



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JARDEL EGG CARVALHO LEÃO**  
**THALITA CARDOSO DIAS**

***ESTUDO DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE:***  
***CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)***

**OURO BRANCO - MG**  
**JULHO - 2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**

**CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JARDEL EGG CARVALHO LEÃO**

**THALITA CARDOSO DIAS**

***ESTUDO DE CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE:***

***CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)***

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil - Ênfase em Estruturas Metálicas, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Heraldo Nunes Pitanga

**Co-orientador:** Tales Moreira de Oliveira

**OURO BRANCO - MG  
JULHO – 2014**

# SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....	3
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
4 DESENVOLVIMENTO.....	5
4.1 Cenário da Urbanização no Brasil .....	5
4.2 Programa de Aceleração do Crescimento - PAC.....	6
4.3 Drenagem <i>versus</i> Enchentes .....	7
4.3.1 Considerações Iniciais .....	7
4.3.2 Escoamento Superficial .....	10
4.3.3 Medidas de Controle de Enchentes .....	11
4.4 Pavimentação .....	13
4.4.1 Tipos de Pavimentos.....	13
4.4.2 Pavimentos Permeáveis .....	17
4.5 Camada Porosa de Atrito - CPA.....	22
4.5.1 DNER-ES 386/99 – Pré-misturado a Quente com Asfalto Polímero – Camada Porosa de Atrito.....	23
4.5.2 Efeitos do Ligante Modificado por Polímeros – SBS .....	28
4.5.3 Redução da lâmina d’água.....	29
4.5.4 Redução de Ruídos .....	32
4.5.5 Desvantagens da CPA .....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS .....	43
7 APÊNDICES .....	47
ANEXOS.....	48

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Alterações de drenagem com a urbanização.....	8
<b>Figura 2</b> - Hidrograma de uma área após a urbanização .....	9
<b>Figura 3</b> - Constituição das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas .....	14
<b>Figura 4</b> - Classificação dos Revestimentos de Pavimentação.....	14
<b>Figura 5</b> - Seção Típica das Camadas de Pavimentos Permeáveis.....	18
<b>Figura 6</b> - Princípio de funcionamento de Concreto Asfáltico Drenante em áreas urbanas....	19
<b>Figura 7</b> - Comparação entre a Superfície de Concreto Asfáltico Convencional e a de Concreto Asfáltico Drenante .....	20
<b>Figura 8</b> - Aspectos dos Tipos de Vazios em Seção de um Revestimento Permeável.....	21
<b>Figura 9</b> - Etapas de Pintura, Inserção do Gabarito e Espalhamento da CPA.....	27
<b>Figura 10</b> - Esquema de escoamento de Água em um Revestimento Impermeável.....	30
<b>Figura 11</b> - Esquema de escoamento de Água na CPA .....	31
<b>Figura 12</b> - Formação de Névoa em Pavimento de Concreto Asfáltico Convencional, diferentemente da CPA.....	31
<b>Figura 13</b> - Emissão de ruídos provocada por veículos.....	32
<b>Figura 14</b> - Processo de Redução de Ruídos por Absorção do Fluxo de Ar pelos Vazios.....	33
<b>Figura 15</b> - Emissão de Ruídos para Vários Tipos de Pavimentos.....	33
<b>Figura 16</b> - Máquina de Limpeza com Capacidade de 550 m <sup>2</sup> /hora e Ciclo de Tempo de 3 minutos .....	35
<b>Figura 17</b> - Estudo realizado nas Rodovias Espanholas mostrando a Evolução da Colmatação entre Pavimentos Tratados com Limpeza e não Tratados .....	35
<b>Figura 18</b> - Localização e Dados da Av. Mariza.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Faixas Granulométricas para Base Granulares.....	17
<b>Tabela 2</b> - Características de cada ensaio referentes à CPA.....	24
<b>Tabela 3</b> - Granulometria do Material de Enchimento da CPA .....	25
<b>Tabela 4</b> - Faixas Granulométricas e Percentuais de Ligante Asfáltico da CPA .....	25
<b>Tabela 5</b> - Ensaio Recomendados para Asfalto Polímero e CPA .....	28

## **LISTA DE APÊNCIDES**

<b>APÊNDICE 1</b> – Comparativo de Drenagem dos Cálculos entre CPA e Asfalto Convencional .....	47
---	----

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO A</b> – Problema das enchentes após chuvas torrenciais em BH tem solução .....	48
<b>ANEXO B</b> - Belo Horizonte terá pacote de investimentos contra as enchentes em 2014.....	54
<b>ANEXO C</b> - Relatório do Programa <i>Plúvio 2.1</i> .....	57

## RESUMO

A Camada Porosa de Atrito (CPA) é um tipo de revestimento asfáltico com granulometria aberta que possui propriedades drenantes. No Brasil, esse tipo de revestimento é pouco utilizado em vias de tráfego de veículos, sendo mais empregado em aeroportos. O objetivo deste estudo é a revisão literária da CPA para o conhecimento das propriedades do pavimento a fim de demonstrar que se trata de uma medida viável para atenuação do potencial de enchentes e subsequente melhoria da qualidade de vida nos centros urbanos, quando comparada ao asfalto convencional. Alguns cálculos foram efetuados a fim de se exemplificar a comparação, os quais evidenciaram a maior capacidade de absorção de água precipitada pela CPA, em uma simulação da utilização deste revestimento em uma avenida real. No desenvolvimento foi abordada a norma DNER-ES 386/99 (DNER, 2009) que rege tecnicamente a Camada Porosa de Atrito, além de ressaltadas as vantagens e desvantagens do uso deste pavimento. Embora necessite-se de maiores estudos no país, conclui-se que o tal revestimento apresenta satisfatória capacidade drenante, com redução do volume escoado superficialmente, garantindo maior segurança aos usuários da via e redução da possibilidade de acúmulo de água à jusante.

**Palavras-chaves:** CPA, Camada Porosa de Atrito, Escoamento Superficial, Capacidade Drenante, Pavimento Permeável, Revestimento.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está em constante desenvolvimento social e econômico. A migração para os grandes centros urbanos levou ao inchaço populacional nos últimos anos de forma desordenada e sem o planejamento adequado de sua infraestrutura. Dentre os problemas resultantes, destacam-se as enchentes e a poluição sonora (UGEDA, 2007).

A impermeabilização das cidades ocorre devido aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, como as edificações e as vias, que ocupam considerável espaço das cidades. A impermeabilização do solo acelera o escoamento superficial das águas pluviais, favorecendo o aumento da vazão dos cursos d'água à jusante, o que pode provocar as enchentes (ARAÚJO *et al.*, 2000).

Na busca por alternativas que auxiliem os sistemas de drenagem, pretende-se enfocar, neste trabalho, o uso de um elemento da infraestrutura urbana existente, como aliado na diminuição do impacto negativo gerado pela impermeabilização das vias urbanas. A Camada Porosa de Atrito (CPA) é um tipo de revestimento asfáltico que possui propriedades mecânicas e hidráulicas que atende a este cenário (BENEDETTO *et al.*, 2014).

A Camada Porosa de Atrito ou o Concreto Asfáltico Poroso é a mistura asfáltica pré-misturada a quente, com características drenantes ou porosas, empregada na superfície dos pavimentos. Esse revestimento é pouco difundido no Brasil e por isso é de interesse o estudo aprofundado dos aspectos técnicos e funcionais do revestimento com o objetivo de avaliar a efetividade do método como aliado no sistema de drenagem urbana e sua real possibilidade de implementação no país (BALBO, 2007).

O presente trabalho irá abordar os aspectos sociais e econômicos que envolvem a urbanização e suas consequências. Será realizada uma revisão literária breve sobre a pavimentação e, posteriormente, dos pavimentos permeáveis, enfatizando o estudo sobre a CPA. Serão abordadas as recomendações e exigências da norma que rege a especificação de serviço do revestimento e apontadas as vantagens e desvantagens de sua implementação.

Serão apresentados na discussão os cálculos de uma situação hipotética em que uma via da cidade de Ouro Branco, MG, é revestida pela Camada Porosa de Atrito, contrapondo-se ao asfalto convencional atual. Tal avaliação visa evidenciar a maior capacidade de retenção de volume precipitado da CPA, em relação ao revestimento asfáltico tradicional.



Assim sendo, ao fim do trabalho, espera-se obter conclusões favoráveis ao uso da CPA como revestimento urbano. Essa deve apresentar-se como , junto aos dispositivos drenantes, para minimizar o potencial de ocorrência de enchentes, assim como medida sustentável para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

## 2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo deste estudo é fazer a revisão literária da Camada Porosa de Atrito (CPA) a fim de obter um maior conhecimento técnico desse tipo de revestimento. Trata-se de um assunto atual, com características sustentáveis que pode proporcionar inúmeros benefícios às cidades, caso essa solução de engenharia seja empregada.

A apresentação deste trabalho visa estimular o interesse acadêmico em novas pesquisas através de possíveis ensaios para adequação da CPA ao ambiente urbano. Almeja-se, por meio desse, demonstrar que se trata de uma medida viável, e que pode ser utilizada em ações públicas de atenuação do potencial de enchentes, principalmente quando comparada ao asfalto convencional, melhorando a infraestrutura local.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho contempla o estudo da Camada Porosa de Atrito (CPA) e foi realizado entre o período de novembro de 2013 a julho de 2014. Ele se baseou na consulta de periódicos, artigos e livros disponibilizados pela Biblioteca da Universidade Federal de São João Del-Rei, *campus* Alto Paraopeba. O CAPES foi o banco de dados utilizado para a pesquisa dos artigos científicos, a partir das palavras-chave *porous*, *friction*, *course*, *mixed* e *asphalt*, bem como de sites de revistas e universidades, com as principais palavras-chave camada, porosa, atrito, revestimento, pavimento, chuva, drenante e escoamento. Foi, também, baseada em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Ademais, foram utilizados os *softwares* *Plúvio 2.1* e *Google Maps* para o cálculo da precipitação e obtenção de dados topográficos da área de estudo, respectivamente.

Os critérios de inclusão utilizados na revisão foram fundamentados nas características, vantagens e desvantagens da CPA e de sua utilização no meio urbano, além de estudos comparativos entre os revestimentos permeável e convencional. Já os critérios de exclusão adotados foram estudos relacionados à implantação da CPA em aeroportos, dispositivos de drenagem e propostas alternativas de sustentabilidade.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Cenário da Urbanização no Brasil

As cidades são o resultado de um plano de circulação, que deve conter, entre outros, os traçados, as dimensões das vias e as regulamentações. Esse planejamento urbano pode ser observado, a princípio, em cidades planejadas como Belo Horizonte e Brasília. No entanto, a grande parte dos municípios foi construída a partir de uma urbanização desordenada (PLANMOB, 2007).

A urbanização brasileira apresentou um aumento significativo nos últimos anos, como pode ser percebido pelos indicadores realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014). De acordo com esse órgão, o Brasil, que na década de 60 era considerado um país agrícola, na década de 90 aumentou sua taxa de urbanização em aproximadamente 80%, levando ao desenvolvimento urbano sem a infraestrutura adequada. A urbanização, portanto, elevou os índices de tráfego de pessoas e veículos, com a consequente necessidade de se investir em infraestrutura.

O governo, frente a uma cidade já instalada, necessita adotar medidas que aproveitam sua infraestrutura, na tentativa de sanar seus problemas, com o menor custo. Os municípios, neste cenário, possuem autonomia para elaborar leis e executar ações de desenvolvimento urbano. Porém, muitas vezes, são tomadas condutas mais econômicas, fora do padrão construtivo ou do dimensionamento tradicional. Parte das soluções é de caráter provisório ou de curto prazo, justificado pela falta de verba ou pela falta de motivação em investir em infraestrutura e realizar a manutenção dos bens públicos (PLANMOB, 2007; DANTAS & BERNUCCI, 2009).

No Brasil, a produção de asfalto é realizada principalmente pelo sistema Petrobras-REPISA (Ipiranga), sendo 93,8% refinados pela Petrobras. Embora, trate-se de um asfalto de qualidade e dentro das especificações técnicas, segundo Belmiro (2010), é percebida uma execução inadequada da superestrutura do pavimento para cada tipo de via, além da ausência de manutenção periódica. O investimento em todas as etapas da pavimentação asfáltica torna-se importante, principalmente porque, entre o período de 2011-2020, estima-se um crescimento em sua demanda de 4% ao ano, considerando o PIB (Produto Interno Bruto),

período de eleições e concessões (DANTAS & BERNUCCI, 2009; BERNUCCI, 2009; BELMIRO, 2010).

Desde 2003, o Ministério das Cidades promove conferências nacionais, as quais abrangem os problemas comuns aos municípios brasileiros e estabelecem planos de medidas públicas urbanas. Este contexto motivou os investimentos nacionais no setor, levando à criação, em 2007, do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC (BRASIL ACESSÍVEL, 2006).

## **4.2 Programa de Aceleração do Crescimento - PAC**

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi criado pelo Governo Federal, com o objetivo de retomar o planejamento e a execução de obras em infraestrutura social, urbana, logística e energética. Na sua primeira fase (PAC-1), foram duplicados os investimentos em política pública, o que garantiu uma economia ativa durante o período. Em 2011, o PAC entrou na segunda fase (PAC-2), ampliando os recursos e realizando parcerias com estados e municípios. Dentre as medidas adotadas pelo programa, encontra-se a pavimentação e a qualificação das vias urbanas (PAC 2, 2014).

O programa de Pavimentação e Qualificação de Vias Urbanas está relacionado à implantação de nova pavimentação em vias existentes ou recapeamento destas. Ele abrange, ainda, a infraestrutura necessária, visando à acessibilidade universal, através de sistema de drenagem de águas pluviais, rede de abastecimento de água e rede de esgotamento sanitário, passeios e ciclovias, além de medidas de moderação de tráfego e sinalização viária (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Segundo as Diretrizes Gerais do Manual de Propostas do PAC 2 (Ministério das Cidades, 2013), as obras deverão incluir uma infraestrutura completa, não sendo permitidos serviços que visem apenas a manutenção das vias existentes. Um aspecto importante é o tipo de pavimentação que será implantado de acordo com as características de poligonais urbanas, de modo que locais de menor ocupação urbana ou desprovidos de esgotamento sanitário contarão com pavimentação de paralelepípedo, pedras ou blocos de concreto. Já as demais regiões deverão priorizar tipos de pavimentos como Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), Tratamentos Superficiais duplo e triplo (TSD e TST) e Areia-Asfalto Usinada à Quente (AAUQ). Porém, deve-se fazer o estudo da situação do município e suas

necessidades, permitindo a escolha da pavimentação mais adequada para cada caso (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

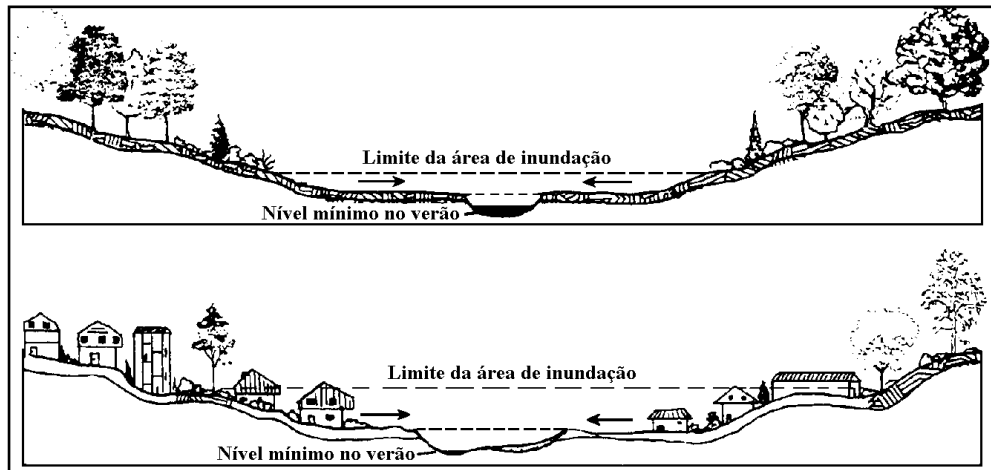
Outro aspecto incluído nas diretrizes é a obrigatoriedade dos municípios em realizar o controle tecnológico da pavimentação asfáltica (corpo estradal, terraplenagem e revestimento asfáltico) e demais pavimentos. Por fim, estas diretrizes contemplam sistemas de drenagem compatíveis com o volume médio de água a ser captado, através de projetos que consideram o dimensionamento adequado a esse fluxo d'água e tratamento superficial da área drenada, evitando erosão e assoreamento de corpos d'água (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

O PAC, portanto, contempla programas de desenvolvimento da infraestrutura viária, bem como os dispositivos de drenagem superficial. Ele considera o atual cenário brasileiro, levando em conta a necessidade do controle tecnológico e a implantação do pavimento mais adequado.

