



ESTUDO DA PERMEABILIDADE E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO REVESTIMENTO CPA APÓS COLMATAÇÃO INDUZIDA

STUDY OF PERMEABILITY AND TENSILE STRENGTH OF CPA COATING AFTER INDUCED CLOGGING

RAMON OLIVEIRA BORGES DOS SANTOS | ramonobs98@gmail.com

MARIANA FERREIRA BENESSIUTI MOTTA | marianabenessiuti@yahoo.com.br

PAULA JARDIM ESCAMILLA TOGEIRO GALVÃO

BRUNO DA SILVA DE OLIVEIRA

RESUMO

Devido ao elevado número de casos de acidentes em vias públicas causados por chuvas, o Brasil ao longo dos anos vem tentando aprimorar as condições dos pavimentos para minimizar essas ocorrências. Uma das soluções é o emprego da camada porosa de atrito (CPA), que é caracterizada por sua granulometria aberta fazendo com que a água escoe facilmente em seu meio. Porém, ao longo do tempo, com o elevado tráfego, os poros desse revestimento podem perder sua eficiência, devido ao acúmulo de resíduos. Este trabalho objetiva analisar a perda da permeabilidade após a impregnação de óleo automobilístico, borracha de pneu triturada e fragmentos de solo, simulando o derramamento ou respingos de fluidos de forma excessiva que acontece nas rodovias. Após quatro semanas de colmatação e ensaios, observou-se que as amostras impregnadas tiveram a maior perda de permeabilidade comparado com os outros materiais. Após a realização dos ensaios de permeabilidade foi feito o teste de tração por compressão diametral para analisar a interferência desses materiais na resistência do revestimento asfáltico. Observou-se que as amostras colmatadas com óleo tiveram sua estrutura modificada, pois o elemento o ligante interferiu na adesão com o agregado.

Palavras-chave: CPA; Permeabilidade; Asfalto permeável; Colmatação induzida.

ABSTRACT

Due to the high number of accidents on public roads caused by rain, Brazil has been trying to improve pavement conditions over the years to minimize these occurrences. One solution is the use of porous friction layers (PCAs), which are characterized by their open grain size, allowing water to drain easily through them. However, over time, with heavy traffic, the pores of this coating can lose their effectiveness due to the accumulation of residue. This study aims to analyze the loss of permeability after the impregnation of automotive oil, shredded tire rubber, and soil fragments, simulating the excessive spillage or splashing of fluids that occurs on highways. After four weeks of clogging and testing, it was observed that the impregnated samples had the greatest loss of permeability compared to the other materials. After the permeability tests, a diametrical compression tensile test was performed to analyze the impact of these materials on the strength of the asphalt coating. It was observed that the oil-clogged samples had their structure modified, as the binder element interfered with adhesion to the aggregate.

Keywords: CPA; Permeability; Permeable asphalt; Induced clogging.

1. INTRODUÇÃO

Com o acelerado avanço da urbanização é comum o aparecimento de problemas ocasionados pela impermeabilização do solo.

Dessa forma, um dos desafios da engenharia é propor soluções alternativas que auxiliem os métodos de drenagem convencionais.

Segundo Justino *et al.* (2011), a infraestrutura urbana brasileira cresceu de forma desproporcional ao crescimento da população nas cidades após o êxodo rural na década de 60 e que sobre os efeitos da urbanização no uso do solo, é correto afirmar que:

O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração (Fontes, 2003).

Com o acelerado crescimento, um dos métodos de drenagem alternativa que vem ganhando espaço é o asfalto permeável, ou seja, uma metodologia que consiste em uma mistura betuminosa com alto índice de vazios que possibilitam que a água infiltre.

Além de funcionar como auxílio para a drenagem urbana tradicional, o asfalto permeável diminui a lâmina d'água na superfície do pavimento em dias chuvosos (Homem, 2002), o que diminui significativamente as chances de ocorrer aquaplanagem e, conseqüentemente, diminui as chances de acidentes (Cunha *et al.*, 2021).

