarelo	0,29	0,27
Natural	0,23	0,23
Terracota	0,24	0,22

Alguns estudos como de PACE E BECKER (1999), avaliaram, em condições semelhantes, a energia empregada na iluminação de bairros constituídos de pavimentos de asfalto e os à base de cimento, certificaram-se da excelência

desse último – pavimentos intertravado, por exemplo. São dados mensurados e respectivas conclusões: Quarteirões com 100 m de lado; Ruas de 9 m de largura; Iluminação 11 horas por dia; Custo de energia de US\$ 0,20/kWh.

ASFALTO	CONCRETO	
5,35 kWh/m <sup>2</sup> → US\$ 1,07/m <sup>2</sup>	3,35 kWh/m <sup>2</sup> → US\$ 0,67/m <sup>2</sup>	Relação A/C > 60%

Acredita-se que essas considerações sejam relevantes e permitam a premissa para futuras concepções de pavimentos urbanos: Pavimento intertravado: uma questão de sintropia positiva tomada como iniciativa para a minoração da entropia social.

Sob condições climáticas severas – altas temperaturas e altos índices pluviométricos –, a operação dos pavimentos nas áreas urbanas e industriais deve causar preocupações adicionais aos órgãos públicos e à iniciativa privada. Tais questões quando devidamente analisadas conduzem, geralmente, à adoção dessa alternativa tão atraente que é o pavimento intertravado, visto que atende às solicitações técnicas e proporciona a obtenção de um ponto de equilíbrio custo/benefício muito favorável.

## **6.2 Dados para Composição de Custo Comparativo e Análise de Viabilidade**

De acordo com ABCP (1999a) o orçamento de um pavimento de blocos de concreto consiste de quatro etapas:

- Descrição da obra e indicação das espessuras do projeto do pavimento.
- Definição dos recursos humanos e dos seus rendimentos.
- Cálculo do consumo de materiais.
- Cálculo dos custos unitários e totais.

Estas etapas serão descritas a seguir.

### 1ª: Descrição da obra e indicação das espessuras do projeto de pavimento

Tipo de obra: (rua, rodovia, estacionamento, passeio etc.)

Comprimento do pavimento (C)	C = _____ (m)
Largura do pavimento (L)	L = _____ (m)
Área do pavimento (A) = C x L	A = _____ (m <sup>2</sup> )
Número de blocos por m <sup>2</sup> (N <sup>(1)</sup> )	N = _____ (un)
Total de blocos (Na) = N x A x 1,05 <sup>(2)</sup>	Na = _____ (un)
Espessura da base granular (Ebg)	Ebg= _____ (m)
Espessura da base de solo-cimento (Ebs)	Ebs= _____ (m)

### 2ª: Definição dos recursos humanos e dos seus rendimentos

Número de colocadores (Nm)	Nm = _____
Número de auxiliares (No)	No = _____
Tamanho da equipe (Tc) = Nm + No <sup>(3)</sup>	Tc = _____
Rendimento da base (Rb)	Rb = _____
Rendimento do confinamento (Rc)	Rc = _____
Rendimento da colocação (Ra)	Ra = _____

### 3ª: Cálculo do consumo de materiais

a) Camada de rolamento

Área de blocos (a)	a = _____ (m <sup>2</sup> )
Total de blocos (Na)	Na = _____ (un)
Vol. areia para camada (Vac) = a x 0,05m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> <sup>(4)</sup>	Vac = _____ (m <sup>3</sup> )
Vol. areia para rejunte (Vas) = a x 0,0035 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> <sup>(4)</sup>	Vas = _____ (m <sup>3</sup> )

<sup>(1)</sup> O número de blocos por metro quadrado depende do tamanho deles. Para blocos de 10x20, n= 50.

<sup>(2)</sup> Para uma via de 6 m de largura, calcula-se uma perda de 3% por ajuste, mais 2% por peças defeituosas. Quanto mais estreita for a via, maior será o desperdício, que poderá chegar até 20% em passeios de 1 m de largura. É recomendável fixar a largura para minimizar as perdas de blocos por corte para ajuste.

<sup>(3)</sup> Além dos auxiliares também devem ser incluídos os salários da direção e fiscalização da obra.