## **4.3 Drenagem versus Enchentes**

### **4.3.1 Considerações Iniciais**

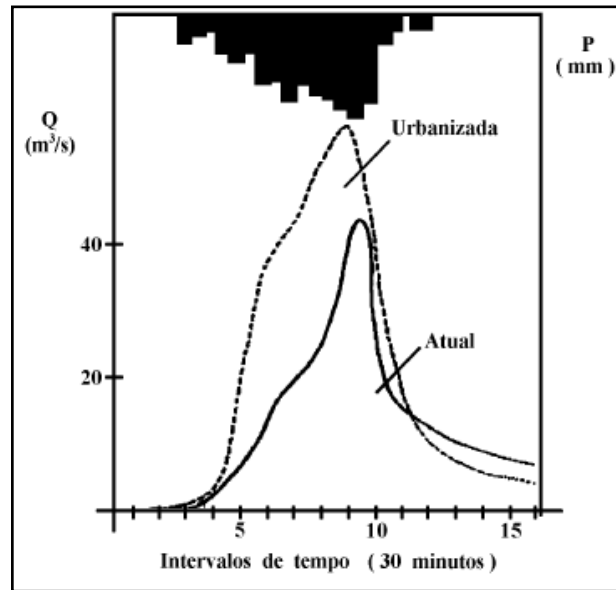
As consequências do desenvolvimento urbano acelerado e desordenado estão diretamente relacionadas às alterações da drenagem natural. Na bacia hidrográfica rural, parte da água precipitada é retida pela vegetação e absorvida no subsolo, enquanto que o restante escoar na superfície de forma gradual, apresentando picos moderados de enchentes. Quando ocorre a ocupação do solo, sem o adequado planejamento do espaço urbano, as áreas que serviriam para infiltração se tornam impermeáveis e, assim, há o aumento da velocidade do escoamento superficial. Isso favorece o surgimento de enchentes (Figura 1), causando sérios impactos socioeconômicos, como descrito na matéria do ANEXO A (TUCCI, 1995).



**Figura 1** - Alterações de drenagem com a urbanização  
(TUCCI, 1997)

As enchentes acontecem quando há o extravasamento da água de seus cursos, devido à falta de capacidade de transporte em áreas ocupadas pela população. Elas podem ocorrer naturalmente em rios ou potencializadas pelo efeito da urbanização (BERTONI & TUCCI, 2003).

A diminuição das áreas permeáveis nos centros urbanos, através das construções e telhados, ruas calçadas e pátios, é o principal fator para o aumento do escoamento superficial, ocasionando enchentes ou inundações à jusante. A urbanização desordenada pode levar ao assoreamento e acúmulo de lixo no leito dos rios, além de remanso dos cursos d'água e a pavimentações que desconsideram o impacto sobre a drenagem (Figura 2) (TUCCI, 1995).



**Figura 2** - Hidrograma de uma área após a urbanização  
(TUCCI, 1995)

As consequências socioeconômicas e ambientais, oriundas da falta de planejamento governamental ou ineficiência do Plano Diretor Urbano, são observadas em grande parte dos municípios brasileiros. O desenvolvimento urbano está relacionado, portanto, ao aumento da ocorrência de enchentes, na produção de sedimentos e redução da qualidade da água (TUCCI, 1997; 1999).

Nos municípios brasileiros, percebem-se ações mais imediatistas e locais, ainda que na presença de um plano diretor. A drenagem urbana se baseia na retirada da água excedente em um ponto da bacia, priorizando a canalização para sua transferência, sem considerar seus efeitos à jusante e os reais benefícios dessa ação. Assim, a maioria das medidas é corretiva, com custo elevado (ANEXO B), tais como diques com bombeamentos, reversões e barragens, bem como as canalizações (TUCCI, 1995; 1997; 1999).

Embora exista um plano diretor vigente nas cidades, as medidas tomadas não são preventivas. Desse modo, a longo prazo, não se apresentam tão eficazes quanto aquelas que sugerem uma pavimentação permeável e um sistema de drenagem que visa a redução de água à jusante.



### 4.3.2 Escoamento Superficial

O escoamento superficial faz parte do ciclo hidrológico da trajetória da água sobre a superfície terrestre. A água que chega ao solo pode ser retida, infiltrada ou escoada. O escoamento acontece quando a intensidade da precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo ou ocorre a saturação das superfícies (VILLELA & MATOS, 1975).

A natureza climática e as características fisiográficas da bacia são fatores que influenciam no escoamento superficial. Em relação à natureza climática, a intensidade da precipitação é fator determinante na porcentagem de escoamento superficial. Uma maior precipitação, em um curto intervalo de tempo, faz o solo atingir a sua capacidade de infiltração, o que aumenta o volume escoado. Quanto às características fisiográficas, destaca-se a permeabilidade do solo. Um solo mais permeável reterá uma maior quantidade de água, reduzindo o excesso a ser escoado (VILLELA & MATOS, 1975).

O escoamento superficial é caracterizado por variáveis, das quais são de importância a vazão ( $Q$ ) e o coeficiente de escoamento superficial ou deflúvio ( $C$ ). A vazão é a principal variável e trata-se da razão entre o volume escoado e o tempo, sendo sua unidade em  $m^3/s$  ou  $L/s$ . Já o coeficiente  $C$  trata da relação entre o volume total escoado pelo volume total precipitado em determinada superfície (VILLELA & MATOS, 1975; NELSON *et al.*, 1976).

O cálculo da vazão de escoamento é obtido através do Método Racional:

$$Q = CiA \text{ (Equação 1)}$$

em que  $A$  é a área drenada e  $i$  a intensidade da chuva calculada por:

$$i = \frac{k.T^a}{(t+b)^c} \text{ (Equação 2)}$$

em que  $T$  é o período de retorno em anos,  $t$  é o tempo de duração da chuva em minutos e  $k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  são coeficientes de ajustamento específicos para cada localidade (SILVA *et al.*, 2003).

Segundo Thompson (2006), o Método de Kirpich fornece o tempo de concentração. Este tempo mede o escoamento da água do ponto mais distante até o local de estudo da bacia. O tempo de concentração ( $t_c$ ) é dado em minutos e pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$t_c = 0,0078 \left( \frac{L^3}{h^{0,385}} \right)^{0,77} \text{ (Equação 3)}$$

em que  $L$  é o comprimento do talvegue<sup>1</sup> em metros e  $h$  é a declividade do talvegue em metros. O cálculo é importante porque o tempo de concentração permite a estimativa de vazões de cheia. Dessa forma, ele é uma variável que pode ser usada na equação de intensidade da chuva, contribuindo na obtenção da vazão de escoamento pelo Método Racional (UFMG, 2014).

Segundo Nelson *et al.* (1976) e Silva *et al.* (2003), a determinação da precipitação ( $i$ ) é fundamental para o cálculo da vazão de escoamento ( $Q$ ), pois representa o volume de água que cai em uma determinada área ( $A$ ) e que terá um coeficiente de escoamento ( $C$ ) dependente da permeabilidade de sua superfície. Os coeficientes de escoamento variam de 0 a 1, no qual quanto mais próximo da unidade menos permeável é a superfície. A partir do Método Racional e da estimativa do tempo de concentração, pode-se calcular o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente o volume armazenado por um pavimento.

É importante, no contexto das enchentes, a quantificação da vazão de escoamento superficial decorrente das precipitações no período de pico da chuva, pois permite avaliar o volume total precipitado que escoar. O estudo deste volume estima qual superfície ou pavimento que retém maior volume durante um determinado tempo para que excesso de precipitação não seja formado durante os eventos de chuva (VILLELA & MATOS, 1975).

### 4.3.3 Medidas de Controle de Enchentes

As ações para o controle de enchentes podem ser classificadas, de acordo com sua interferência sob a bacia hidrográfica, em distribuída, microdrenagem e macrodrenagem. Essas, ainda, são organizadas em relação ao efeito que provocam no hidrograma em cada uma das partes das bacias citadas. As medidas podem ser divididas, portanto, em infiltração e percolação, armazenamento, aumento da eficiência do escoamento, diques e estações de bombeamento (TUCCI, 1997).

A urbanização, neste contexto, tornou as superfícies mais impermeáveis, aumentando a vazão máxima. Conseqüentemente, superou sua capacidade natural de escoamento, conduzida por dispositivos hidráulicos como condutos e canais. Esses aceleram o escoamento, fazendo com que aumente a vazão no sistema de drenagem, tornando as enchentes recorrentes. Uma das medidas de controle, para tal, seria permitir a infiltração da precipitação

---

<sup>1</sup> Talvegue refere-se ao trajeto do curso d'água das chuvas e nascentes

e sua percolação, tornando mais semelhantes às condições naturais. A infiltração trata-se de um processo no qual o fluxo da superfície é transferido ao solo, proporcional às suas características físicas e grau de umidade. Já a percolação trata-se da passagem da água da região não saturada para a zona saturada do solo, podendo alcançar o lençol freático (TUCCI, 1997; BERTONI, 2003).

Os dispositivos de infiltração e percolação apresentam como vantagens o aumento da recarga, a diminuição da ocupação de áreas com lençol freático baixo, além da preservação ambiental e redução da poluição de rios, das vazões à jusante e do tamanho dos condutos. No entanto, em algumas áreas, o solo pode tornar-se impermeável com o tempo, principalmente quando há falta de manutenção adequada ou em casos de aumento do nível do lençol freático. A permanência dos altos níveis de águas na superfície, associado ao pouco efeito na diminuição do volume final do hidrograma, em alguns tipos de solos, inviabiliza seu uso. Isso ocorre pela dificuldade de percolação e por seu pequeno volume de armazenamento (TUCCI, 1997).

Segundo Tucci (1997), os principais dispositivos para criar maior infiltração são os planos e valas de infiltração, bacias de percolação e dispositivos hidráulicos e pavimentos permeáveis. A capacidade drenante do solo está relacionada à execução dos pavimentos permeáveis, que podem ser utilizados em calçadas, estacionamentos, quadras e ruas de pouco tráfego. Já em ruas mais movimentadas, esses podem ser deformados e entupidos, tornando-se impermeáveis, caso não haja uma manutenção eficiente.

Os pavimentos permeáveis apresentam um bom controle da drenagem por reduzirem o escoamento superficial, os condutos e custos do sistema de drenagem pluvial, além da lâmina de água dos locais nos quais são implantados. O bom funcionamento desse dispositivo depende de manutenção a fim de se evitar sua colmatação<sup>2</sup> com o tempo, devendo-se, também, considerar que os pavimentos podem contaminar os aquíferos e apresentar custo elevado de execução (TUCCI, 1997).

---

<sup>2</sup> Acúmulo de detritos nos poros de uma superfície.

## 4.4 Pavimentação

Os pavimentos podem ser definidos, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2006), como um sistema de camadas de espessuras finitas, sobre um terreno de fundação, designado subleito.

A estrutura do pavimento baseia-se no recebimento e distribuição de esforços para amenizar as pressões das camadas inferiores, considerando as deformações naturais de cada uma delas. Toda camada do pavimento possui características próprias que permitem a acessibilidade e o transporte pela via, atendendo, basicamente, aos esforços verticais de compressão e cisalhamento impostos pelo tráfego (BALBO, 2007; FERREIRA, 2007).

O pavimento é dividido em camadas de revestimento, base, sub-base, subleito e reforço de subleito. O revestimento é a camada que recebe diretamente as cargas, estáticas ou dinâmicas, e por este motivo deve ser construído por materiais mais nobres. Ele permite o contato direto pneu-pavimento, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou diminuição da compactação. Essa camada deve passar pelo processo de imprimação<sup>3</sup> para que seja aderida à base. As camadas de base e sub-base, além de desempenhar a função de drenagem subsuperficial dos pavimentos, retêm parte das pressões sobre as camadas inferiores a elas. O subleito, por sua vez, suporta as cargas, oriundas do tráfego, impostas ao revestimento. E, por último, o reforço de subleito não é obrigatório, porém pode ser utilizado com o intuito de reduzir as solicitações sobre a superfície do subleito e evitar maiores espessuras de base e sub-base (BALBO, 2007).

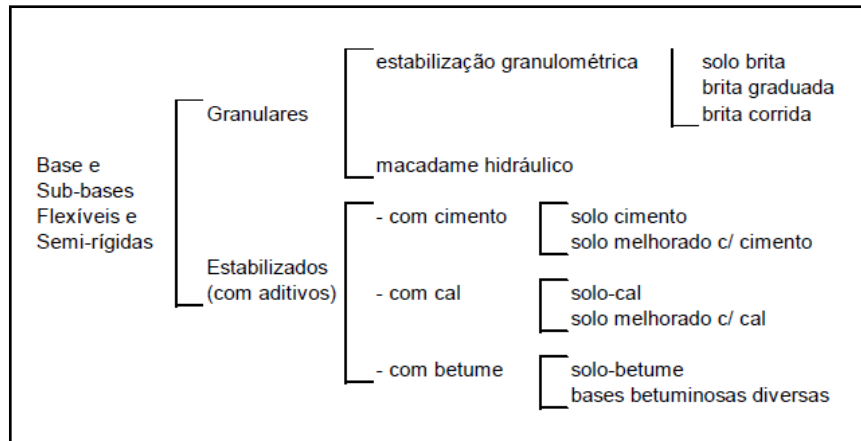
### 4.4.1 Tipos de Pavimentos

A pavimentação é realizada por três tipos básicos de pavimentos: o flexível, o semirrígido e o rígido. O primeiro, pela carga solicitante, sofre deformações elásticas significativas em todas as suas camadas, como, por exemplo, pavimentos revestidos por camada asfáltica. O segundo apresenta uma base cimentada por algum aglutinante. E, por fim, o terceiro tem elevada rigidez comparada a suas demais camadas inferiores, absorvendo grande parte do carregamento imposto, como em pavimentos constituídos de concreto (DNIT, 2006).