Entretanto, apesar de se mostrar vantajoso nos quesitos citados, esse tipo de revestimento também possui suas peculiaridades que devem ser analisadas antes de sua implantação, como o custo, a resistência e o desempenho da permeabilidade ao longo de sua vida útil, já que a impregnação dos vazios pode prejudicá-la.

A permeabilidade do pavimento da camada porosa de atrito (CPA) já foi analisada em alguns trabalhos anteriores, como Oliveira (2003), Schneider (2016) e Santos (2018).

Dessa forma esta pesquisa e estudo tem como objetivo determinar a perda da capacidade drenante do revestimento tipo CPA por meio de ensaios de permeabilidade realizados antes e depois de induzir os corpos de prova à colmatção, além de analisar a influência da colmatção na resistência à tração do revestimento por meio de ensaios de compressão diametral.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Drenagem tradicional versus Drenagem alternativa

De forma geral, a drenagem urbana consiste em um conjunto de fatores que tem por finalidade reduzir os riscos e impactos trazidos pelas chuvas, buscando encaminhá-las de forma mais adequada possível.

Em outras palavras, a drenagem urbana pode ser definida como o gerenciamento de águas pluviais, podendo ser subdividida em drenagem tradicional e alternativa.

Para Gonçalves e Oliveira (2014) a drenagem urbana tradicional busca drenar, ou melhor, afastar as águas derivadas de precipitações o mais rápido possível, o que aumenta o risco de inundações a jusante.

A partir da década de 70 começam a surgir métodos alternativos para remediar efeitos da impermeabilização urbana (Gonçalves *et al.*, 2016).

A chamada drenagem alternativa, ou compensatória, visa reestabelecer condições de pré-urbanização aumentando taxas de infiltração de águas pluviais e desacelerando o escoamento superficial (Tucci, 1995, *apud* Gonçalves *et al.*, 2016).

Brito (2006) afirma que esses sistemas funcionam pela retenção e infiltração das águas precipitadas visando a diminuição do volume escoado e a melhor distribuição temporal das vazões.

A drenagem alternativa abrange técnicas como o uso de valas, trincheiras, poços, telhados com captação de águas pluviais, entre outros. Entretanto, para o presente estudo será enfatizada a abordagem sobre o revestimento asfáltico com o tipo de camada porosa de atrito (CPA).

2.2 Pavimento asfáltico permeável

As técnicas compensatórias surgiram na década de 70, entretanto o revestimento CPA já era utilizado nessa época com outras finalidades. Para Silva (2005), as misturas betuminosas porosas surgiram nos Estados Unidos na década de cinquenta com o intuito de reduzir o fenômeno denominado aquaplanagem, já que diminui o escoamento superficial, aumentando assim o atrito entre o pneu e o asfalto.

Conforme Suderhsa (2002), tanto o asfalto convencional como o permeável são constituídos da mesma forma. O que os difere é a presença de finos na mistura betuminosa. Para revestimentos permeáveis essa fração é retirada da mistura, dando-lhe a característica porosa e, conseqüentemente drenante.

2.3 Camada porosa de atrito (CPA)

A norma 386/99 do DNER define como CPA uma mistura à quente com índice de vazios entre 18 e 25% constituída de agregados, material de enchimento e cimento asfáltico.

A granulometria dos agregados, o volume de vazios, a espessura do revestimento e a natureza do ligante influenciam diretamente na permeabilidade final do revestimento.

O desempenho do revestimento asfáltico convencional é gravemente reduzido em dias chuvosos, devido à redução do atrito pneu-pavimento. Diante disso o CPA mostra-se vantajoso, já que diminui a lâmina d'água na superfície do pavimento (Homem, 2002).

Nest mesma linha de pesquisa Zwan *et al.* (1990) ensinavam que o número de acidentes em rodovias molhadas na Holanda é 3,5 vezes maior do que em rodovias secas.

Apesar de não haver base de dados para acidentes em estradas com asfalto poroso, os autores consideram que esse número poderia ser reduzido significativamente com o uso desse tipo de pavimento.

Homem (2002) ressalta também que a visibilidade do condutor em dias chuvosos é melhorada com o uso de asfaltos porosos devido ao fato do material diminuir a lâmina de água na superfície do pavimento, o que consequentemente diminui a pulverização e que com o uso desse revestimento os níveis de ruídos são reduzidos de 3 a 7 dB quando comparados as rodovias com asfaltamentos convencionais.