<sup>(4)</sup> Deve acrescentar-se 25% para cobrir perdas por manipulação.

b) Base de solo-cimento (sc) (Valores para estimativa. As quantidades dependem do traço)

$$\text{Vol. base solo-cim. (Vbs)} = C \times (L + 0,5) \times Ebs \text{ }^{(5)} \quad Vbs = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Número de áreas de sc (Nts)} = Vbs / (0,375) \quad Nts = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (un)}$$

$$\text{kg de cimento para base de sc (kcbs)} = Nts \times 50 \quad kcbs = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (kg)}$$

$$\text{Litros de água para base sc (labs)} = Nts \times 25 \quad labs = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (l)}$$

c) Base granular

$$\text{Vol. base granular (Vbg)} = C \times (L + 0,5) \times Ebg \times 1,10 \text{ }^{(6)} \quad Vbg = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (m}^3\text{)}$$

### 3.4 Confinamento

$$\text{Comprimento de confinamento lateral (Lc)} = L \times 2 \text{ }^{(7)} \quad Lc = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (m)}$$

Os rendimentos de obra indicados na 2ª etapa devem corresponder a valores reais da prática que correspondam a serviços executados em condições similares aos da obra em questão. Caso estes não estiverem disponíveis, consultar outros serviços semelhantes e compará-los posteriormente com os obtidos.

### 4ª: Custos unitários e totais. Exemplo

Deve-se construir 250 m de pavimento de blocos de concreto numa via de 6 m de largura com guias em ambas laterais, utilizando blocos de 10 x 20 x 8 cm (50 unidades por m<sup>2</sup>), sobre 25 cm de base de solo-cimento. Para o serviço dispõe-se de um colocador e 4 serventes os quais podem construir (em 8 horas/dia) R<sub>b</sub> = 150 m<sup>2</sup> de base, R<sub>c</sub> = 16 m de guia, R<sub>a</sub> = 150 m<sup>2</sup> de colocação de blocos (incluindo as areias e a compactação). As ferramentas foram

<sup>(5)</sup> Deve-se considerar a base 25 cm mais larga que a plataforma, em cada lado.

<sup>(6)</sup> Considera-se que a espessura em estado solto corresponda a 10% a mais. Na base de solo-cimento este excesso de espessura se inclui no cimento.

<sup>(7)</sup> Numa determinada obra se pode ter diferentes tipos de confinamentos e, conseqüentemente, no item 3.4 é necessário abrir mais itens para discriminar o comprimento de cada um deles.

compradas por um preço global e os transportes, carrinhos de mão, cortadora de blocos e a vibrocompactadora foram alugados.

a) Cálculos das quantidades unitárias.

- Blocos:

$$L = 6\text{m}; C = 250\text{m}; A = 6 \times 250 = 1500 \text{ m}^2;$$

$$N_a = 1500 \times 50 \times 1,05 = 78.750 \text{ blocos.}$$

- Areias:

$$V_{ac} = 1500 \times 0,05 = 75 \text{ m}^3 \text{ de areia grossa;}$$

$$V_{as} = 1500 \times 0,035 = 11,25 \text{ m}^3 \text{ de areia fina.}$$

- Base solo-cimento:

$$E_{bs} = 25\text{cm (0,25m);}$$

$$V_{bs} = 250 \times (6 + 0,5) \times 0,25\text{m} = 406,25\text{m}^3 \text{ de solo.}$$

$$N_{ts} = 406,25 / (0,375)1084 \text{ áreas;}$$

$$k_{cbs} = 1084 \times 50 = 54.200 \text{ kg de cimento ou } 1084 \text{ sacos de } 50 \text{ kg;}$$

$$l_{abs} \times 25 = 27.100 \text{ litros de água} = 27,1 \text{ m}^3.$$

- Mão-de-obra:

$$N_m = 1; N_o = 4; T_c = 1 + 4 \text{ operários.}$$

Construção da base: numa jornada se colocam  $150 \text{ m}^2/\text{d}/6\text{m} = 25\text{m}$  de via/d de base o que demora  $250/25 = 5$  dias.

- Confinamento:

Como se confinam ambos lados se executam  $L_c = 250 \times 2 = 500 \text{ m}$  de guias que demoram  $500/16 = 31,25$  dias, ou seja 32 dias.

- Colocação dos blocos:

A colocação dos blocos se executa em  $1500 \text{ m}^2 / 150 \text{ m}^2/\text{d} = 10$  dias.

A equipe de 5 operários demora  $5 + 32 + 10 = 47$  dias úteis (divididos por 6 são 8 semanas ou 2 meses de pagamento de salário) e 56 dias para o aluguel do equipamento.

- Ferramentas:

O seu uso é variável ao longo da obra.

- Equipamento:

O trabalho líquido da vibrocompactadora é de 5 dias no início e 10 dias no final mais um domingo, ou seja  $5 + 11 = 16$  dias. No entanto é mais conveniente mantê-la durante os 47 dias.

- Cortadora:

Se requer durante os 11 dias da colocação, igual que os carrinhos de mão. Os veículos se utilizam durante toda a duração da obra.

b) Cálculo dos custos.

Nas colunas "Quantidade" e "Tempo" da Tabela 6.8 se introduzem os dados do exemplo. Os de "Custos Unitários" se preenche com os valores que se tem para a obra. A de "Subtotais" é calculada multiplicando os dados da coluna anterior (2 ou 3 segundo o caso). Os dados desta coluna se somam e obtém-se o "Custo Total" do pavimento. Em outras obras os custos podem ser diferentes dos indicados neste exemplo.