---

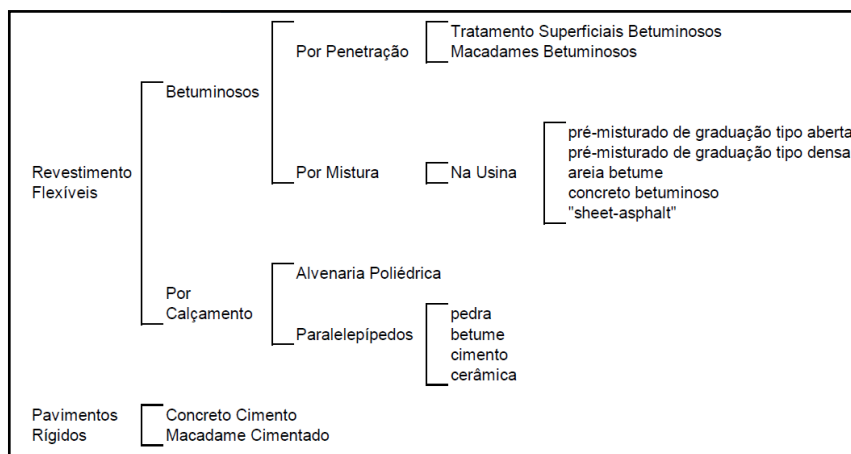
<sup>3</sup> É o processo de aderência entre base e revestimento a partir da aplicação de material betuminoso sobre a base granular.

A estrutura do pavimento pode ser constituída por diferentes materiais, que classificam as bases e sub-bases em flexíveis e semirrígidas ou em rígidas. A constituição das mesmas encontra-se descrita na Figura 3 (DNIT, 2006).



**Figura 3** - Constituição das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas (DNIT, 2006)

Os revestimentos, por sua vez, podem ser agrupados de acordo com a classificação básica dos pavimentos em revestimentos flexíveis e pavimentos rígidos, conforme indicado na Figura 4 (DNIT, 2006).



**Figura 4** - Classificação dos Revestimentos de Pavimentação (DNIT, 2006)

#### **4.4.1.1 Bases e Sub-bases Flexíveis e Semirrígidas**

##### 4.4.1.1.1 Bases e Sub-bases Granulares

A estabilização granulométrica é constituída por camadas, exclusivamente granulares e flexíveis, e são formadas por solos, britas de rochas e/ou de escória de alto forno. Sua granulometria é usualmente estabilizada por compactação desses materiais, de modo que ao misturar o material natural e a pedra britada forma-se o solo-brita. Alguns materiais, no entanto, necessitam de beneficiamento inicial, podendo ser por peneiramento ou britagem. Os materiais de britagem, quando usados isoladamente, constituem as bases e sub-bases de brita graduada ou corrida (DNIT, 2006).

Outras possibilidades são as bases e sub-bases de pavimentos flexíveis feitas em macadame hidráulico. O macadame consiste de uma camada de brita de graduação aberta de tipo especial. Esta camada sofre compressão e seus vazios são preenchidos por material constituído por finos de britagem, a exemplo do pó de pedra. O preenchimento é realizado, basicamente, pelo espalhamento na superfície, varredura e compressão (com ou sem vibração). Quando esse processo é feito com a irrigação do material fino dá-se o nome de macadame hidráulico, porém o macadame a seco é um processo mais simples e que pode evitar o encharcamento do subleito (DNIT, 2006).

##### 4.4.1.1.2 Bases e Sub-bases Estabilizadas (com aditivos)

As camadas estabilizadas apresentam processo de produção semelhante às granulares por estabilização granulométrica. São adicionados alguns materiais que permitirão determinar certas características das bases e sub-bases estabilizadas. De acordo com o DNIT (2006), tem-se o solo-cimento, que apresenta maior rigidez, o solo-cal, considerado mais semirrígido, e os solos betume, os quais são mais flexíveis.

#### **4.4.1.2 Bases e Sub-bases Rígidas**

As bases e sub-bases rígidas apresentam maior resistência à tração e são constituídas de concreto ou cimento. O concreto pode ser plástico, adensado por vibração, ou magro, no qual se consome pouco cimento, porém com compactação apropriada para equipamentos rodoviários (DNIT, 2006).

#### **4.4.1.3 Revestimentos Flexíveis Betuminosos**

Os revestimentos betuminosos ocorrem por penetração ou por mistura, sendo que a primeira pode ser invertida ou direta (DNIT, 2006).

A penetração invertida ocorre pela aplicação do betume sobre a base, seguida pelo espalhamento e compressão dos agregados, com tratamento superficial simples, duplo ou triplo. Na penetração direta, ao contrário, faz-se primeiramente o espalhamento das camadas e posteriormente ocorre a compressão e aplicação do material betuminoso, acompanhada da aplicação de agregado miúdo (DNIT, 2006).

Os revestimentos por mistura são feitos pelo envolvimento do agregado ao material betuminoso, sem compressão prévia. Eles são oriundos de usinas fixas ou feitos na própria pista, utilizando pré-misturados a frio (temperatura ambiente) ou a quente. Estes revestimentos podem ser, ainda, de graduação aberta, a qual não necessita de capa selante, ou de graduação densa, na qual a capa é obrigatória. Um exemplo deste revestimento é o Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), o qual apresenta pré-misturados à quente de graduação densa (DNIT, 2006).

O comportamento dos revestimentos flexíveis betuminosos é influenciado pela distribuição granulométrica de seus agregados. Esta distribuição é realizada a partir de ensaios por peneiramento que se baseiam na passagem de amostra seca de agregado em uma série de peneiras com aberturas decrescentes ao longo de seu percurso. A distribuição granulométrica, portanto, auxilia na distinção dos tipos de revestimentos por mistura (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O agregado de graduação densa ou bem graduado possui distribuição contínua, enquanto o de graduação aberta é, também, contínua, porém com insuficiência de material fino para se obter maior volume de vazios. O agregado que apresenta poucas variações em suas dimensões apresenta graduação uniforme. O agregado com graduação descontínua, por sua vez, apresenta uma pequena porcentagem de agregados intermediários, tornando-o propenso à segregação (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A escolha da granulometria dos agregados, de acordo com as faixas definidas pelo DNIT (2006), é realizada através do número de solicitações de tráfego e das condições climáticas. A Tabela 1 indica o percentual do material, para base granular, que passa em cada peneira, correlacionando-a aos tipos de faixas e, também, ao tráfego.

**Tabela 1 - Faixas Granulométricas para Base Granulares**  
(DNIT, 2006)

Tipos Peneiras	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
N°4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
N°10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
N°40	8-20	15-30	15-30	25-25	20-50	30-70	±2
N°200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

#### 4.4.1.4 Revestimentos Flexíveis por Calçamento

Os revestimentos flexíveis por calçamento são, atualmente, pouco utilizados, estando reservados a estacionamentos e vias urbanas. São, em geral, de alvenaria poliédrica ou de paralelepípedos. A alvenaria poliédrica consiste de camadas de pedras irregulares, assentadas e comprimidas sobre a superfície de material granular adequado. Os paralelepípedos, por sua vez, são de blocos regulares e suas juntas podem ser do próprio material da camada, granulares, dentre outros (DNIT, 2006).

#### 4.4.1.5 Revestimentos Rígidos

Os revestimentos rígidos são constituídos de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água. Esses formam uma camada de concreto com a função de revestir e substituir a base do pavimento. Sua espessura é relativamente maior que o asfalto, pois assim distribui as cargas por uma área maior (DNIT, 2006).

#### 4.4.2 Pavimentos Permeáveis

O estudo dos pavimentos permeáveis iniciou-se na França na década de 40, possibilitando a drenagem e infiltração de água até as camadas inferiores do solo, o que ajuda a minimizar os impactos das inundações. No Brasil, essa tecnologia ainda é pouco utilizada, embora ocorram com frequência inundações nos grandes centros e, portanto, estes pavimentos



poderiam ser utilizados para amenizar os impactos das chuvas (SALES, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

A pavimentação permeável é composta por camadas porosas (agregado miúdo ou 'médio) mais a camada do pavimento propriamente dita, ou por camadas perfuradas, conforme Figura 5. Elas permitem a infiltração da lâmina de água presente na superfície do pavimento para seu interior, desenvolvendo a função de microrreservatório de material granular e que posteriormente é absorvido pelo solo. Ou seja, ocorre a infiltração rápida de água na camada porosa, a água passa por um filtro de agregado e, posteriormente, por uma câmara mais profunda com agregados, adentrando no subsolo (ARAÚJO *et al.*, 2000; SALES, 2008).

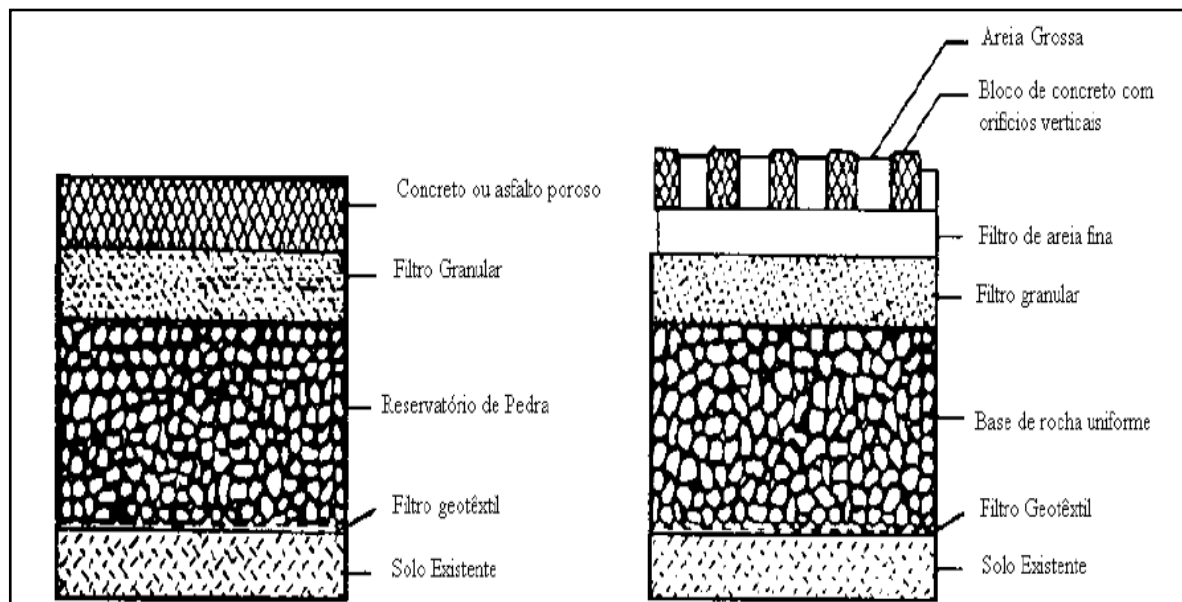


Figura 5 - Seção Típica das Camadas de Pavimentos Permeáveis

(ARAÚJO *et al.*, 2000)

Os tipos dos pavimentos permeáveis mais utilizados são os pavimentos porosos (asfáltico ou de concreto) ou blocos de concreto vazados, preenchidos com material granular (blocos intertravados). Na camada de base, em geral, usa-se a brita e a manta geotêxtil pode ser aplicada entre camadas do pavimento, a fim de impedir a mistura de materiais entre elas. A capacidade drenante do conjunto de camadas, no entanto, deve ser compatível com a do subleito (SOUZA *et al.*, 2012).

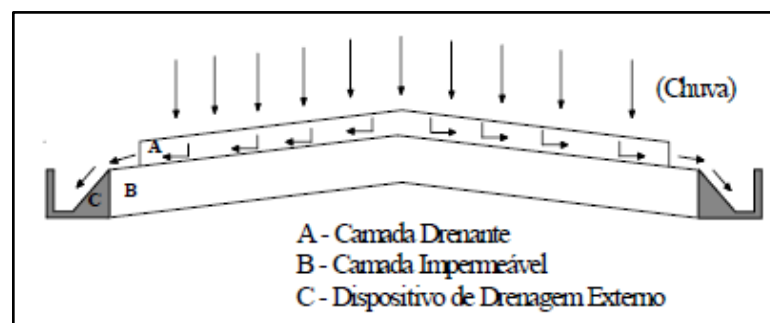
Através desses pavimentos, é possível introduzir mais um elemento aos sistemas drenantes com a finalidade de controle de águas pluviais, assim como aumentar a segurança e conforto nas vias por diminuírem os efeitos de hidroplanagem. No âmbito ambiental, os

pavimentos permeáveis colaboram na reposição do volume de água do lençol freático, todavia apresentam custo mais elevado (SALES, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

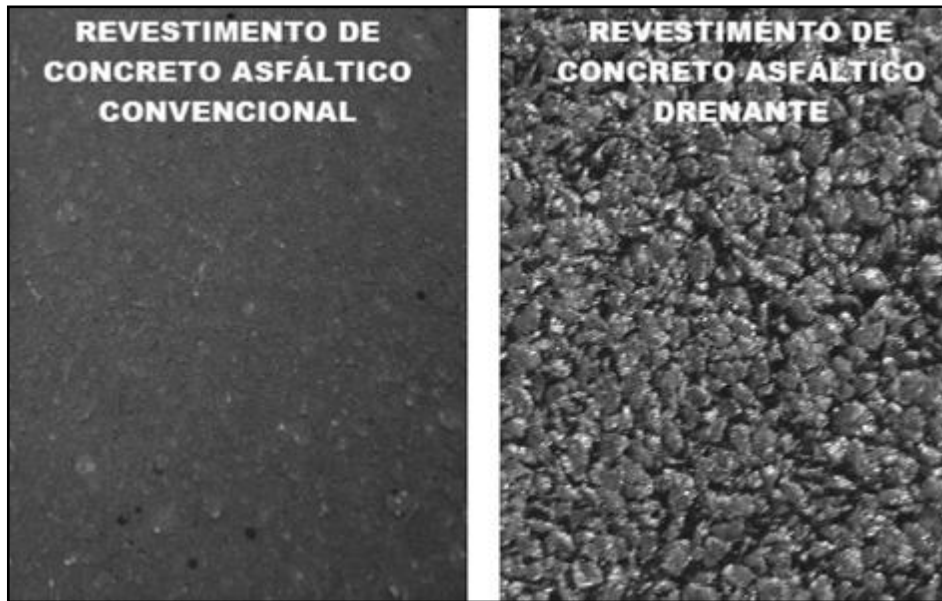
O concreto asfáltico drenante consiste em uma mistura asfáltica constituída por dosagem adequada de agregados minerais britados, fíller e cimentos asfálticos puros ou modificados por polímeros. Trata-se de uma técnica mais difundida em rodovias e aeroportos, mas que também pode ser usada em estacionamentos, vias expressas de pequeno tráfego e vias urbanas (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

Os concretos asfálticos são preparados a partir de minerais granulares e cimentos asfálticos puros ou modificados e que podem apresentar melhoradores de adesividade e/ou aditivos minerais ou orgânicos. A mistura adequada para tornar este pavimento permeável deve conter o mínimo teor de asfalto que assegure a resistência à desagregação de partículas da mistura e a deformação permanente, dependentes do uso de agregados com granulometria especial e dosagem adequada do ligante (DUMKE, 2005).