Contudo, mesmo com vantagens da utilização do pavimento em questão serem numerosas, há também desvantagens que devem ser analisadas minuciosamente antes da implantação do mesmo, como por exemplo, o custo da obra. É preciso rever e estudar a injeção e aplicação (Costa *et al.*, 2025)

Lefebvre (2009) ensina que asfaltos porosos exigem agregados de melhor qualidade, com maior resistência ao polimento, e, muitas vezes, sua execução também implica no uso de ligantes modificados, o que acaba encarecendo a execução do projeto.

Pires *et al.* (2019) assegura que os materiais para a execução do asfalto permeável são 30% mais caros que o convencional, sem levar em conta os custos com manutenção.

Quanto à vida útil, Zwan *et al.* (1990) realizaram um estudo com onze trechos de estradas com tráfego intenso, aproximadamente 60 mil veículos por dia na Holanda, totalizando dez quilômetros de extensão, onde foi analisada a deterioração do pavimento permeável e concluído que a vida útil do mesmo é de dez anos, respeitadas as condições climáticas e de tráfego analisadas.

Pires *et al.* (2019) consideram que a porosidade e a resistência mecânica são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a permeabilidade do pavimento menor será sua resistência mecânica. Nos estudos realizados por Berto *et al.* (2018) foram feitos ensaios de compressão diametral de acordo com a norma DNER-ME 138/94 para determinar a resistência à tração do pavimento CPA.

O mesmo apresentou resistência de 0,62 MPa, enquanto asfaltos com índice de vazios na ordem de 3,2% apresentou resistência de 1,07 MPa. Além disso, foram realizados também ensaios de abrasão de acordo com a norma DNER-ME 383/99 obtendo os valores de 7,3% e 14,7% para asfaltos mais densos e CPA respectivamente.

2.4 Colmatação e manutenção preventiva

Uma questão importante a ressaltar sobre a tecnologia é a forma com que sua permeabilidade irá se comportar ao longo de sua vida útil, isto é, como resíduos depositados sobre a superfície do pavimento irão interferir em sua capacidade de drenagem. A manutenção desse tipo de pavimento é algo fundamental para que não ocorra a colmatação dos vazios (Silva, 2005).

Baptista e Nascimento (2005) *apud* Virgillis (2009) entendem a colmatação como a deposição de material particulado fino sobre a estrutura porosa, ocupando assim os vazios da mesma e fazendo com que haja a diminuição da condutividade hidráulica de forma gradativa ao longo do tempo (Sousa *et al.*, 2025). A impregnação dos vazios desse material ao longo do tempo é inevitável (Oliveira, 2003).

Lefebvre (2009) considera que o asfalto permeável não deve ser instalado em vias com baixo tráfego e trânsito lento, pois essas condições eliminam o atributo de auto limpeza do pavimento, que ocorre devido ao bombeamento e à sucção ocasionados pelo contato do pneu com os poros da superfície. Para desobstruir os poros do pavimento, os principais métodos são a utilização de água altamente pressurizada e caminhões do tipo sucção e varredura.

2.5 Permeabilidade

Segundo Botteon (2017) a condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade é um dos parâmetros mais importantes quando se trata de pavimentos permeáveis e pode ser definida como a taxa de infiltração da água através de sua estrutura.

Dumke (2005) ressalta que a condutividade hidráulica como a função da vazão da área transversal de fluxo do comprimento de percolação e da diferença de pressão pode ser expressada em centímetros por segundo (cm/s).

As especificações europeias para ensaio de permeabilidade em amostras de misturas porosas foi desenvolvido pelo *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research* (EMPA) um permeâmetro que possibilita a determinação da permeabilidade com ensaio de carga variável (Oliveira, 2003).

Esta pesquisa usou o modelo que foi utilizado anteriormente por Oliveira (2003), Schneider (2016) e Santos (2019). O ensaio de permeabilidade avalia a capacidade de percolação da água através do corpo de prova fixado no aparelho. Nos ensaios realizados os coeficientes de permeabilidade variaram de 0,1442 até 0,4195 cm/s.