Tabela 6.8 - Formato para o cálculo do custo de um pavimento de blocos pré-moldados de concreto (ABCP, 1999a).

	QUANTIDADE	TEMPO	CUSTO UNITÁRIO	SUBTOTAL
MATERIAIS				
RODAGEM				
Blocos = Na	78.750			
Areia = Vac	75			
Areia = Vas	11,25			
BASE DE SC				
Solo = Vbs	406.25			
Cimento = kcbs	54.200			
Água	11,25			
CONFINAMENTO				
Guia	500			
EQUIPAMENTO				
Carrinhos	21	1d		
Veículos	2	56d		
Cortadora	1	11d		
Vibrocompactadora	1	16d		
FERRAMENTAS				
Ferramentas diversas				
MÃO-DE-OBRA				
Diretor	1	2m		
Colocador	1	2m		
Serventes	4	2m		
TOTAL				

### 6.3 Considerações sobre o Mercado, as Normas e o Ambiente

Considera-se que para a ABNT, NB 9000, qualidade não significa apenas o atendimento de especificações técnicas, mas antes de mais nada, a satisfação das necessidades dos usuários e clientes, sejam elas conscientes ou não.

KLATT (1987) considera que os cimentos embora atendam as normas técnicas em vigor, não implicam que sejam os únicos recursos adequados nas diversas situações de que necessitamos de aglomerantes hidráulicos, ainda mais quando pensamos na redução de custos.

Esta reflexão vem ao encontro dos anseios das classes economicamente desfavorecidas, como também é de interesse dos governos de países pobres, como também daqueles outros com uma visão social.

ABI-ACKEL (2009) sugere que o mercado seja abastecido com cimentos de menor resistência mecânica e conseqüente redução de custo, que estejam em conformidade com os trabalhos de assentamento de blocos, revestimentos, como também de pequenos pré-fabricados.

Ainda, a observação do panorama atual sobre os materiais, como também o uso de ferramentas de controle de qualidade e a observação do mercado, possibilita a idealização de produtos para nichos específicos.

Segundo ABI-ACKEL (2009), os concretos atuais são usados com resistência mecânica maiores que aqueles de décadas atrás. É também associada a propriedade de resistência mecânica à durabilidade do produto à base de cimento Portland. Contudo o aumento de resistência para melhor durabilidade implica na elevação do custo do concreto.

Pelo exposto o Autor sugere que se contribua para o esforço internacional de otimizar o consumo de matérias-primas reduzindo o consumo de matérias, que

de uma maneira geral, possam contribuir com a emissão de dióxido de carbono. E, ainda, sugere modificações normativas que possibilitem, de forma indireta, promover o almejo do mercado e adequação às condições sócio-econômicas reais do País.

## 7 CONCLUSÕES

A situação atual quanto à normalização relativa a pavimento intertravado é preocupante, uma vez que a falta de diretrizes para determinados procedimentos de engenharia produz, invariavelmente, o descompasso do progresso e uma possível estagnação de um processo. Pois, uma breve análise do material aqui exposto permite verificar a variedade de procedimentos que estão envolvendo o pavimento intertravado.

As normas vigentes não contemplam, sequer, o termo pavimento intertravado, quiçá aborda de maneira clara as características de peças que realmente se constituem em componente do pavimento que promova sua propriedade fundamental que é o intertravamento.

Percebe-se a necessidade de maior abertura quanto às especificações sobre resistência mecânica, ou mesmo, a necessidade de adequação de verificação de propriedades complementares, como, por exemplo, desgaste por abrasão. Propriedade que, uma vez avaliada, proporcionaria aplicações mais amplas com exigências adequadas, como se poderia verificar no caso de vias de periferia nas cidades.

A devida concordância com critérios mais amplos – sobre resistência mecânica, por exemplo – poderia culminar em usos mais diversificados e melhor aproveitamento de energias, tanto na confecção das peças pré-moldadas de concreto, quanto quando de sua utilização, por permitir maior conforto a um menor custo com condicionamentos de temperatura.

Certas aplicações – como o estudo de caso realizado – dão conta de que há, de forma indubitável, a possibilidades de atendimento a durabilidades esperadas em projetos mais modestos e perfeitamente viáveis para condições especiais, como no caso de ruas de baixo tráfego.

Finalmente, propõe-se, aqui, o desenvolvimento do tema sob a forma científica

para constatação das idéias apresentadas que, por sua vez, culminam na formulação de nova norma técnica em âmbito nacional. Pretendeu-se contribuir na formação de argumentos para novos estudos, mas de forma alguma, como já mencionado, esgotar esse assunto tão vasto e tão necessário ao desenvolvimento da pavimentação nacional.

## 8 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AASHTO (1993). *“AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”*, Washington, D.C.