Esse tipo de pavimento é formado, normalmente, por duas camadas, a superficial com concreto asfáltico drenante e a mais profunda, composta por misturas asfálticas densas convencionais, que é impermeável, apresentando função estrutural. A água, ao passar pela primeira camada, é escoada pelo declive da segunda camada até os dispositivos de drenagem externo (Figura 6 e Figura 7). Dessa maneira, reduz-se a possibilidade de formação da lâmina d'água sobre o pavimento e o espelhamento da superfície molhada fica reduzido, não sendo capaz de provocar o reflexo dos faróis (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).



**Figura 6** - Princípio de funcionamento de Concreto Asfáltico Drenante em áreas urbanas (OLIVEIRA, 2003)



**Figura 7** - Comparação entre a Superfície de Concreto Asfáltico Convencional e a de Concreto Asfáltico Drenante  
(DUMKE, 2005)

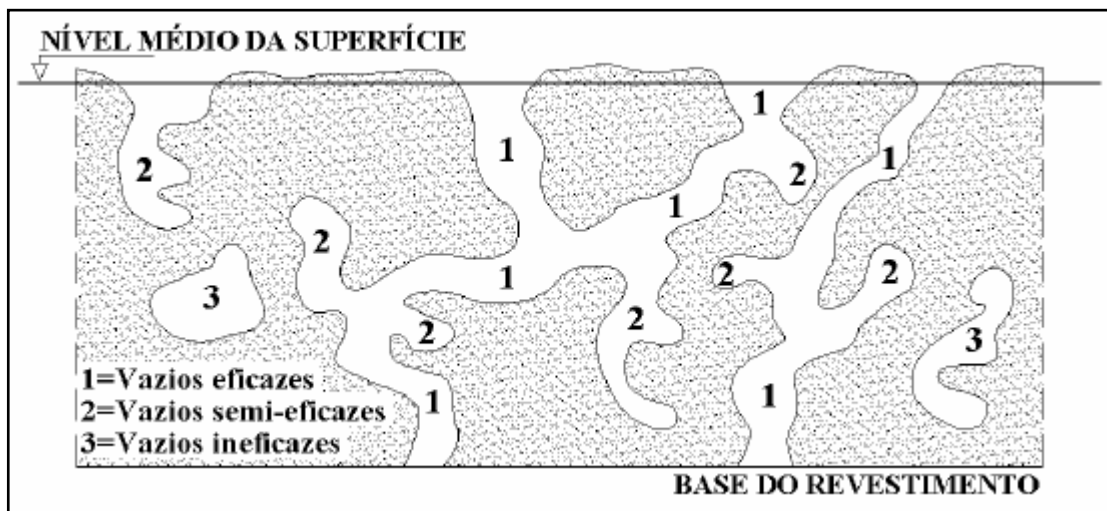
Os concretos asfálticos drenantes podem variar segundo o tipo e o número de camadas, o volume de vazios e a existência ou não de brechas. Esses podem ser usados como camadas de revestimento ou de base, e em relação ao número de camadas podem ser constituídos por uma camada de superfície, uma camada de base ou por duas camadas drenantes de superfície (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

No primeiro caso, o uso de camada mais espessa aumenta o risco de deformação, porém o efeito drenante expressivo só ocorreria se essa não fosse fina, não sendo muito eficiente. No segundo caso, aplica-se a camada de base com a principal finalidade de estocar temporariamente a água pluvial. Essa é uma solução interessante para grandes superfícies revestidas em centros urbanos, como estacionamentos, diminuindo os danos de chuvas intensas. No último caso, pode-se variar as espessuras das camadas e a granulometria, o que configura as principais propriedades de cada pavimento (DUMKE, 2005).

Os pavimentos asfálticos drenantes são uma mistura que apresenta pelo menos 20% de vazios após espalhamento e compactação. Assim, são considerados de 1ª geração quando os teores de vazios encontram-se em aproximadamente 20%. Os de 2ª geração já apresentam teores entre 25-28%, enquanto que os de 3ª ultrapassam os 28% (OLIVEIRA, 2003).

O conhecimento dos vazios da mistura asfáltica drenante é importante porque é o que garante ao pavimento sua capacidade permeável. Essa mistura pode conter poros eficazes,

semi eficazes e ineficazes. Os poros eficazes permitem a passagem e armazenamento da água. Os poros semieficazes auxiliam na passagem, mas não permitem o armazenamento. Já nos poros ineficazes, não é possível a passagem nem o armazenamento de água (Figura 8). A eficácia dos vazios será observada naqueles que permitem a passagem de água pluvial pelo interior da mistura até a pista de rolamento (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).



**Figura 8** - Aspectos dos Tipos de Vazios em Seção de um Revestimento Permeável  
(DUMKE, 2005)

A condução da água pelo pavimento ocorre quando os vazios encontram-se interligados. Os fatores que contribuem, segundo Dumke (2005), para a drenagem pelo pavimento são o tamanho máximo do agregado, o teor de vazios, as espessuras esbeltas do revestimento, a declividade transversal, o alto volume do tráfego (mantém a porosidade pelo efeito de limpeza natural dos pneus), os locais expostos a poeiras, as interseções com vias não pavimentadas e uma condição de velocidade do tráfego baixa.

Por fim, em relação às lacunas (*gap*) na granulometria, pode haver a eliminação de granulares – quando há brechas definidas na composição granulométrica – ou não, quando não há lacunas, com a granulometria dos materiais aberta. A permeabilidade desse pavimento é possível pelas propriedades da dosagem da mistura asfáltica, que são de granulometria aberta (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

A alta percentagem de vazios dependerá, portanto, da utilização de agregados de boa qualidade e alta resistência e curvas granulométricas abertas, com ou sem descontinuidade acentuada. A quantidade suficiente de ligante, de forma a não preencher os vazios, mas

assegurando uma eficiente coesão, também se torna importante para um concreto asfáltico drenante de qualidade (DUMKE, 2005).

#### 4.5 Camada Porosa de Atrito - CPA

A Camada Porosa de Atrito (CPA) ou o Concreto Asfáltico Poroso é a mistura asfáltica pré-misturada a quente, com características drenantes ou porosas, empregada na superfície dos pavimentos. Atualmente, são muito utilizadas a fim de aumentar a segurança das vias e aeroportos e para diminuir o impacto ambiental com a redução dos ruídos (OLIVEIRA, 2003; BALBO, 2007).

O estudo dessas misturas teve início nos Estados Unidos (EUA) na década de 1930, porém, só na década 1970, na Europa e nos EUA, foi intensificado seu uso, com o desenvolvimento de misturas para aeroportos, a fim de permitir a passagem de água pluvial através de seu interior. No Brasil, a primeira experiência com revestimento asfáltico drenante ocorreu em 1983 no aeroporto de Confins, em Belo Horizonte - MG, no qual se utilizou o cimento asfáltico comum. Já em 1987, no aeroporto de Santos Dumont, no Rio de Janeiro - RJ, iniciou-se a aplicação do cimento asfáltico modificado por polímero, enquanto que, em rodovias, a primeira experiência ocorreu apenas em 1992 na Rodovia dos Bandeirantes, SP. Atualmente, porém, a CPA ainda é pouco utilizada no país, restringindo-se a aeroportos e algumas rodovias (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005; FARAH, 2009).

O Concreto Asfáltico Poroso caracteriza-se pelo seu grande volume de vazios, o qual o torna permeável. A presença da camada asfáltica usinada a quente (CAUQ), densa, impede a infiltração de água para o interior das camadas de base e subleito. A água, na CPA, é, ao contrário, drenada lateral e internamente pelo seu revestimento. A estrutura deste pavimento consiste de mistura descontínua de agregados na base, com ou sem fíler<sup>4</sup>, e de pequena quantidade de ligante asfáltico. Neste caso, o asfalto modificado é mais indicado por diminuir a desagregação e o aumento de sua durabilidade (BALBO, 2007; BERNUCCI, *et al.*, 2006).

Utilizada como camada de rolamento, a CPA é responsável pela coleta de água de chuva para seu interior e tem o objetivo de facilitar a drenagem pluvial na superfície. Esse revestimento permite que o atrito pneu-pavimento permaneça dentro das faixas aceitáveis em

---

<sup>4</sup> Material de enchimento, com características granulométricas determinadas, empregado em misturas asfálticas, podendo ser constituídos de calcário moído, cimento Portland, cal e cinza volante.

quaisquer condições meteorológicas, além de diminuir a espessura da lâmina d'água (OLIVEIRA, 2003; BERNUCCI, *et al.*, 2006).

Este pavimento possui vários benefícios para a segurança nas vias, diminuindo dessa forma o número de acidentes, bem como auxiliando na drenagem superficial e, assim, auxiliando nos processos de drenagem superficial. Suas principais vantagens são: a melhoria na visualização viária horizontal; elevação da resistência à derrapagem sob chuvas, evitando o fenômeno de aquaplanagem; redução da água projetada e pulverizada – oriunda do borrimo de água pela passagem dos veículos – além da diminuição das distâncias de frenagem; redução dos ruídos; e redução da reflexão da luz dos faróis (OLIVEIRA, 2003; BERNUCCI, *et al.*, 2006; BALBO, 2007; FARAH, 2009).

A CPA apresenta como principal desvantagem a colmatação. Porém, esta pode ser evitada quando aquela camada é submetida à manutenção, através de limpeza periódica com equipamentos projetados para esta finalidade (BERNUCCI, *et al.*, 2008).

As especificações que regem a CPA – mais utilizadas no setor rodoviário e aeroviário – são o “Pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito DNER-ES 386/99”, “*Porous Friction Course* da FAA (*Federal Aviation Administration*) AC 150/5370-10B item P402” e “Misturas Betuminosas para camadas de rodaduras, misturas drenantes e descontínuas PG-3 ART 543 (Espanha)”. No Brasil, atualmente, deve-se seguir as especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (antigo DNER). Adota-se o Ensaio Marshall (DNER-ME-043) para verificação das condições de vazios, o ensaio Cantabro para analisar o desgaste por Abrasão *Los Angeles*, e, por fim, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral (FARAH, 2009).

#### **4.5.1 DNER-ES 386/99 – Pré-misturado a Quente com Asfalto Polímero – Camada Porosa de Atrito**

A norma DNER-ES 386/99 foi elaborada pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e define a sistemática utilizada na execução de mistura asfáltica a quente, com asfalto modificado por polímero, agregados minerais e material de enchimento. Através desta norma, é possível conhecer as etapas de execução da camada do pavimento e o controle da qualidade deste serviço de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto. A CPA é a camada resultante de mistura asfáltica a quente,

utilizando cimento asfáltico de polímero do tipo SBS, agregados graúdo e miúdo e fíler (DNER, 1999).

A norma estabelece condições gerais e específicas quanto ao material, equipamento, execução e controle de qualidade dos materiais empregados. Dentre as condições gerais, o pré-misturado a quente com asfalto polímero pode ser empregado como camada sobrejacente ao revestimento, exercendo a função de camada porosa de atrito. Os serviços executados em campo não são permitidos sob condições climáticas adversas, chuvas ou em temperaturas inferiores a 10°C. O cimento asfáltico modificado por polímero conta com certificado de análise, bem como sua indicação clara de procedência, do tipo e da quantidade do conteúdo, além da distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obras (DNER, 1999).

As condições específicas são material, composição da mistura, equipamento e execução. Em relação ao material, recomenda-se a utilização de agregados graúdos como a pedra, escória ou similar, sendo constituídos de fragmentos duráveis e livres de torrões de argila. Outros quesitos a serem seguidos (Tabela 2) são o desgaste Los Angeles (DNER-ME 035), que deve ser tomado como igual ou inferior a 30%, o índice de forma (DNER-ME 086) superior a 0,5%, além de uma durabilidade (DNER-ME 089), com perda inferior a 12%. Já os agregados miúdos devem ser constituídos de areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos, sendo livres de argila ou substâncias nocivas. Porém, eles devem apresentar resistência e certa angulosidade, além de equivalente de areia (DNER-ME 054) igual ou superior a 55%. Quanto ao material de enchimento, esse deve ser constituído de materiais finamente divididos e não plásticos. Estes materiais são secos e isentos de grumos, a exemplo do cimento Portland, cal extinta, pó calcário e cinza volante, desde que atendam a granulometria identificada na Tabela 3.

**Tabela 2** - Características de cada ensaio referentes à CPA  
(DNER, 1999)

<b>Características</b>	<b>Camada Posa</b>
Porcentagem de vazios	18 a 25
Desgaste à abrasão Los Angeles –Ensaio Cantabro, %máximo	25
Resistência à tração por compressão diametral. A 25°C, kgf/cm <sup>2</sup> , mínimo	5,5

**Tabela 3 - Granulometria do Material de Enchimento da CPA**  
(DNER, 1999)

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso
ANBT	Abertura (mm)	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

Em relação à composição da mistura (pré-misturado a quente com asfalto polímero), o DNER (1999) recomenda, de acordo com a Tabela 4, as tolerâncias de granulometria e porcentagem de cimento asfáltico.

**Tabela 4 - Faixas Granulométricas e Percentuais de Ligante Asfáltico da CPA**  
(DNER, 1999)

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em pesos (Faixas)					Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)	I	II	III	IV	V	
3/4"	19,0	-	-	-	-	100	-
1/2"	12,5	100	100	100	100	70-100	± 7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	± 7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	± 5
Nº 10	2,0	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	± 5
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13	± 5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	± 3
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	± 2
Ligante polimerizado solúvel no tricloroetileno, %		4,0 - 6,0					± 0,3

Quando utilizado material com granulometria que se enquadra nas faixas I ou II, deve ser feita uma camada de revestimento de 3,0 cm e nas demais faixas utiliza-se um revestimento de até 4,0 cm. Os limites da faixa, quando não são ultrapassados, permitem uma tolerância constante, referente a cada abertura da peneira (DNER, 1999).

Em relação ao equipamento, a norma estabelece que ele seja previamente examinado e conte com depósitos para cimento asfáltico modificado por polímero e para agregados, usinas para misturas asfálticas modificadas por polímero, caminhões para transporte da mistura, e equipamentos de espalhamento e para compactação (DNER, 1999).



É importante destacar que a capacidade do depósito de cimento asfáltico modificado por polímero seja suficiente para abastecer três dias de serviço. Já o depósito de agregados deve possuir um silo para o fíler, sendo que todos os silos apresentam capacidade superior a três vezes a do misturador. A usina asfáltica contém uma unidade classificadora de agregados, um misturador, coletor de pó, um termômetro fixado no dosador do ligante e um pirômetro elétrico<sup>5</sup>. Uma alternativa de usina é a do tipo tambor/ secador/ misturador composta de coletor de pó, alimentador de fíler, sistema de descarga da mistura asfáltica com comporta, ou por silos de estocagem. Os caminhões para transporte da mistura são do tipo basculante com caçambas metálicas, lisas e lubrificadas, mas a lubrificação não pode conter produtos que dissolvam o ligante asfáltico. Os equipamentos de espalhamento e acabamento são constituídos de pavimentadoras automotrizes, com parafusos sem fim, dispositivos eficientes de direção, além de câmbio de marchas (para guiá-la para frente e para trás), alisadores e dispositivos para aquecimento. Por fim, o equipamento para compactação deve ser rolo metálico liso do tipo tandem (DNER, 1999).