Comparando com os valores de permeabilidade de solos da Figura 1, os revestimentos analisados possuem boa capacidade de drenagem, equivalente a pedregulhos limpos.

Figura 1. Valores de condutividade hidráulica para solos.

Condutividade hidráulica (cm/s)												
	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Drenagem	Bom						Pobre		Praticamente impermeável			
Tipo de solo	Pedregulho limpo		Areias limpas, Areias mais pedregulhos limpos		Areias muito finas, siltes orgânicas e inorgânicas, misturas de areias, siltes e argilas, depósitos estratificados de argilas			"Impermeáveis" argilas homogêneas embaixo de zonas de intemperismo				
					"Impermeáveis", solos modificados pelos efeitos, de vegetação e intemperismo							

Fonte: Casagrande; Fadum (1940) apud Coacalla (2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto é uma continuação do trabalho já realizado por Santos (2018) onde a partir dos resultados obtidos foram estudados pontos de dúvidas e sugestões para estudos futuros. Sendo assim, esse trabalho determinou a perda da condutividade hidráulica do pavimento tipo CPA por meio de ensaios de permeabilidade induzindo a colmatção da amostra com diferentes materiais. Para isso foram ensaiadas vinte amostras e separadas as doze com maiores permeabilidades para

serem impregnadas. Esses doze corpos de prova por sua vez foram subdivididos em quatro grupos com três corpos de prova cada, sendo:

- Grupo 1: Impregnação com óleo automobilístico;
- Grupo 2: Impregnação com fragmentos de borracha;
- Grupo 3: Impregnação com resíduos de solo;
- Grupo 4: Impregnação com óleo + borracha + solo.

Os fragmentos de borracha e os resíduos de solo foram passados na peneira#45 de abertura 425 microns e a mistura de óleo + borracha + solo foi feita utilizando a proporção 1:1:1.

3.1 Ensaios de Permeabilidade

Para a realização dos ensaios foi utilizado um permeâmetro de carga variável baseado nas especificações europeias para ensaio de permeabilidade de misturas porosas, CEN PR-12697-19-A (Oliveira, 2003) feito com tubo de PVC, modelo já utilizado em trabalhos como Oliveira (2003), Schneider (2016) e Santos (2018). A Figura 2 abaixo mostra o permeâmetro produzido.

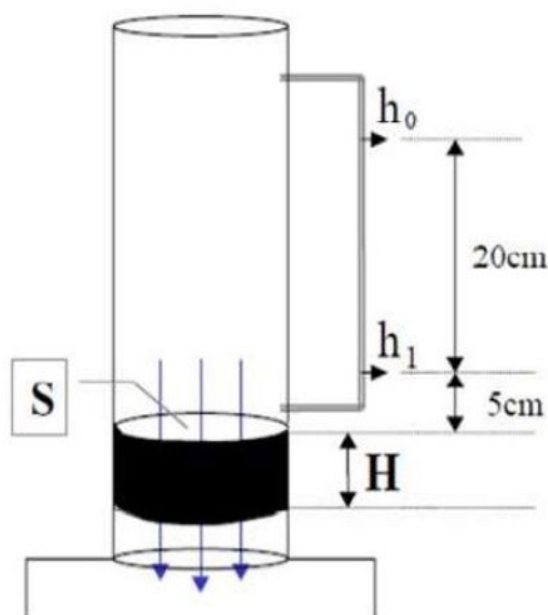
Figura 2 | Permeâmetro de carga variável.



Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

As amostras foram revestidas com uma tira de borracha e fita adesiva para que a vazão seja apenas na vertical. A Figura 3 abaixo auxilia no entendimento do permeâmetro produzido.

Figura 3. Esquema do permeâmetro de carga variável.



Fonte: Roseno (2005).

O ensaio consistiu na aplicação constante de água no permeômetro até a imersão total do corpo de prova. A adição de água é contínua até que a água do tubo transparente se mantenha em equilíbrio. É cronometrado o tempo que a água percorre de uma marca a outra, para com isso obter-se o coeficiente de permeabilidade.