ABCP (1999a) *“BT-135. Construção de Pavimentos de Blocos de Concreto”*. 4ª Edição. São Paulo – SP, Brasil, 40p.

ABCP (1999b) *“ET-27. Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto”*. 4ª Edição. São Paulo – SP.

ABCP (2004) *“Pavimentação: Execução peça a peça”*. PIV 01-V3, Versão 3.0, Setembro 2004.

ABI-ACKEL, E.; GODINHO, D. P.; GROSSI, L. C.; VIEIRA, J. M. F. S. (2000). *“O Pavimento Intertravado de Brumadinho/Mg”*. Anais da 10ª Reunião de Pavimentação Urbana da ABPv, Uberlândia, Agosto 2000, 20p.

ABI-ACKEL, EDMUNDO (2009). *“Uso dos resíduos da Construção Civil para a produção de pavimento intertravado a base de Concreto de Cimento Portland e Escória”*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, EE-UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

ABNT - *NBR 9000 - “Normas de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade.”*

ABNT (1987a) *“NBR 9780 - Peças de concreto para pavimentação. Método de Ensaio”*.

ABNT (1987b) *“NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação”*.

ABPv (1999). *“Informativo técnico sobre avaliação da resistência a derrapagem através de aparelhagem portátil”*. Boletim Técnico nº18. Associação Brasileira de Pavimentação ABPv. Rio de Janeiro – RJ.

ÁFRICA DO SUL (1987). *“National Institute for Transport and Road Research”*. Structural design of segmental block pavements for Southern Africa. Pretória, Urban Transport Guidelines.

ASTM C 140 (2002), *“Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units Related Units.”* Conshohocken, Pennsylvania, USA.

\_\_\_\_\_. ASTM C 144 (2002) *“Standard Specification for Aggregate Masonry Mortar”*, Conshohocken, Pennsylvania, USA.

\_\_\_\_\_. ASTM C 936 (1996) *“Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units”*, Conshohocken, Pennsylvania, USA.

BALADO, GARCIA J.F. (1965). *“Pavimento con bloques articulados de hormigón”*. In: CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO, 5., Buenos Aires, Proceedings. s.n.t.

BEATY, A.N.S. ; RAYMOND, G.P. (1995) *“Concrete block road paving”*. Concrete International, Michigan, v.17, n.5, p.36-41, May 1995.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2007). *“Pavimentação Asfáltica”*. Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro.

BITTENCOURT, E. R. (1958). *“Caminhos e Estradas na Geografia dos Transportes”*. Editora Rodovia, Rio de Janeiro.

BRICKA, Sistemas Construtivos, “*Manual da Pavimentação*”. Disponível em: <[www.bricka.com.br/downloads/pavers.pdf](http://www.bricka.com.br/downloads/pavers.pdf)>. Acesso em: 16 dezembro 2008.

BROWN, E. R.; HAININ, M. R.; COOLEY, A.; HURLEY, G. (2004) “*Relationship of Air Voids, Lift Thickness, and Permeability in Hot Mix Asphalt Pavements*”. NCHRP Report 531. National Cooperative Highway Research Program, TRB. Auburn, Alabama – USA

BURAK, ROB (2002). “*Bedding Sand for Segmental Concrete Pavements*”, Interlocking Concrete Pavement Magazine, Vol. 9, No. 9, August, pp. 12-16.

CARNEIRO, F. L. (1943). “*Um Novo Método para Determinação da Resistência à Tração dos Concretos*”. Comunicação, 5. Reunião Associação Brasileira de Normas Técnicas, Publ. Inst. Nac. Tecnol., Rio De Janeiro.

CARVALHO, M.D. (1998). “*Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto*.” 4ª ed. São Paulo, ABCP, 32p.

CLARK, A.J. (1981). “*Further investigation into the load-spreading of concrete block paving*”. Wexham Springs, Cement and Concrete Association (Publication 42.545).

CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA(1988) “*Specification for concrete segmental paving units: physical properties*”. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Roma. Proceedings. Treviso, Pavitalia, 1988. p.19-26.

COOK, I. D., KNAPTON, J., (1996). “*A Design Method for Lightly Trafficked and Pedestrian Pavements*”, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 339-348, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

COOLEY, L. A. (1999). “*Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters*”. NCAT Report No. 99-1. Auburn, Alabama – USA.

CRUZ, LUIZ OTÁVIO MAIA (2003). “*Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento.*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE , Rio de Janeiro, Brasil, 281 p.,

DECRAMER, H., Hendrikx, L., Onderbeke, A., (1992), “*Standards and Specifications for the Application of Concrete Paving Blocks in Belgium*”, Fourth International concrete Block Paving Conference, Vol. 2, pp. 319-32889, Auckland, February 1992.