A execução da Camada Porosa de Atrito (Figura 9) se inicia com a limpeza e pintura de ligação da superfície, com emulsão de ruptura rápida, contendo no mínimo 3% de polímero SBS diluído em água a uma taxa de 0,5 a 0,6 L/m<sup>2</sup>. O asfalto polímero deve alcançar uma temperatura inferior a 180°C, sendo próxima à temperatura do ligante asfáltico (150°C). Já os agregados devem ser aquecidos de 10 a 15°C acima da temperatura do cimento asfáltico, não superando 183°C. A próxima etapa consiste na produção do pré-misturado a quente com polímero em usina e em seguida seu transporte. O percurso até o ponto de aplicação não deve ultrapassar 30 km e a mistura deve ser protegida por lona ou similar. A distribuição da mistura é realizada por máquinas acabadoras, auxiliada por gabaritos longitudinais. Em caso de irregularidades, é indicada uma adição manual da própria mistura através de ancinhos e rodos metálicos (rastelos) (DNER, 1999; FARAH, 2009).

---

<sup>5</sup> Dispositivo de medição de temperatura sem contato direto com o corpo ou meio que se deseja medir.



**Figura 9** - Etapas de Pintura, Inserção do Gabarito e Espalhamento da CPA (FARAH, 2009)

Na etapa de rolagem, conforme especificações, usa-se temperatura de compactação, mais elevada que a mistura, sendo esta de 140°C acrescida de 3°C para cada 1% de polímero. A compactação é realizada no sentido dos bordos para o eixo da pista e nos pontos mais baixos para os mais altos nas curvas, não sendo permitida mudança brusca de direção e inversão de marchas. O rolo, por sua vez, é umedecido e não pode ser estacionado sobre o pavimento recém-rolado. Vale ressaltar que não é permitido o uso de rolos pneumáticos, por favorecerem o efeito da colmatação. A abertura do revestimento ao tráfego só é realizada após o resfriamento completo da mistura (DNER, 1999; FARAH, 2009).

Todo o processo da pavimentação da CPA deverá considerar o impacto ambiental, necessitando de cuidados referentes à preservação ambiental. Para tanto, é preciso o fornecimento da licença ambiental de operação da pedreira/ areal e seguir a norma DNER-ES 279<sup>6</sup> (atual DNIT 105/2009-ES) para os caminhos de serviço. Os depósitos devem ser instalados distantes de cursos d'água e as usinas distantes em 200 m de áreas comunitárias. De acordo com a licença ambiental, devem-se minimizar os efeitos ambientais oriundos da produção do pavimento (DNER, 1999).

O DNER (1999) regulamenta, ainda, a inspeção do controle de qualidade dos materiais, da execução, a verificação final da qualidade e os critérios de aceitação e rejeição. O controle de qualidade do asfalto polímero e dos agregados está descrito na Tabela 5 a seguir.

<sup>6</sup> A norma define a sistemática empregada na execução dos acessos aos diversos locais utilizados por equipamentos e veículos necessários para a construção da obra.

**Tabela 5 - Ensaios Recomendados para Asfalto Polímero e CPA**  
(DNER, 1999)

<b>Controle de qualidade dos materiais</b>	
Asfalto polímero	01 ensaio de penetração a 25°C
	01 ensaio de ponto de fulgor
	01 ensaio de ponto de amolecimento
	01 ensaio de recuperação elástica a 25°C
	01 ensaio de espuma
	01 ensaio de estabilidade ao armazenamento
	01 ensaio de infravermelho para determinação do teor de polímero, para cada 500 toneladas de asfalto polímero
Agregado	02 ensaios de granulometria, de cada silo quente, por jornada de trabalho
	01 ensaio de desgaste Los Angeles, por mês
	01 ensaio de índice de forma, por mês
	01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por mês
	01 ensaio de granulometria do fíler, por mês
	01 ensaio de adesividade, por jornada de trabalho

O controle da execução será realizado em cada uma de suas etapas, de acordo com o que foi regido pela norma. Em relação à verificação final da qualidade, deve-se avaliar a espessura da camada, os alinhamentos e o acabamento da superfície. E, por fim, os critérios de aceitação e rejeição, nos quais serão consideradas a usina e a pista, seguem cálculos especificados pelo DNER (1999).

#### **4.5.2 Efeitos do Ligante Modificado por Polímeros – SBS**

O asfalto é hoje o principal aglutinante utilizado nas construções de rodovias e vias urbanas. Porém, com o aumento do tráfego, houve um desgaste prematuro do pavimento e, conseqüentemente, maior custo de manutenção. Ademais, o uso de ligantes rígidos, a fim de um investimento menor, levou maior taxa de trincas por fadiga e à degradação do pavimento. O estudo com SBS no Brasil teve início em 1995 com o objetivo de modificar as propriedades

do asfalto tradicional, melhorando a conservação do pavimento (AZEVEDO & FILHO, 2014).

O asfalto, embora seja um excelente aglutinante, apresenta limitações como a perda de material pétreo na presença de umidade, perda da resistência mecânica quando o pavimento sofre deflexões, trincas em baixas temperaturas e amolecimento em altas temperaturas, levando a deformações plásticas do pavimento e oxidação, com envelhecimento precoce (AZEVEDO & FILHO, 2014).

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), em um pavimento com asfalto convencional, é usado como aglutinante, ligando os agregados minerais de modo flexível. Porém, esse sofre compressão e tração pelo alto volume de tráfego, acarretando no aparecimento de fissuras e redução da vida útil do pavimento (AZEVEDO & FILHO, 2014).

A aplicação dos polímeros modifica os ligantes asfálticos de tal modo que permite alcançar propriedades importantes. Dentre elas, há a melhoria da suscetibilidade térmica, permanecendo inalterada em uma ampla faixa de temperatura, maior vida útil, devido ao aumento da espessura da película sobre o agregado, capacidade aumentada de coesão, maior poder de adesão, resistindo ao acomodamento da superfície do agregado pela água, e manutenção da integridade do revestimento – mais elástico – mesmo sob elevados níveis de deformação (DUMKE, 2005; AZEVEDO & FILHO; 2014).

O SBS é um polímero da família dos elastômeros, denominado de copolímero de estireno-butadieno-estireno (SBS). O estireno permite a integridade do revestimento em altas temperaturas e o butadieno em uma larga faixa de temperaturas, mas principalmente nas baixas. Desse modo, o SBS minimiza a desagregação e o cisalhamento do concreto asfáltico drenante, podendo ser usado como solução para a maioria dos casos (DUMKE, 2005; AZEVEDO & FILHO, 2014).

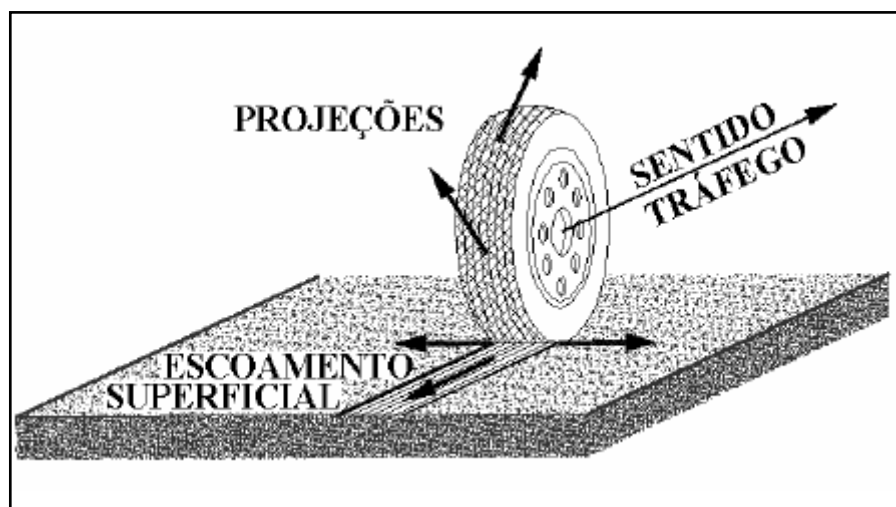
#### **4.5.3 Redução da lâmina d'água**

A CPA apresenta elevado índice de vazios, tornando-a permeável às águas pluviais e, desse modo, ocorre a redução da lâmina d'água da superfície. Com essa propriedade, é ainda possível reduzir a reflexão dos faróis e os *sprays* d'água (DUMKE, 2005; AZEVEDO & FILHO, 2014)

A interação pneu-pavimento incorpora vários aspectos importantes à segurança do motorista como, por exemplo, a resistência à derrapagem. Neste contexto, a qualidade da área de contato pode ser melhorada pela drenagem da água, elevando a aderência entre o pneu e o pavimento (OLIVEIRA, 2003).

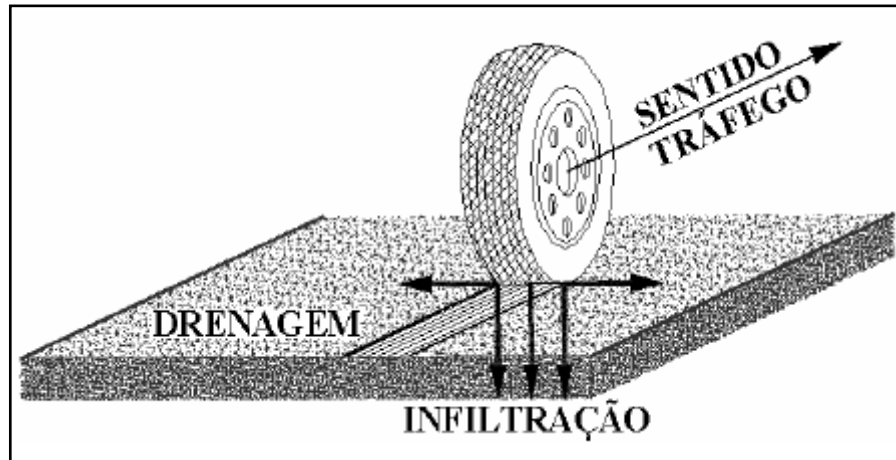
A aderência é dependente da força de atrito entre o contato de duas superfícies, sendo proporcional ao coeficiente de atrito e à intensidade da força normal entre elas. O coeficiente de atrito, por sua vez, depende de fatores como a presença de água, da velocidade de deslocamento, tipo e condição do pavimento, natureza e estado dos pneus. Em superfície de rolamento molhada, o acúmulo de água leva às pressões hidrodinâmicas no contato pneu-pavimento, e dependendo do coeficiente de atrito, a pressão resultante pode superar a força normal exercida pelo pneu sobre o pavimento. Dessa forma, o pneu perde a aderência, levando à aquaplanagem (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

Em um pavimento impermeável, a evacuação da água superficial é feita, somente, pelos sulcos dos pneus e pela superfície do revestimento. Porém, parte da água se acumula no pavimento, formando a lâmina d'água – proporcional a intensidade da chuva e ao comprimento de escoamento – e parte é projetada, formando o *spray* d'água que é prejudicial à visibilidade do motorista (Figura 10). Em contrapartida, na CPA, a água infiltra pelos vazios, verticalmente, ocorrendo o escoamento lento por percolação (Figura 11), o que impede a formação da lâmina d'água, reduzindo, também, o efeito e a formação de névoa atrás dos veículos em movimento (Figura 12) (DUMKE, 2005).



**Figura 10** - Esquema de Escoamento de Água em um Revestimento Impermeável

(DUMKE, 2005)



**Figura 11** - Esquema de Escoamento de Água na CPA  
(DUMKE, 2005)



**Figura 12** - Formação de Névoa em Pavimento de Concreto Asfáltico Convencional, diferentemente da CPA  
(DUMKE, 2005)

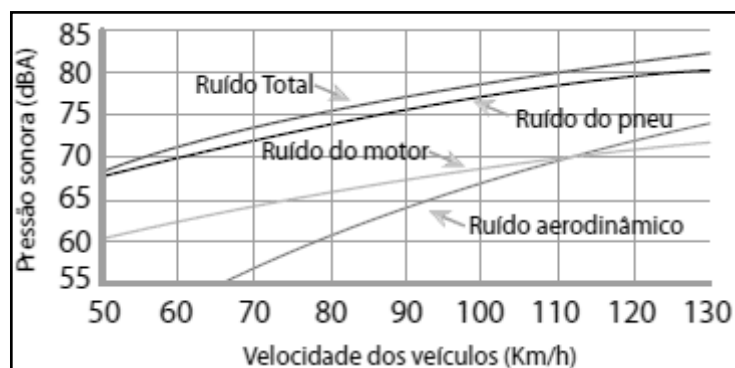
Estudos em vários locais no mundo mostraram que a incidência de acidentes em pistas molhadas era bem maior quando comparada aos ocorridos em pistas secas. Nessas condições, a espessura da lâmina d'água, a rugosidade da superfície e a capacidade de

evacuação da água pelos sulcos dos pneus são de grande influência na aderência pneu-pavimento e no acontecimento ou não de acidentes. A CPA, como um pavimento permeável, reduz a espessura da lâmina d'água, tornando a via, por isso, mais segura (OLIVEIRA, 2003).

#### 4.5.4 Redução de Ruídos

A qualidade de vida das pessoas, embora com todo avanço técnico-científico, sofreu queda nos últimos anos, e um dos fatores que levou a essa foi, sem dúvidas, a poluição. Nos centros, a poluição sonora tornou-se um problema de grande relevância e que estimula no mundo inteiro estudos para a redução da mesma. O trânsito de veículos – principalmente em locais de concentração de tráfego e vias de grande circulação – tem contribuído de forma significativa para esse quadro (OLIVEIRA, 2003).

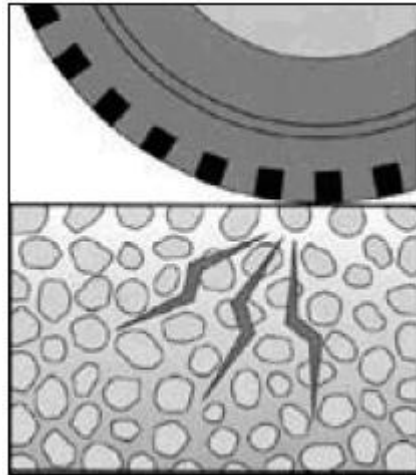
Em pesquisas realizadas em Brasília, percebeu-se que o tráfego é o principal fator de formação de ruídos em áreas residenciais, elevando os níveis de poluição sonora além do aceitável por norma. O ruído, nesses casos, é causado pelo sistema de motor, escapamento e sistema de transmissão, contato pneu-pavimento e efeito aerodinâmico. A Figura 13 mostra a parcela de cada um dos fatores de emissão dos ruídos, o que permite observar como o contato pneu-pavimento influencia no ruído total. Assim, outros estudos foram realizados em diversos países a fim de determinar medidas que minimizassem os ruídos, sendo uma delas, o uso de pavimentos asfálticos porosos (OLIVEIRA, 2003; ABEDA, 2012).