Segundo Pinto (2006), assim utilizando Para avaliar a condutividade hidráulica do CPA foi determinado o coeficiente de permeabilidade segundo a lei de Darcy, onde se contabiliza o tempo em que a água leva de um ponto inicial (h_1) para o ponto final (h_2). As amostras usadas foram fornecidas pela CCR Nova Dutra e possuíam índice de vazios médio igual a 16,6% e teor de ligante igual a 3,3%.

Em cada uma das amostras foram feitos quatro ensaios de permeabilidade, impregnando 5% dos vazios das mesmas, conforme sugerido por Santos (2018) obedecendo ciclos de 7 dias em cada um deles.

Durante esses dias todas as amostras foram impregnadas com o respectivo material de seu grupo. Ao final de cada ciclo foram realizados ensaios de permeabilidade, bem como a lavagem das amostras utilizando lavadora de alta pressão após os ensaios.

Ao final dos 4 ciclos foram comparadas as perdas de permeabilidade dos corpos de prova ocasionadas pela colmatção.

3.2 Resistência a tração

Além disso, todas as amostras foram rompidas em ensaios de compressão diametral, podendo assim observar a influência dos materiais impregnados na resistência das amostras.

O ensaio de compressão diametral consiste na aplicação de forças perpendiculares ao eixo do corpo de prova, essas forças por sua vez geram tensões de tração no interior do cilindro.

Os ensaios foram realizados seguindo as especificações exigidas pela norma DNIT 136/2018 e os valores de resistência a tração obtidos através da Equação 1.

$$\sigma_R = \frac{2F}{100\pi DH} \quad (1)$$

Onde:

σ_R = resistência à tração (MPa);

F = carga de ruptura (N);

D = diâmetro do corpo de prova (cm);

H = altura do corpo de prova (cm).

4. RESULTADOS

4.1 Permeabilidade

A Tabela 2 abaixo mostra a permeabilidade inicial obtida com as amostras limpas e foi utilizada como critério para a definição nos grupos de impregnação.

Tabela 2 | Permeabilidade inicial.

AMOSTRA	k (cm/s)	AMOSTRA	k (cm/s)
1	1,07E-01	11	1,72E-01
2	1,03E-01	12	9,93E-02
3	1,44E-01	13	1,22E-01
4	1,15E-01	14	1,34E-01
5	1,46E-01	15	1,93E-01
6	1,42E-01	16	1,10E-01
7	1,55E-01	17	1,03E-01
8	1,27E-01	18	1,46E-01
9	1,24E-01	19	1,16E-01
10	9,02E-02	20	1,30E-01

Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

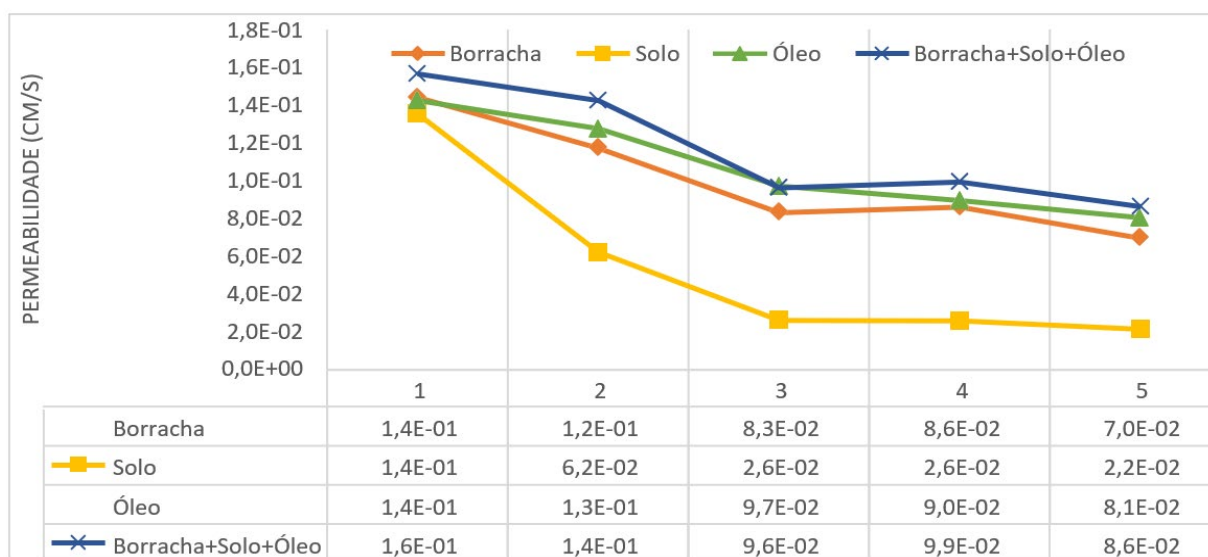
As amostras de número 1, 2, 10, 12 e 17 apresentaram maior desvio em relação a média geral, que foi de 1,289 E-01, por isso não foram utilizadas nesse trabalho.