DOWSON, A.J. (1998a). “*Paved surfaces and the importance of correct materials specification and detailing*”. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Cartagena de Índias, 1998. Pave Colômbia 98: proceedings. Medellín, Instituto Colombiano de Productores de Cemento. p. 34.1 – 34.9.

\_\_\_\_\_. (1998b) “*Investigation and evaluation of test methods for sands for laying course*”. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Cartagena de Índias, 1998. Pave Colômbia 98: proceedings. Medellín, Instituto Colombiano de Productores de Cemento. p. 35.1 – 35.5.

EUROADOQUIN (1997), Associação Espanhola de PPC, “*Manual Técnico*”, Disponível em <<http://www.euroadoquin.org/euroadoquin/>>. Acesso em 26/02/09.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION CEN/TC 178, EN1338 N204E (1996). “*Concrete Paving Blocks, Requirements and Test Methods*”, Brussels, Belgium.

FUNTAC (1999). *“Relatório Técnico – Setor Cerâmico do Vale do Acre”*. Rio Branco - Ac

GLOBO, (1995). *“A Origem de Roma”*, Atlas da História Universal – The Times, Editora O Globo, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 60-62.

HADE, J. D.; SMITH, D.R. (1988). *“Permeability of Concrete Block Pavements”*. 3rd International Concrete Block Paving Conference, Rome - Italia

HALLACK, ABDO, (1998). *“Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais”*, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, 116 p.

HALLACK, ABDO (2001). *“Pavimento Intertravado: uma solução universal”*, Revista Prisma, Dezembro 2001, pp 25-27;

HENDRIKX, L. et al. (1996). *“The behavior of concrete block pavements under heavy traffic conditions in Belgium”*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 5., Tel Aviv. Pave Israel 96: proceedings. Ramat-gan, Dan Knassim, s.d. p.279-91.

HOUBEN, L.J.M. et al. (1984) *“Analysis and design of concrete block pavements”*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 2., Delft, Bélgica. Proceedings. s.n.t. p.86-99.

HUURMAN, M. (1996a). *“Resilient behavior of concrete block pavements and the granular materials used in the substructure”*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 5., Tel Aviv. Pave Israel 96: proceedings. Ramat-gan, Dan Knassim, s.d.(a) p. 239-51.

\_\_\_\_\_. (1996b) "*Rut development in concrete block pavements due to permanent strain in the substructure*". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 5., Tel Aviv. Pave Israel 96: proceedings. Ramat-gan, Dan Knassim, s.d.(b) p. 293-314.

\_\_\_\_\_. (1996c) "*Structural design of concrete block pavements based on transversal and longitudinal unevenness*". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 5., Tel Aviv. Pave Israel 96: proceedings. Ramat-gan, Dan Knassim, s.d.(c) p. 349-64.

IMAGENS - VIAGENS - PARATY. Disponível em <[http://www.imagensviagens.com/br5\\_paraty.htm](http://www.imagensviagens.com/br5_paraty.htm)>. Acesso em 10 de março 2009.

IMAI, H.; TSUKADA, T.; TAKAHASHI, K. (2003). "*Evaluation of Performance of Permeable Interlocking Blocks Pavements*". 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City – África do Sul.

INGLATERRA. Department of the Environment. Road Research Laboratory. (1970). "*A guide to the structural design of pavements for new roads*". 3.ed. London, Her Majesty's Stationery Office. (Road Note 29).

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE (ICPI), Tech Spec. N° 1, (2002). "*Glossary of terms Used in the Production, Design, Construction and Testing of Interlocking Concrete Pavement*", Washington, USA.

\_\_\_\_\_. Tech Spec. N° 10, (2002), "*Application Guide for Interlocking Concrete Pavements*", Washington, USA.

\_\_\_\_\_. Tech Spec. N° 11, (2002), "*Mechanical Installation of Interlocking Concrete Pavements*", Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec. N° 13, (2002), “*Slip and Skid Resistance of Interlocking Concrete Pavements*”, Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec. N° 2, (2002), “*Construction of Interlocking Concrete Pavements*”, Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec. N° 3, (2002), “*Edge Restraints for Interlocking Concrete Pavements*”, Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec. N° 4, (2002), “*Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots*”, Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec. N° 6, (2002), “*Reisntatement of Interlocking Concrete Pavements*”, Washington, USA.

\_\_\_\_Tech Spec., (2005), “*Study Confirms Wheelchair Compatible Pavers*”, Washington, USA, August 2005

ITO, N.; YAZAW, S.; ARAI, S. (2000) “*Follow-up Survey of Permeable Interlocking Blocks Applied to the Roadway in Cold, Snowy Areas.*” 6th International Conference on Concrete Block Paving, Tokyo – Japan.

JAMES, W.; von LANGSDORFF, H. (2003). “*The Use of Permeable Concrete Block Pavements in Controlling Environmental Stressors in Urban Areas*”. 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City – África do Sul.