**Figura 13** - Emissão de ruídos provocada por veículos  
(ABEDA, 2012)

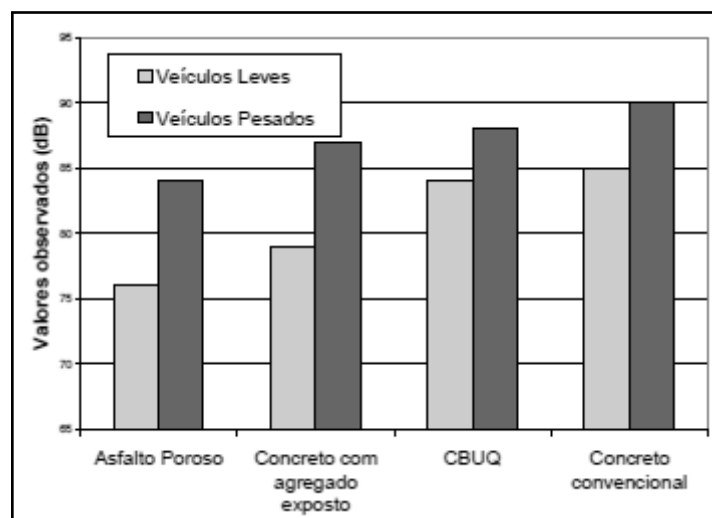
O impacto (impressão) entre o contato do pneu com a superfície durante a movimentação do veículo, associado às vibrações, é responsável por parte dos ruídos

provocados no pavimento. Além desses fatores, é importante considerar, ainda, o fluxo de ar, a fricção e o deslizamento entre o pneu e o pavimento. Nesse contexto, a CPA mostra-se eficiente devido à alta taxa de vazios da mistura, que permite a absorção do fluxo de ar, reduzindo os ruídos (Figura 14) (OLIVEIRA, 2003).



**Figura 14** - Processo de Redução de Ruídos por Absorção do Fluxo de Ar pelos Vazios (OLIVEIRA, 2003)

A Figura 15 compara a emissão de ruídos para veículos leves e pesados nos diversos tipos de pavimentos. Percebe-se, por meio dessa, que a CPA apresenta menor valor em decibéis (dB) de geração de ruídos quando comparada aos demais revestimentos, para ambos os tipos de veículos (OLIVEIRA, 2003).



**Figura 15** - Emissão de Ruídos para Vários Tipos de Pavimentos (OLIVEIRA, 2003)



A redução dos ruídos é muito mais significativa em vias nas quais são permitidas altas velocidades. Conseqüentemente, onde houver maior emissão de ruídos, a CPA apresentará maior eficácia (OLIVEIRA, 2003).

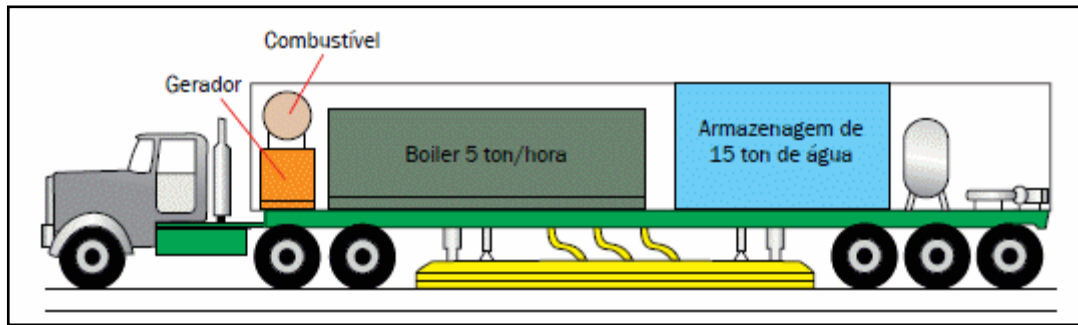
A diminuição da emissão de ruídos tende a perder seu efeito gradualmente com o passar dos anos, na medida em que ocorre a redução da porosidade do pavimento. A fim de minimizar os efeitos prejudiciais à propriedade desse pavimento, na Europa tem-se aplicado a CPA em duas camadas, sendo a da superfície mais fina, o que impede a colmatação prematura dos poros. Portanto, a CPA – embora não tenha sido desenvolvida com essa finalidade – é capaz de minimizar os ruídos provocados pelo contato entre pneu-pavimento, auxiliando na redução da poluição sonora e, dessa forma, melhorando a qualidade de vida da população residente (OLIVEIRA, 2003; ABEDA, 2012).

#### **4.5.5 Desvantagens da CPA**

A principal desvantagem da CPA é a colmatação dos poros, a qual tende a ocorrer com o passar dos anos da aplicação desse pavimento, reduzindo a capacidade de drenagem e dos ruídos. Outra desvantagem é seu preço que pode ser até 40% superior ao de um pavimento convencional (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

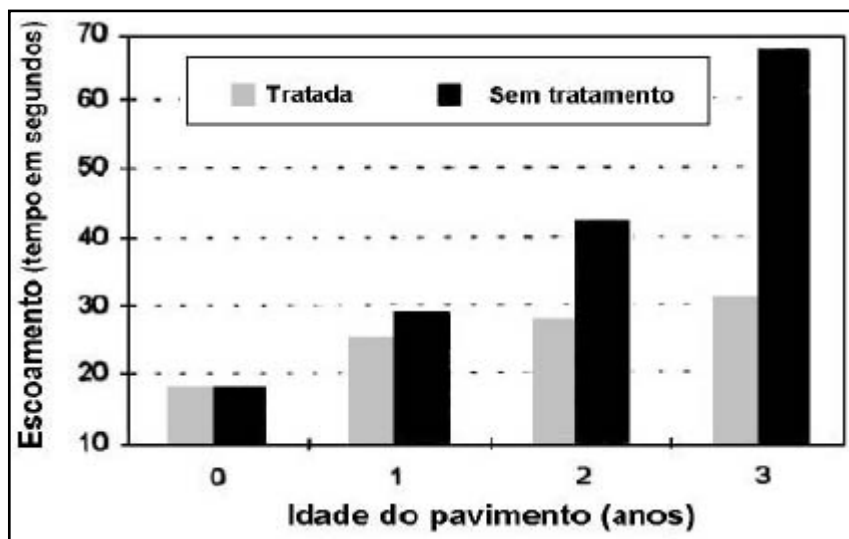
A colmatação depende, basicamente, da intensidade da poluição, tamanho e estrutura dos vazios, da declividade da camada densa e da velocidade e efeito limpante do tráfego. Essa, portanto, é maior em acostamentos do que nas faixas da via, principalmente porque não ocorre o efeito natural limpante do pneu sobre o pavimento. A fim de se evitar esta situação pode-se revestir os acostamentos com camada impermeável (DUMKE, 2005).

Atualmente, já existem equipamentos que permitem a limpeza desse pavimento. As máquinas (Figura 16) permitem a limpeza por meio da desobstrução dos vazios por jatos de água de pressão de 120 a 200 kg/cm<sup>2</sup> e posterior aspiração (FARAH, 2009).



**Figura 16** - Máquina de Limpeza com Capacidade de 550 m<sup>2</sup>/hora e Ciclo de Tempo de 3 minutos (FARAH, 2009)

A limpeza do pavimento asfáltico drenante tem mostrado considerável redução na perda da permeabilidade desse revestimento, podendo ser recuperada no primeiro ano cerca de 50% e, já no segundo ano, até 70%. Um estudo realizado na Espanha em rodovias ilustra bem a importância da limpeza do pavimento (Figura 17). A manutenção deve ocorrer periodicamente, sendo recomendado uma vez ao ano (DUMKE, 2005).



**Figura 17** - Estudo realizado nas Rodovias Espanholas mostrando a Evolução da Colmatação entre Pavimentos Tratados com Limpeza e não Tratados (DUMKE, 2005)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A infraestrutura dos centros urbanos sem o planejamento e a adequada execução não considerou a urbanização acelerada, impactando a qualidade de vida da população e o meio ambiente. As enchentes são consequência desse crescimento e fatores como produção de lixo, dispositivos hidráulicos ineficientes e os pavimentos colaboraram significativamente para este problema urbano. O pavimento contribui para a impermeabilização do solo, por estar em grande parte dos traçados urbanos, prejudicando o reabastecimento do lençol freático.

As edificações, calçadas, estacionamentos e ruas, dentre outras superfícies, por serem impermeáveis, aumentam a vazão máxima durante as chuvas. Sem o adequado planejamento de drenagem e escassa retenção de água, a capacidade natural de escoamento conduzida pelos dispositivos hidráulicos é ultrapassada, provocando efeitos à jusante e, assim, as enchentes.

As medidas de controle para evitar o escoamento acelerado poderiam ser o aumento da taxa de infiltração e da retenção da água por meio de dispositivos de drenagem e pavimentos permeáveis. Os dispositivos sustentáveis, como os telhados verdes, reservatórios, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, assemelham-se mais às condições naturais, o que favorece a redução da poluição dos rios e das vazões à jusante.

Os pavimentos permeáveis possuem, como diferencial, capacidade de drenagem. Os principais tipos são os pavimentos porosos e os blocos de concreto vazados ou intertravados. Normalmente, os pavimentos porosos, a exemplo da CPA, contêm em seu revestimento duas camadas, a primeira permeável e a segunda impermeável, de função estrutural. Essa última camada, por apresentar granulometria densa, impede a infiltração de água para o interior da base até o subleito, não deixando comprometer a capacidade estrutural do solo.

A capacidade drenante da CPA está relacionada ao alto índice de vazios que é garantido pela utilização de agregados de alta qualidade e resistência, além de curvas granulométricas abertas. Segundo DNER-ES 386/99, o percentual de vazios da CPA pode variar de 18-25%, o que permite estocar temporariamente a água pluvial, reduzindo os danos de chuvas intensas. Já o asfalto convencional, regido pela DNIT-ES 031/2006, apresenta apenas 3-5% de vazios que torna este revestimento praticamente impermeável, aumentando a vazão de escoamento.

A fim de ilustrar tais dados, foi realizada uma estimativa do comportamento da CPA, caso fosse empregado em toda extensão da Av. Mariza de Souza Mendes, em contraste ao

atual revestimento. A cidade de Ouro Branco - MG, com população de 35260 habitantes, segundo censo do IBGE (2010), tem como uma das principais vias, a Avenida Mariza de Souza Mendes. Essa é composta por duas pistas em sua maior extensão, de largura média de 9 m, com duas faixas em cada pista para tráfego, além de canteiro central. Seu comprimento entre o Supermercado Rotor (cota mais alta) e a Av. Cônego Luís Vieira da Silva (cota mais baixa) é de aproximadamente 3,5 Km (Figura 18). É uma avenida que possui pontos comerciais e residenciais e interliga os bairros Centro, Siderurgia, Pioneiros e Inconfidentes, apresentando um tráfego significativo para a circulação rápida entre os mesmos.



**Figura 18** - Localização e Dados da Av. Mariza  
(GOOGLE MAPS, 2014)

A água precipitada sobre a via tende a percorrer seu trajeto até a cota mais baixa, justificado pelo seu desnível topográfico de aproximadamente 78 m. O revestimento da avenida possivelmente é o CAP 50-70 de espessura de 5 cm, considerando que é o asfalto mais produzido no Brasil, segundo UFBA (2014).

O estudo comparativo da capacidade drenante do revestimento poroso em relação ao convencional foi realizado a fim de ressaltar a capacidade de armazenamento de água da CPA. Para tal, foram considerados dados da norma da CPA (DNER 386/99) e do CAP (DNIT 031/2006).

As premissas utilizadas para a CPA foram: volume de vazios interligados igual a 25%, coeficiente de escoamento superficial de 0,58 de acordo com ALESSI *et al.* (2006) e espessura da camada porosa de 5 cm segundo Araújo *et al.*(2000). Em relação ao asfalto convencional, foram considerados os seguintes dados: índice de vazios igual a 5%, coeficiente

de escoamento superficial de 0,90 segundo Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006) e espessura do revestimento de 5 cm.

Através do programa *Plúvio 2.1* (ANEXO C - Relatório do Programa *Plúvio 2.1*) foram obtidos os coeficientes  $k$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  para a equação da chuva na cidade de Ouro Branco-MG. A partir das fórmulas de Kirpich, de intensidade da chuva e do Método Racional, associados ao cálculo dos volumes armazenado e escoado obteve-se a porcentagem de absorção dos revestimentos em questão (APÊNDICE 1).

A sequencia básica de cálculos é apresentada abaixo:

Método de Kirpich

$$t_c = 0,0078 \left( \frac{L^3}{h^{0,385}} \right)^{0,77} = 0,0078 \left( \frac{3500^3}{h^{0,385}} \right)^{0,77} = 18 \text{ min}$$

Cálculo da Intensidade da Chuva

$$i = \frac{k \cdot T^a}{(t + b)^c} = \frac{3359,569(2^{0,221})}{(18 + 25,101)^{1,026}} = 82,37 \text{ mm/h} = 0,02288 \text{ mm/s}$$

Método Racional:

- CPA

$$Q = CiA = 0,58 * \frac{0,02288}{1000} * 1 = 1,32704 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

- Asfalto Convencional

$$Q = CiA = 0,90 * \frac{0,02288}{1000} * 1 = 2,059 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Volume Escoado

- CPA

$$V_e = Qt_c = 1,32704 * 10^{-5} * 18 * 60 = 0,0143 \text{ m}^3 = 14,3 \text{ L}$$

- Asfalto Convencional

$$V_e = Qt_c = 2,059 * 10^{-5} * 18 * 60 = 0,02224 \text{ m}^3 = 22,24 \text{ L}$$

Volume Armazenado

- CPA, considerando 25% de vazios em sua altura ( $H$ ) e área ( $A$ ) igual a 1 m<sup>2</sup>.

$$V_a = HA = 0,25 * 0,05 * 1 = 0,0125 \text{ m}^3 = 12,5 \text{ L}$$

- Asfalto Convencional, considerando 5% de vazios em sua altura ( $H$ ) e área ( $A$ ) igual a 1 m<sup>2</sup>.

$$V_a = HA = 0,05 * 0,05 * 1 = 0,0025 m^3 = 2,5 L$$

Pode-se inferir, com os dados, que a Camada Porosa de Atrito consegue absorver 87,41% do volume escoado para a intensidade da chuva em Ouro Branco-MG, enquanto que o Concreto Asfáltico Convencional absorve apenas 11,24%. A partir das equações, percebe-se que, ao aumentar a espessura da camada, é possível elevar a capacidade de retenção do volume de água nos vazios deste revestimento. Outra alternativa seria implementar, junto ao pavimento poroso, um reservatório de água que auxilie na contenção e no retardo do escoamento para os dispositivos de drenagem.

A CPA é uma opção viável de pavimento para a Av. Mariza de Souza Mendes porque o trajeto da água local segue pela via e, em casos de chuvas intensas, o revestimento reduziria o escoamento superficial, evitando possíveis enchentes à jusante. Esta diminuição tornaria o tráfego de veículos mais seguro, reduzindo a lâmina d'água e o efeito de aquaplanagem.

O crescimento da cidade de Ouro Branco-MG acarretará no aumento das áreas impermeáveis o que exigirá medidas de drenagem mais robustas. Neste contexto, seria interessante a utilização da CPA como auxílio para reduzir os dispositivos. Além disso, como há áreas residenciais próximas à avenida, o revestimento poroso diminuiria a poluição sonora, melhorando a qualidade de vida dos moradores.

O pavimento convencional, por ser impermeável, aumenta a lâmina d'água, o que reduz o conforto e a segurança dos usuários da via, em situações de chuvas intensas. A formação de *spray* d'água é prejudicial à visibilidade do motorista e também incômoda ao pedestre, devido à projeção da água pelos veículos. O acúmulo de água no pavimento acarreta na perda da aderência pneu-pavimento, o que resulta em dificuldades de conversões e manobras, aumentando a incidência de acidentes.