Já as amostras 4, 16 e 19 por possuírem as menores permeabilidades não foram incluídas nos ciclos de impregnação, sendo utilizadas apenas para comparação de resultados nos ensaios de compressão diametral, que será debatido mais a seguir.

Nos ensaios de permeabilidade realizados por Berto *et al.* (2018, p.7) encontrou-se o valor de 0,102 cm/s para 4,6% de ligante e 20,8% de vazios, já Santos (2018, p.5) obteve 0,2214 cm/s para 5% de teor de asfalto com 22,96% devolume de vazios.

Com os grupos definidos por ordem numérica foram realizados os ensaios de permeabilidade, chegando aos resultados organizados na Figura 4 sendo o ponto 1 para a permeabilidade inicial e os demais para os ciclos de impregnação.

Figura 4 | Permeabilidade média para cada ciclo.



Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

Os números na parte inferior do gráfico representam a permeabilidade média dos grupos para cada ciclo. Ao analisá-lo observa-se que após o segundo ensaio nenhum dos grupos apresentou grande variação em sua permeabilidade, portanto nota-se que o método de limpeza dos vazios utilizado não é eficaz a ponto de reestabelecer a capacidade drenante obtida no primeiro ciclo, mas auxilia para que o revestimento não perca sua função.

Os grupos da borracha, do óleo e dos três materiais juntos, tiveram o valor da permeabilidade parecido durante os quatros ciclos de ensaios.

Para melhor visualização, foi organizado na Tabela 3 a seguir as perdas de permeabilidade, em porcentagem, em relação a permeabilidade inicial média de cada grupo.

Tabela 3 | Perda de permeabilidade em porcentagem.

Material	Inicial	Ensaio I	Ensaio II	Ensaio III	Ensaio IV
	Média	% Perda	% Perda	% Perda	% Perda
Borracha	1,4E-01	18,62%	42,24%	40,23%	51,6%
Solo	1,4E-01	54,01%	80,73%	80,83%	84,1%
Óleo	1,4E-01	10,40%	31,74%	37,07%	43,4%
Borracha+Solo+Óleo	1,6E-01	8,97%	38,53%	36,51%	44,8%

Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

Observa-se que o material granular exerce maior influência na permeabilidade do revestimento, uma vez que apresentaram maior facilidade em obstruir os vazios.

Nos corpos de prova impregnados com óleo foi observado que o material atravessava a amostra, o que impedia o acúmulo do mesmo.

Já no grupo colmatado com todos os materiais, a mistura formou uma pasta permeável que ficou retida na superfície da amostra.

Assim como concluído por Santos (2018), os materiais granulares foram os que geraram mais perda na permeabilidade, sendo o solo com maior interferência comparado a borracha.