KARASAWA, A.; SUDA, S. (1996). “*Characteristics of New Type Permeable Concrete Block Paving System*”. 5th International Concrete Block Paving Conference, Tel-Aviv – Israel.

KLATT,H. (1987) “*New technology for building materials to satisfy low-cost housing purposes*”. World Cement.

KNAPTON, J., (1996) *"Romans and their Roads – The Original Small Element Pavement Technologists"*, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 17-52, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

\_\_\_\_\_. (1976) *"The design of concrete block roads"*. Wexham Springs, Cement and Concrete Association. (Technical Report 42.515).

\_\_\_\_\_. (1988) *"The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries."* 2.ed. London, British Ports Association.

\_\_\_\_\_. (1985) *"The structural design of heavy industrial pavements. Proceedings of the Institution of Civil Engineers."* v. 77, Part 1, p 179-94, Feb. 1985.

\_\_\_\_\_. (1994) *"Report on the Second International Workshop on Concrete Block Paving"* Oslo. s.n.t. p. 116-20

\_\_\_\_\_. (1996) *"The Civil Aviation Authority Recommendations for the use of pavers on Aircraft Pavements"*, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 493-499, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

\_\_\_\_\_. (1996). *"The Civil Aviation Authority Recommendations for the use of pavers on Aircraft Pavements"*, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 493-499, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

\_\_\_\_\_; ALGIN., H. M., (1996). *"The Mathematical solution to Interlocking in Concrete Block Paving"*, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 261-279, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

\_\_\_\_; \_\_\_\_ (1998). *“Research into structural performance of interlocking concrete pavements”*. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Cartagena de Índias, 1998. Pave Colômbia 98: proceedings. Medellín, Instituto Colombiano de Productores de Cemento. p. 31.1 – 31.11.

\_\_\_\_; BARBER, S.D. (1979). *“Concrete block paving in UK”*. In: SYMPOSIUM ON PRECAST CONCRETE PAVING BLOCK, Johannesburg, 1979. Proceedings. s.l., Concrete Society of Southern Africa Concrete Masonry Association, s.d.

\_\_\_\_ ; \_\_\_\_ (1979) *“The behavior of a concrete block pavement. Proceedings of the Institution of Civil Engineers”*, v. 66, Part 1, p. 277-92, May 1979.

\_\_\_\_ ; BULLEN, F. (1996) *“Background to the Third Edition of the British Ports Association Heavy Duty Pavement Design Manual”*, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 433-449, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

\_\_\_\_ ; COOK, I.D. (1992). *“Methods for clay and concrete block paving”*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 4., Auckland. Pave New Zeland’92: proceedings. Porirua, Pave New Zeland’92, s.d. v. 1, p. 27-50.

\_\_\_\_ ; \_\_\_\_ (2000). *“Permeable paving for a new container handling area at Santos Container Port, Brazil”*. 6th International Conference on Concrete Block Paving, Tokyo – Japan.

\_\_\_\_; JOHN, (1997) *“Port and Industrial Pavement Design with Concrete Pavers”*, Second Edition, ICPI, Washington, USA, 116 pp.

\_\_\_\_ ; MELETIOU, M. (1996) .”*The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries*”. 3.ed. Leicester, British Precast Concrete Federation.

LEENDERS, P. (1988). “*The water porosity of a concrete block pavement and the use of waste materials in paving blocks*”. 3rd International Concrete Block Paving Conference, Rome - Italia

LILLEY, A.A. (1991). “*Structural pavement design*”. In: \_\_\_\_ . A handbook of segmental paving. London, Chapman & Hall. p. 115-42

\_\_\_\_ . (1980) “*A review of concrete block paving in U.K. over the last five years*”. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 1., University of Newcastle-upon-Tyne, 1980. Proceedings. Amersham , CPP Book Sales. p. 40-4.

\_\_\_\_ ; CLARK, A.J. (1978). “*Concrete block paving for lightly trafficked roads and paved areas*”. Wexham Springs, Cement and Concrete Association. (Publication 46.024).

\_\_\_\_ ; PHIL, M. (1988) “*Laying course sand for concrete block paving*”. n: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Roma Proceedings. Treviso, Pavitalia. p. 457-62.

\_\_\_\_ ; WALKER, B.W. (1978). “*Concrete block paving for heavily trafficked areas*”. Wexham Springs, Cement and Concrete Association.(Publication 46.023).

\_\_\_\_ ; et al. (1992). “*Adoquines de concreto.*” México, D.F., IMCYC.

LIRA, J.B. (1984). “*Pavimentos de adoquines : manual de diseño y construcción*”. Santiago, Instituto Chileno del Cemento y el Hormingón.

MADRID, G. G., (2004). *“Acredite: rodovias com intertravados já são realidade”*. Revista Prisma. Ed. nº 10.