A CPA, porém, permite a infiltração da água pelos vazios, reduzindo significativamente a lâmina d'água, podendo até evitar a formação da mesma. Isso ocorre devido ao escoamento lento por percolação, diminuindo o efeito de formação da névoa e do reflexo luminoso dos veículos em movimento. A textura rugosa do revestimento poroso, permitida pela granulometria aberta, garante um atrito pneu-pavimento aceitável às condições climáticas, ainda que ocorra a lâmina d'água.

A poluição sonora é um dos principais problemas urbanos no qual o tráfego de veículos é o grande responsável. Embora a CPA não tenha sido desenvolvida com a finalidade

de redução dos ruídos, pela presença de vazios, ocorre a absorção do fluxo de ar o que minora a emissão das ondas sonoras.

O asfalto convencional é composto pelo aglutinante de Cimento Asfáltico de Petróleo, garantindo a ligação entre os agregados minerais. Embora seja um ótimo aglutinante, fatores externos como a umidade e o tráfego intenso podem comprometer sua vida útil. As principais limitações deste ligante são a perda de material pétreo e da resistência mecânica, trincas em baixas temperaturas e amolecimento em altas temperaturas, além da oxidação, com envelhecimento precoce.

A CPA, todavia, contém o ligante modificado pelo polímero SBS, o qual melhora as propriedades do revestimento. O SBS suporta maiores variações de temperatura, ou seja, ele possui um comportamento mais elástico, o que proporciona ao revestimento uma maior resistência a trincas. Este aglutinante confere ainda melhor desempenho da ligação dos agregados, mantendo-os unidos, o que diminui a deformação plástica, aumentando sua durabilidade.

A garantia da qualidade da CPA está relacionada ao controle tecnológico preciso dos materiais que constituem a mistura e de sua execução em campo. Este controle tem os padrões estipulados pela DNER-ES 386/99 e, quando não atendidos, podem prejudicar o resultado final esperado da Camada Porosa de Atrito.

Mesmo com o cumprimento da norma, não se elimina a possibilidade da CPA de sofrer o efeito de colmatação. O entupimento dos vazios ao longo dos anos pode ser percebido como a maior dificuldade para a implementação deste revestimento. No país, não se emprega, ainda, a CPA em vias urbanas, o que dificulta avaliação de seu comportamento e alternativas adequadas de manutenção condizentes com a realidade brasileira.

O investimento inicial da CPA é mais caro, quando comparado ao asfalto convencional, devido, principalmente, à necessidade de adição de polímero e controle tecnológico dos materiais, da produção e da execução. Porém, ao se pensar em sustentabilidade, a implantação da Camada Porosa de Atrito contribui para a mudança de conceitos enraizados de desenvolvimento urbano a todo custo, sem considerar os efeitos ambientais, sociais e econômicos.

O controle tecnológico e ambiental pelo uso da CPA é feito de maneira racional, analisando as interferências e impactos no meio urbano. Neste contexto, sua principal função de reduzir o escoamento superficial pode prevenir as enchentes, que atualmente corresponde a

um fenômeno recorrente e traz prejuízos econômicos e sociais mais onerosos frente às manutenções necessárias à CPA. O atual momento brasileiro permite uma reflexão sobre o assunto, considerando os investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento, o que possibilita uma mudança do paradigma ao se investir em prevenção, como a implementação de pavimentos permeáveis e não apenas em ações corretivas.



## 6 CONCLUSÃO

O atual estudo apresentou as propriedades da Camada Porosa de Atrito (CPA), mostrando sua eficiência como alternativa sustentável de pavimento em centros urbanos. No Brasil, seu uso é ainda restrito aos aeroportos e algumas rodovias e estacionamentos, sendo pouco implantado.

Percebe-se que a CPA apresenta vantagens que sobressaem sobre os aspectos dificultadores do processo. Este revestimento, em comparação ao asfalto convencional, diferencia-se, principalmente, pela adição de polímero ao ligante e pela porcentagem de vazios, garantida pela granulometria aberta adotada, conferindo seus principais benefícios.

A implantação da CPA no meio urbano é interessante, pois melhoraria a qualidade de vida dos moradores e facilitaria as condições de tráfego de veículos. Destaca-se pela sua capacidade drenante, redução da lâmina d'água e, conseqüentemente dos borrifos de água, reflexo luminoso e da hidroplanagem, além de amenizar a poluição sonora causada pelo tráfego de veículos. Contudo, a CPA com o tempo, se não houver a adequada manutenção, tende a colmatar e tornar-se impermeável, precisando, ainda, aperfeiçoar as técnicas de limpeza do pavimento.

Um grande problema, atualmente, são as enchentes e as medidas tomadas, que não são capazes de conter as conseqüências da intensa urbanização. A análise da CPA realizada confirma suas qualidades e a viabilidade do processo de produção e execução. Portanto, tal estudo objetivou difundir o assunto no meio acadêmico, o que pode estimular pesquisas e ensaios na área para sanar as dificuldades ainda presentes em sua implantação e manutenção no meio urbano.

## REFERÊNCIAS

ABEDA, A. B. (mar/abril de 2012). Avaliação do ruído causado por diferentes revestimentos asfálticos. *Asfalto em Revista*, 22.

AGÊNCIA BRASIL. (13 de junho de 2013). *Crédito para Pavimentação de vias urbanas subiu de R\$ 2,4 bilhões para R\$ 9,6 bilhões*. Acesso em 07 de janeiro de 2014, disponível em Agência Brasil: [www.agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2013-06-13/credito-para-pavimentacao-de-vias-urbanas-subiu-de-r-24-bilhoes-para-r-96-bilhoes](http://www.agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2013-06-13/credito-para-pavimentacao-de-vias-urbanas-subiu-de-r-24-bilhoes-para-r-96-bilhoes)

ALESSI, F; KOKOT, P. J.; GOMES, J. (2006). Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. Curitiba: *da Vinci*, v. 3(1), pp. 139-156.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E., & GOLDENFUM, J. A. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *RBRH - Rev Bras de Recursos Hídricos*, 5(3), pp. 21-29.

AZEVEDO, P. N., & FILHO, A. F. (s.d.). *Asfalto Modificado com Polímero*. Acesso em 02 de janeiro de 2014, disponível em [info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Mono3\\_0028.pdf](http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Mono3_0028.pdf)

BALBO, J. T. (2007). *Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e reestruturação*. São Paulo: Oficina de Textos.

BELMIRO, P. N. (set/outubro de 2010). O crescimento da demanda de asfalto e seus novos desafios. *Asfalto em revista*, 13-14.

BENEDETTO, A., & UMILIACO, A. (2014). Evaluation of Hydraulic Permeability of Open-Graded Asphalt Mixes Using a Full Numerical Simulation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, pp. 599-606.

BERNUCCI, L. B. (jul/agosto de 2009). Engenharia e Qualidade no desenvolvimento do Asfalto Brasileiro. 6-8. (A. e. Revista, Entrevistador)

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M., CERATTI, J. A., & SOARES, J. B. (2008). *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA.

BERTONI, J. C., & TUCCI, C. E. (2003). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

BRASIL ACESSÍVEL, P. B. (2006). 2 Construindo a cidade acessível. In: S. N. Urbana. Brasília.

DANTAS, L. N., & BERNUCCI, L. B. (Jan/Fevereiro de 2009). Qualidade dos Asfaltos e da Pavimentação Asfáltica. *Asfalto em Revista*, 3, 16-19.

DREELIN, E. A., FOWLER, L., & CARROLL, R. (2006). A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. *Science Direct*, 40, pp. 799-805.

DNER, D. N. (1999). Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito. 1-15. Rio de Janeiro.

DNIT, D. N. (2006). Manual de Pavimentação. 3ª, 274 p. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes.

DNIT, D. N. (2006). Manual de Drenagem de Rodovias. 2ª, 333 p. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes.

DNIT, D. N. (2006). 031/2006 Paviamentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. 14 p. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes.

DUMKE, M. P. (2005). Dissertação. *Concreto Asfáltico Drenante com Fibras de Celulose, Ligante Modificado por Polímero e Asfalto-borracha*, 1-104.

ESTADO DE MINAS. (09 de setembro de 2013). *Estado de Minas*. Acesso em 02 de janeiro de 2014, disponível em [http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/09/03/interna\\_gerais,443706/belo-horizonte-terapacotao-de-investimentos-contras-enchentes-em-2014.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/09/03/interna_gerais,443706/belo-horizonte-terapacotao-de-investimentos-contras-enchentes-em-2014.shtml)

FARAH, H. (jul/agosto de 2009). Camada Porosa de Atrito (CPA). *Asfalto em Revista*, 13-16.

FERREIRA, J. M. (2007). Pavimentos em espaços públicos urbanos: Contribuição para a análise e concepção de soluções. *Tese: Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território*, 1-85. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

IBGE. (2010). *Censo 2010*. Acesso em 06 de junho de 2014, disponível em <http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>

IBGE. Acesso em 02 de janeiro de 2014, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/indicadoresminimos/notasindicadores.shtm>

KRISHNAN, J. M., & RAO, C. L. (2001). Permeability and Bleeding of Asphalt Concrete Using Mixture Theory. *International Journal of Engineering Science*, 39, pp. 611-627.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, S. N. (2013). Anexo I - Manual para apresentação de propostas do programa PAC 2 pavimentação e qualificação de vias urbanas. 1-13.

OLIVEIRA, C. G. (2003). Dissertação de Mestrado em Geotecnia. *Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante*, 1-87.

PAC 2, P. d. (2014). *Sobre o PAC*. Acesso em 08 de janeiro de 2014, disponível em Ministério do Planejamento: <http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>

PLANMOB. (2007). 1 Caderno de Referência para a Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. In: S. N.-M. Cidades, *PlanMob - Construindo a cidade sustentável* (pp. 77-78).

SALES, T. L. (2008). Pavimento Permeável com Superfície em Blocos de Concreto de Alta Porosidade. *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina*, 1-3.

SILVA, D. D., PEREIRA, S. B., PRUSKI, F. F., FILHO, R. R., LANA, A. M., & BAENA, L. G. (2003). Equações de Intensidade Duração Frequência da Precipitação Pluvial para o Estado de Tocantins. *Engenharia na Agricultura*, 11, pp. 7-14.

SOUZA, C. F., CRUZ, M. A., & TUCCI, C. E. (2012). Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. *RBRH - Rev Bras de Recursos Hídricos*, 17(2), 9-18.

THOMPSON, D. B. (2006). The Racional Method. 1-7. Copyright.

TUCCI, C. E. (1995). Inundações Urbanas.

TUCCI, C. E. (1997). Água no meio urbano. In: *Água Doce* (pp. 1-40). Rio Grande do Sul.

TUCCI, C. E. (1997). Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção. *Rev. Bras. de Recursos Hídricos*, 2 (2), 5-12.

TUCCI, C. E. (1999). Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. *I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, pp. 1-16.

UFBA, Materiais Empregados na Pavimentação: Ligantes asfálticos. Acesso em 27 maio 2014, cap.6, p. 6, disponível em <http://www.transportes.ufba.br/Arquivos/ENG216/CAP6.pdf>.

UGEDA JÚNIOR, J. C. (2007) Urbanização Brasileira, Planejamento Urbano e Planejamento da Paisagem. *Universidade Estadual Paulista*. 15 p.

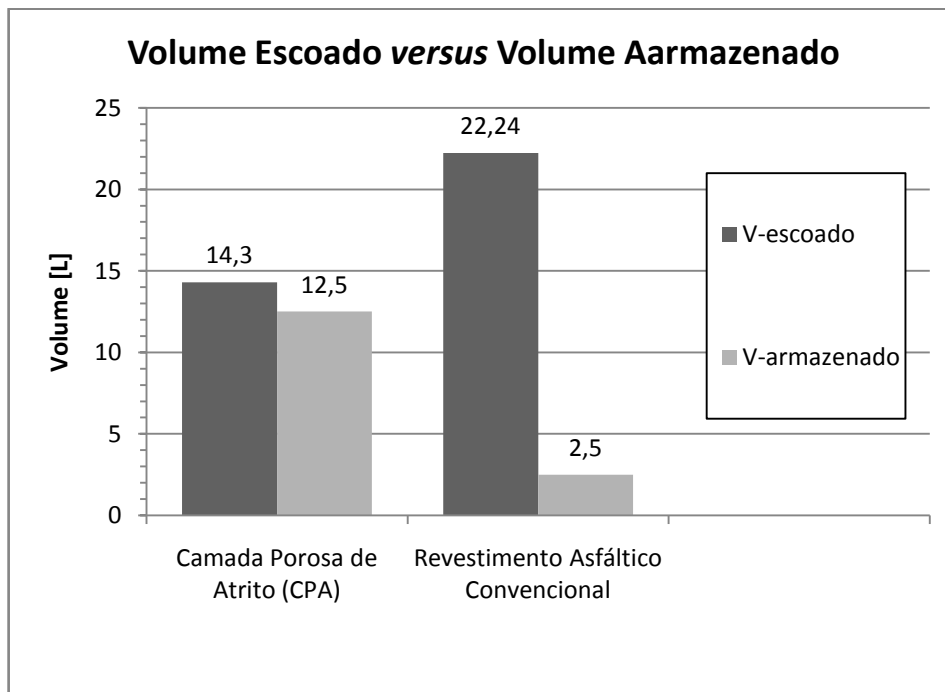
UFMG. Acesso em 06 de junho de 2014, disponível em [www.ehr.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/02/drenagem.doc](http://www.ehr.ufmg.br/wp-content/uploads/2014/02/drenagem.doc)

VEJA. (16 de janeiro de 2013). *Veja*. Acesso em 02 de janeiro de 2014, disponível em <http://vejabh.abril.com.br/edicoes/problema-enchentes-chuvas-torrenciais-bh-tem-solucao-730677.shtml>

## 7 APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Comparativo de Drenagem dos Cálculos entre CPA e Asfalto Convencional

	$Q_{escoada}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_{escoado}$ (L)	$V_{armazenado}$ (L)
CPA	$1,32704 \times 10^{-5}$	14,3	12,5
CAP	$2,059 \times 10^{-5}$	22,24	2,5



## ANEXOS

### **ANEXO A – Problema das enchentes após chuvas torrenciais em BH tem solução Enfrentar os alagamentos que se repetem ano a ano exige não só obras complexas e caras, mas também o comprometimento de toda a população**

(VEJA, 2013)

Luisa Brasil e Paola Carvalho



O Anel Rodoviário, na altura do bairro Universitário, na última segunda (7): motoristas presos em meio ao temporal

Bastou menos de meia hora de uma forte tempestade, na última segunda (7), para que cenas de alagamento, trânsito congestionado e carros arrastados pela correnteza se espalhassem, mais uma vez, por diversos pontos da região metropolitana. Na Rua Jaceguai, no Prado, a água atingiu mais de 1 metro, encobrindo parcialmente os veículos. Na Avenida Cristiano Machado, no bairro São Paulo, o tráfego parou por causa da inundação na pista. Em Vespasiano, cidade vizinha à capital, foi emblemática a situação vivida pelo atacante Jô, do Atlético. Seu BMW 650i Coupé, cujo modelo zero-quilômetro custa 578 000 reais, ficou ilhado. O jogador teve de abandonar o carro e se aventurar a pé, descalço, pela água barrenta para se apresentar no Centro de Treinamento do Galo. É bom que os moradores estejam preparados para a repetição dessas cenas até que as águas de março fechem o verão.