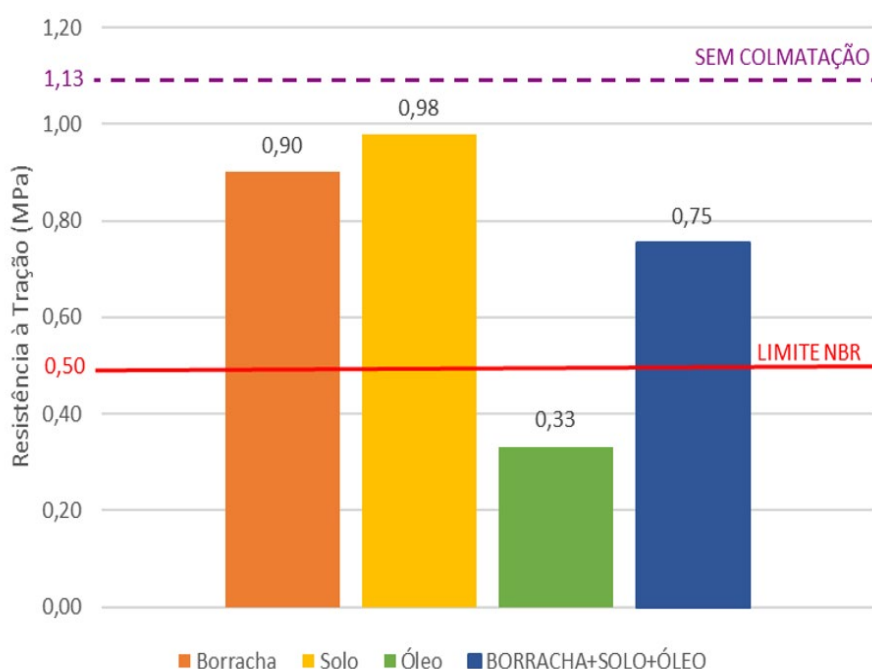
No primeiro ciclo a perda foi três vezes maior e nos demais ciclos o solo manteve uma média de duas vezes mais perda do que a borracha.

Isso pode ter ocorrido pela maior facilidade que o solo tem de entrar nos vazios, devido a sua menor granulometria.

4.2 Compressão diametral

Para o ensaio de compressão, foi separado um grupo com 3 amostras limpas, sem nenhum tipo de impregnação, para comparar a perda de resistência após as colmatações. Sem a impregnação a resistência média obtida foi de 1,13 MPa, valor representado pela linha tracejada do gráfico que está ilustrado na Figura 5 com a média dos resultados das amostras ensaiadas.

Figura 5 | Resistência à tração por grupos.



Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

Ao comparar se resistência das amostras sem colmatção com as demais verifica-se que todas as amostras tiveram perda de resistência, sendo menores nas amostras colmatadas com borracha e solo, onde a média dos valores de foi de 0,90 e 0,98 MPa, respectivamente.

As amostras impregnadas com óleo obtiveram valores entre 0,31 e 0,35 MPa, sendo o grupo com a menor resistência e abaixo do valor mínimo requisitado pela norma NBR 15087 (2012), que é de 0,50 MPa.

O grupo colmatado com os três materiais, borracha, solo e óleo, não sofreu tanta alteração na resistência como o óleo, mas ainda foi menor do que o solo e borracha, com a média de 0,75MPa.