\_\_\_\_\_. (2005). *“Pavimento Intertravado: mais ou menos permeável?”*. Revista Prisma Ed. nº 14.

MADRID, G. G.; GIRALDO E. A.; GONZÁLES, G.A. (2003). *“Wather Infiltration Through Concrete Block Pavements up to 26 Year Old”*. 7th International Conference on Concrete Block Paving. Sun Cty - Africa do Sul

MADRID MESA, G.G. (1985). *“Ventajas y aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto.”* Medellin, Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 1985.

\_\_\_\_\_; LONDOÑO N., C.A. (1986) *“ Construcción, mantenimiento y reparación de pavimentos de adoquines de concreto.”* Medellin, Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

MALYSZ, R.; NÚÑEZ, W. P.; GEHLING, W. Y. Y.; CERATTI, J. A.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L.; DAU, F.; ARROJO, A. (2003). *“Pavimentos Permeáveis: Uma Alternativa para o Controle do Escoamento Superficial de Águas Pluviais em Vias Urbanas”*. 12a. RPU, Aracaju - SE.

MELETIOU, M.; KNAPTON, J. *“Container terminal pavement management”*. s.L., UNCTAD/IAPH, s.d. (Monograph n.5).

MOTTA, L. M. G (2005). *“Comunicação Pessoal”*. Rio de Janeiro – RJ.

MORRISH, C.F. (1979) . *“Interlocking paving:a state-of-the-art review.”* In: SYMPOSIUM ON PRECAST CONCRETE PAVING BLOCK, Johannesburg, 1979. Proceedings. s.l., Concrete Society of Southern Africa Concrete Masonry Association, s.d.

MULLER, R. M. (2005). *“Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto”*. Dissertação de Mestrado, Sc. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro

NASCIMENTO, R. R. (2005). *“Utilização de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o estado do Acre”*. Tese M. Sc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro – RJ.

PACE E BECKER (1999). *“Costo de Pavimentos a lo Largo de su Vida Útil”* Buenos Aires.

PARATY TOURS. Disponível em <<http://www.paratytours.com.br>>. Acesso em 10 de março 2009.

PAVINORT, PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA. *“Paviverde”* Disponível em <[http://pavifort.net/produtos\\_paviverde.htm#](http://pavifort.net/produtos_paviverde.htm#)>. Acesso em 10 de março 2009.

PEREIRA, A.T. (1977). *“Procedures for development of CBR design curves.”* Vicksburg, USAE Waterway Exp. St., 1977. (IR S-77-1).

PINTO, C. de S (2002). *“Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas”*. 2a. Edição. Oficina de Textos, São Paulo – SP.

PITTA, M. R. (1998). *“ET-29. Projeto de sub-bases para pavimentos de concreto”*. 6a. revisão, ABCP, São Paulo – SP, setembro 1998.

QVIST, P. S.; KIRK, J. S. (1996). *“Infiltration Water Through Concrete Block Pavements”*. 5th International Concrete Block Paving Conference, Tel-Aviv – Israel.

RADA, G.R. et al. (1990). "*Structural design of concrete block pavements*". Journal of Transportation Engineering, ASCE, New York, v.116, n. 5, p. 615-35, Sep./Oct..

ROLLINGS, R.S. (1984). "*Corps of engineers design method for concrete block pavements*". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 2., Delft,. Proceedings. s.n.t. p. 147-51.

\_\_\_\_\_ et al. Evaluation of thickness design concepts for block pavements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 4., Auckland, 1992. Pave New Zeland'92: proceedings. Porirua, Pave New Zeland'92, s.d. v. 1, p. 61-70.

SAUNIER, B.; C. DOLFUS e G. GEFFROY (1936). "*Historie de La Locomotion Terrestre*", v. II, Paris.

SHACKEL, B. (1979). "*A pilot study of the performance of block paving under traffic using a heavy vehicle simulator*". In: SYMPOSIUM ON PRECAST CONCRETE PAVING BLOCK, Johannesburg. Proceedings. s.l., Concrete Society of Southern Africa Concrete Masonry Association, s.d.

\_\_\_\_\_. (1981). "*The design of interlocking concrete block pavements for road traffic*". Precast Concrete, London, p. 311-24, Jul 1981.

\_\_\_\_\_. (1990). "*Design and construction of interlocking concrete block pavements*". London, Elsevier.

\_\_\_\_\_. (1984) "*The analysis and design of concrete block paving subject to road traffic and heavy industrial loading*". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 2., Delft. Proceedings. s.n.t. p.139-45.

\_\_\_\_\_. (1988) *“The evolution and application of mechanistic design procedures for concrete block pavements.”* In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Roma. Proceedings. Treviso, Pavitalia. p.114-20.