A frequência cada vez maior de enchentes é o resultado de uma perversa combinação de fatores desde que se definiu, há mais de um século, o traçado geométrico da nova capital mineira. Uma opção que é hoje questionada por muitos especialistas, a cultura da canalização dos rios surgiu ainda nos tempos do engenheiro Aarão Reis. "A rua prevaleceu sobre a sinuosidade dos cursos d'água", diz o ex-diretor da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (Sudecap) José Roberto Champs. "Os córregos foram confinados em leitos estreitos, não se previu que a cidade cresceria e as bacias de drenagem seriam impermeabilizadas pelo processo de urbanização." Por causa do crescimento acelerado e da intensa impermeabilização do solo, hoje nossa rede de drenagem não suporta a vazão das águas pluviais, o que torna 88 pontos da capital suscetíveis a alagamentos.

A prefeitura investiu 2,4 bilhões de reais em obras de combate às enchentes desde 2008, mas está bem longe de conseguir resolver a questão. "Ainda são necessários mais 5 bilhões de reais para solucionar todos os problemas", admite o prefeito Marcio Lacerda. Mesmo que tivesse todo esse dinheiro à disposição nos cofres municipais, o prefeito avisa que precisaria de cinco anos para concluir os projetos. No fim de 2012, ao ser questionado sobre ocorrências registradas durante as primeiras chuvas da temporada - como a morte de Gilmar Almeida Santana, de 48 anos, arrastado pelas águas de um córrego no bairro Castelo -, Lacerda ironizou: "Nós falhamos. Deveríamos ter sido mais babás dos cidadãos para que eles não corressem riscos". O prefeito acabou se desculpendo, classificou sua colocação como "infeliz" e garantiu aos belo-horizontinos que fará todos os esforços para minimizar as inundações e seus efeitos. São fundamentais as ações do poder público para evitar e controlar as enchentes, mas de fato não se pode esperar que a prefeitura vigie cada pessoa que se arrisca no período chuvoso. E a população também tem sua parcela de culpa. Cada vez que um morador deixa seu lixo à deriva pelas calçadas está contribuindo para o entupimento das bocas de lobo. Combater práticas como essa é um dever de cada um, não apenas do governo. Só o trabalho em diversas frentes, com apoio e comprometimento coletivo, poderá mitigar os efeitos das enchentes. As soluções não são simples nem rápidas. Mas existem. Especialistas ouvidos por VEJA BH apontam sete medidas essenciais para minimizar o drama que afeta os belo-horizontinos.





Rua dos Pampas, no Prado: o Mégane prata ficou parcialmente submerso

### Construir reservatórios

Os reservatórios de retenção de águas pluviais, também conhecidos como piscinões, são obras caras, mas de resultados comprovados. Um dos exemplos mais bem-sucedidos é a Barragem Santa Lúcia, no fim da Avenida Prudente de Moraes. Além de represar a água das chuvas, ela ganhou uma função social - seu entorno virou área de lazer para os moradores da região. Belo Horizonte já conta com onze reservatórios desse tipo. Mais quatro estão sendo construídos na região dos córregos Jatobá e Olaria, no Barreiro, e no complexo da Avenida Várzea de Palma, em Venda Nova, a um custo de 239 milhões de reais, e deverão ficar prontos ainda neste ano. Há estudos para fazer outros cinco piscinões, um investimento de 482 milhões de reais que ainda não foi aprovado. O desafio nesse tipo de projeto é definir corretamente a dimensão do reservatório. O do Córrego Engenho Nogueira, construído no cruzamento do Anel Rodoviário com a Avenida Carlos Luz, na região da Pampulha, acabou não cumprindo sua função. Essa obra de 15 milhões de reais concluída em 2010 não conseguiu evitar os alagamentos no câmpus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). "A bacia foi mal concebida, é superficial, e o volume ficou muito aquém do que deveria", afirma o professor Marcio Baptista, do Departamento de Engenharia Hidráulica da UFMG.

### Revisar a política de canalização

Em um cenário ideal, os rios não seriam canalizados, correriam livres em seu leito e a malha viária acompanharia seu desenho. Não é o que ocorre por aqui — são 200 quilômetros de canalização. "Quando transformamos córregos em ruas, é natural que as ruas se convertam em rios", diz Marcos Vinícius Polignano, coordenador do projeto Manuelzão, da UFMG, para revitalização de bacias hidrográficas. Ele é um dos que defendem a interrupção da política de canalização em BH, que tem outros 200 quilômetros de cursos d'água em seu leito natural. Há quem seja a favor de um processo ainda mais ousado, de descanalização. Já existem pesquisas no Departamento de Engenharia Hidráulica da UFMG que propõem a reabertura de um trecho do Córrego Engenho Nogueira dentro do *campus*, onde as inundações são frequentes. Muitos especialistas, porém, reconhecem que há áreas onde a canalização dos córregos é irreversível, como nas avenidas Cristiano Machado e Francisco Sá. "A canalização é para a cidade o que uma ponte de safena representa para o coração", compara o engenheiro e professor Mário Cicareli. "Intervenções assim são necessárias quando as ruas adoecem."

#### Investir em campanhas de educação

Quanto mais lixo é depositado incorretamente pela população, maior é o risco de entupimento das bocas de lobo e galerias da cidade. Na última segunda, a comprovação disso se viu na Rua Ituiutaba, no Prado, onde o lixo boiava na via alagada. A Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) recolhe 4 500 toneladas de dejetos por dia e 700 delas são retiradas de bocas de lobo e vias públicas. "Vivemos em uma sociedade de consumo, que gera cada vez mais resíduos", diz Célia Rennó, presidente da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. A solução passa por educação ambiental, um trabalho de formiguinha que demora a dar resultados, mas é essencial.

#### Fiscalizar as construções

O desabamento de um edifício no Buritis e de outro no Caiçara, em janeiro de 2012, ainda está fresco na memória dos belo-horizontinos. Depois do episódio, o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (Crea-MG) enviou à Câmara Municipal uma proposta para alterar a legislação municipal sobre as edificações. Uma das sugestões é a obrigatoriedade de vistorias periódicas nos prédios já construídos. "Quanto mais antiga a construção, menor deveria ser o intervalo entre uma vistoria e outra", explica Clemenceau Chiabi, diretor do

CREA-MG. O objetivo é identificar qualquer comprometimento na estrutura antes de o problema se tornar irreversível. O projeto está em tramitação na Câmara.

### Segurar a água

Belo Horizonte se tornou uma cidade impermeável. A água das chuvas não consegue penetrar no solo e forma cachoeiras. Para aumentar a absorção, é preciso ampliar as áreas verdes e utilizar materiais porosos no calçamento. Nos imóveis particulares, uma boa alternativa é a construção de pequenos reservatórios, que funcionam como bacias de retenção. "O poder público tem de exigir contrapartidas como essas dos empreendimentos privados", afirma o coordenador do Projeto Manuelzão, Marcos Vinícius Polignano.



Rua Ituiutaba, também no Prado: a falta de educação da população resulta em bocas de lobo entupidas pelo lixo

### Melhorar o sistema de alerta

As placas amarelas e vermelhas que avisam sobre o risco de inundação em determinados locais da cidade são úteis, mas não suficientes. É necessário um sistema de bloqueio do acesso às vias alagadas, para evitar que carros sejam arrastados pela correnteza. "Esse sistema já é comum em muitas cidades dos Estados Unidos. Funcionaria bem por aqui se as rotas de fuga estivessem identificadas", diz o professor da UFMG Mário Cicareli. Segundo a prefeitura, existem estudos em andamento sobre o tema. Há quem defenda sistemas de alarme de temporais, mas o coronel Alexandre Lucas, coordenador da Defesa Civil Municipal, afirma que alertas sonoros provocam pânico e estão descartados. No próximo mês, a prefeitura pretende testar um protótipo de sinal luminoso que poderá ser usado em avenidas como a Cristiano Machado. "Se o nível das águas aumentar muito, a luz

vermelha acenderá, mostrando ao motorista que há possibilidade de inundação", explica o coronel.

#### Incrementar a gestão metropolitana

Não basta resolver os problemas da capital. Os processos de drenagem precisam ser pensados para toda a Grande BH. A bacia do Ribeirão Arrudas, por exemplo, abrange também as cidades de Contagem e Sabará. Apesar da criação da Agência Metropolitana, quase não houve avanço na integração da política de gestão das águas. "Os prefeitos acham que perdem poder quando têm de discutir com o vizinho", lamenta o professor da Escola de Engenharia da UFMG Márcio Baptista. A prefeitura reconhece que não existe um planejamento conjunto entre as cidades da região metropolitana, mas garante que há uma "política de boa vizinhança" para que cada município não transfira os problemas de sua própria bacia hidrográfica para os outros. Ao que parece, a tal política não anda funcionando muito bem.

#### Avanços nas áreas de risco

Nem tudo são problemas em BH. A cidade também tem lições a dar. Conseguiu reduzir o número de edificações com alto risco de deslizamento de 14 300 em 1993, quando foi iniciado o Programa Estrutural de Área de Risco (Pear), para cerca de 3 000 hoje. Os planos de atendimento emergencial e de mobilização social foram intensificados em 2003, quando nove crianças morreram em um soterramento no Morro das Pedras, na Região Oeste. Desde então, a cidade não registrou mais mortes em vilas e favelas por causa de deslizamentos de encostas, de acordo com a Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (Urbel). "Além de reduzir o número de pessoas em áreas de risco, temos agora de evitar a ocupação de novos pontos", afirma Isabel Volponi, diretora da Urbel. Já nas áreas com risco de enchente o desafio é maior, pelo menos numericamente. Das 45 000 pessoas que vivem em áreas suscetíveis a inundações em BH, a prefeitura prevê retirar 10 000. "Atualmente, quando planejamos alguma intervenção de combate às inundações, quase a metade dos recursos para a sua execução é destinada à transferência das famílias que moram nas proximidades", afirma Ricardo Aroeira, coordenador executivo do Drenurbs, um programa municipal para recuperação de córregos. Fora o empecilho financeiro, há ainda o custo social das remoções, já que muitos moradores mantêm laços afetivos com sua casa e enfrentam dificuldades para se adaptar a moradias verticalizadas.

## **ANEXO B - Belo Horizonte terá pacote de investimentos contra as enchentes em 2014**

### **Obras de R\$ 1 bilhão em córregos, que devem começar no fim de 2014, e mudança na Lei de Uso e Ocupação do Solo têm finalidade de evitar inundações na capital (ESTADO DE MINAS, 2013)**

Flávia Ayer



Uma das principais vias de Belo Horizonte, a Avenida Cristiano Machado deve ficar livre de inundações depois de intervenções estruturais

Uma das principais vias de Belo Horizonte, a Avenida Cristiano Machado deve ficar livre de inundações depois de intervenções estruturais

O ano que vem não será apenas da Copa do Mundo, terá também de obras de prevenção de enchentes em Belo Horizonte. Além das bacias de retenção do Ribeirão Arrudas, oito obras devem começar até o fim de 2014. Todas integram o pacote de R\$ 1 bilhão do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do governo federal. Na lista de intervenções estão reivindicações antigas, como alargamento dos leitos do Córrego Cachoeirinha e ribeirões Pampulha e Onça, para conter inundações na Avenida Cristiano Machado. Paralelamente, a prefeitura discute mudanças na Lei de Uso e Ocupação do Solo para desacelerar a impermeabilização da cidade.

Orçadas em R\$ 442,3 milhões, as obras da Cristiano Machado devem começar no primeiro semestre do ano que vem, com duração de dois anos. Além do alargamento dos cursos d'água, o projeto remove 1,3 mil casas de áreas de risco no Bairro Ribeiro de Abreu, na Região Norte. “Não há outra solução para essas famílias, pois, mesmo alargando os leitos, a água chegaria com muita velocidade nessa região. Vamos construir um parque linear”,

afirma o gerente de Programas Especiais da Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura (Smob), Ricardo Aroeira.

Também está no pacote a construção de um canal paralelo ao Córrego dos Pintos, que passa sob a Avenida Francisco Sá, no Bairro Prado, Região Oeste. A área sofre inundações constantes e só terá o problema resolvido em 2015. Outras intervenções previstas são a construção de bacias de retenção dos córregos Jatobá/Olaria, Túnel/Camarões, córregos Lareira e Marimbondo, o tratamento de fundo de vale da Vila Sport Club, a ampliação do leito do Córrego Ressaca, além das obras no Córrego São Francisco, que pretendem diminuir as inundações na região do Aeroporto da Pampulha.

Enquanto isso, outras medidas são estudadas pela Smob para evitar enchentes, como instalação de sinais luminosos próximo a áreas de inundação para alertar a população sobre o aumento do nível da água. De acordo com Aroeira, o sistema está em estudo. “Este ano vamos trabalhar com os núcleo de alerta de chuvas (NAC) e os avisos meteorológicos”, afirma Aroeira.

Com a proximidade da Conferência Municipal de Políticas Urbanas, que definirá mudanças no Plano Diretor e na Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo, técnicos da prefeitura discutem alterações legais a enfrentar o problema das enchentes. “As discussões passam pela área permeável mínima das edificações, a obrigatoriedade da implantação de caixas d’água de captação e reutilização da água”, exemplifica Aroeira.

## PRUDENTE DE MORAIS


Antes, era para dezembro, passou para setembro de 2014 e, agora, a previsão para o término das obras de prevenção a enchentes na Avenida Prudente de Moraes, no Bairro Cidade Jardim, Centro-Sul, será apenas daqui a dois anos, no segundo semestre de 2015. Segundo a Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura, durante as escavações foram descobertas rochas com dimensões acima das esperadas e a prefeitura precisou redimensionar a obra, que passou de R\$ 33 milhões para 50 milhões, recursos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

Nova licitação dará continuidade às intervenções. Iniciada em julho do ano passado, a obra previa desassoreamento da Barragem Santa Lúcia, que está em andamento, e a construção de mais uma galeria subterrânea entre as ruas Barão de Macaúbas, no Santo


Antônio, e a Bárbara Heliadora, em Lourdes, dando suporte à galeria do Córrego do Leitão. A obra da Prudente de Moraes é uma das 11 em curso para prevenção de enchentes. Só quatro serão concluídas este ano: o parque linear do Córrego Bonsucesso, a primeira etapa das bacias de retenção dos córregos Olaria e Jatobá, a galeria paralela ao Córrego da Serra, e a segunda etapa do Complexo da Avenida Várzea da Palma.

## ANEXO C - Relatório do Programa *Plúvio 2.1*

Data de emissão do relatório: 06/07/2014



# Plúvio 2.1



Copyright (2005) © GPRH

---

### RELATÓRIO

**Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação**

---

**LOCALIZAÇÃO:**

**Localidade:** Ouro Branco      **Estado:** Minas Gerais  
**Latitude:** 20°31'15"  
**Longitude:** 43°41'31"

**PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:**

**K:** 3359,569  
**a:** 0,221  
**b:** 25,101  
**c:** 1,026

**MAPA DE LOCALIZAÇÃO:**