\_\_\_\_\_; CANDY, C.C.E. (1988). *“Factors influencing the choice of concrete blocks as a pavement surface”*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE BLOCK PAVING, 3., Roma. Proceedings. Treviso, Pavitalia, 1988. p.78-84.

SMITH, D. R., (1992). *“The Institutionalization of Concrete Block Pavements in North America”*, Fourth International concrete Block Paving Conference, Vol. 2, pp. 355-359, Auckland, February 1992.

SMITH, D. R., (2000). *“Recent Skid Resistance Evaluations of Concrete Block Paving in North America”*, Sixth International Concrete Block Paving Conference, pp. 473-482, Tokyo, Japan, September, 2000.

SMITH, D. R., (2003). *“Grand Entrances”*, Interlocking Concrete Pavement Magazine, Vol. 10, Number 2, pp.4, May 2003.

STARK, RICHARD E. (1986). *“Road Surfaces Reflectance Influences Lighting Desig, Lighting Design and Application”*, Portland Cement Association RP269, Skokie, Illinois, 1986, 7 pages. Reprinted with permission from *Lighting Design+ Application*, April 1986.

THOMAZ, EDUARDO C. S., “Notas de aulas”. Disponível em: <[http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/comp\\_diametral.pdf](http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/comp_diametral.pdf)>. Acesso em: 17 dezembro 2008.

VALLÈS, MICHEL, (1997). *“Abrasion Test for Precast Concrete Paving Products”*, Materilas and Strucutures/Matériaux et Constructions, RILEM,V. 30, December 1997, pp 631- 633

VAN DER VRING J. J. M., (1992). *“Harmonizing the National Standards for Concrete Blocks, Flags and Kerbs in Europe”*, Fourth International Concrete Block Paving Conference, Vol. 2, pp. 329-344, Auckland, February 1992.

## 9 ANEXOS

### ANEXO 1 - Ensaios FEA-FUMEC - Faculdade de Engenharia e Arquitetura



REL.: 0164 D/00 (2/3)

#### 1 - INTRODUÇÃO:

O presente trabalho objetiva determinar a resistência à compressão em bloquetes para pavimentação.

#### 2 - CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL:

- 2.1 - Bloquetes para pavimentação tipo Pavi-S
- 2.2 - Proccidência: Brumadinho/MG - 2.ª remessa
- 2.3 - Data da fabricação: 10/03/00

#### 3 - RESULTADOS:

Cp n.º	Altura (mm)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Carga (N)	Resistência à Compressão MPa
01	80	6362	13240	20,8
02	80	6362	14010	22,0
03	80	6362	13110	20,6
04	80	6362	15030	23,6
05	80	6362	13760	21,6
06	80	6362	13910	21,9
<b>Média</b>				<b>21,8</b>

#### 4 - OBSERVAÇÕES:

- 4.1- Tabela de correção, conforme item 5.4.1 da NBR 9780, em função da altura da peça:



PEDROSA E NASCIMENTO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA.

ESCRITÓRIO: RUA MONTES CLAROS, 1175 - BAIRRO ANCHIETA - BELO HORIZONTE - VG - CEP 30310-370 - TELEFAX: (031) 284-9399  
LABORATÓRIO: FE-FUMEC - RUA COBRE, 200/250 - BAIRRO CRUZEIRO - BELO HORIZONTE - MG - CEP 30310-190 - TELEFAX: (031) 221-2711

REL.: 0164 D/00 (3/3)

Altura Nominal da Peça (mm)	Fator Multiplicativo "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

#### 4.2. Cálculo do valor característico da resistência à compressão (f<sub>pk</sub>):

$$f_{pk} = f_p - (t \times s)$$

$$f_{pk} = 21,8 - (0,920 \times 1,074)$$

$$f_{pk} = 20,8 \text{ MPa}$$

#### NOTAS:

f<sub>pk</sub> = resistência característica à compressão, em MPa;

f<sub>p</sub> = resistência média das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

s = desvio padrão, em MPa;

f<sub>pi</sub> = resistência individual das peças ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

n = número de peças da amostra.

t = coeficiente de student, fornecidos na Tabela do item 6.6 da NBR 9781, em função do tamanho da amostra.

#### 4.3- . 1 MPa = 1N/mm<sup>2</sup>

. 1 Kgf = 10 N

. Material coletado e transportado pelo interessado.

Belo Horizonte, 02 de maio de 2000



Rubens José Pedrosa Reis  
CREA 11409 / D

PEDROSA E NASCIMENTO ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA.

ESCRITÓRIO: RUA MONTES CLAROS, 1175 - BAIRRO ANCHIETA - BELO HORIZONTE - MG - CEP 30310-370 - TELEFAX: (031) 284-9399  
LABORATÓRIO: FE-FUMEC - RUA COBRE, 200/250 - BAIRRO CRUZEIRO - BELO HORIZONTE - MG - CEP 30310-190 - TELEFAX: (031) 227-2711