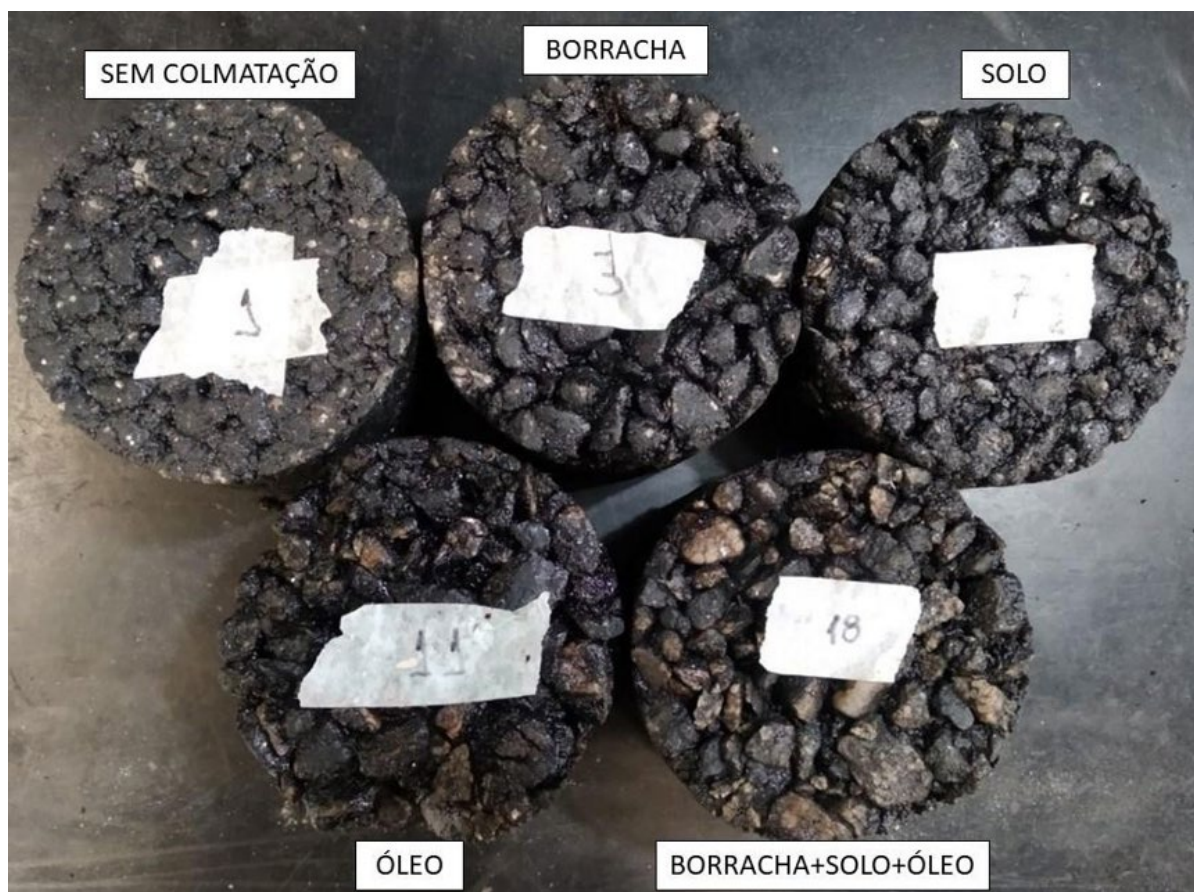
Os resultados de tração encontrados por Santos (2018) nas amostras impregnadas com óleo foram de 0,27 e 0,29 MPa, valores próximos aos obtidos nesse estudo.

As amostras colmatadas com óleo apresentaram deterioração do ligante, sendo uma possível justificativa da redução significativa da resistência.

A Figura 6 ilustra os corpos de prova após o último ciclo de ensaios. Como citado anteriormente, as amostras colmatadas com óleo perderam a adesão com o ligante, sendo mais perceptível na superfície das amostras impregnadas com os três materiais.

A borracha, o solo e o óleo formaram uma pasta que obstruiu os poros, o que fazia que o óleo permanecesse na superfície, enquanto a amostra colmatada apenas com óleo, escoava facilmente pelos vazios.

Figura 6 | Esquema do permeâmetro de carga variável.



Fonte: Elaborado pelo Autores (2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CPA consiste numa mistura asfáltica de granulometria aberta, a ausência de finos dá-lhe a característica porosa, e consequentemente permeável.

Nesta pesquisa foram analisadas as interações do óleo, borracha triturada e fragmentos de solo com esse tipo de revestimento e analisada a influência desses materiais em sua permeabilidade e resistência a tração.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de condutividade hidráulica observou-se que o material granular exerce maior influência na permeabilidade do pavimento, ultrapassando 80% de perda na capacidade drenante nas amostras colmatadas com solo. Além disso, os efeitos gerados pela colmatção com óleo sobrepõem os efeitos dos demais materiais em relação a perda de resistência à tração.

Durante o processo de limpeza dos poros, utilizando lavadora de alta pressão, foi visto que a lavagem auxiliou na desobstrução dos vazios, mantendo a finalidade do CPA, entretanto o método não é eficaz a ponto de reestabelecer a permeabilidade inicial das amostras. Assim, faz-se necessário o estudo de novos métodos de limpeza.

Nos ensaios de compressão diametral, a interferência do óleo automobilístico foi maior ao comparar com os outros materiais, pois ocasionou a remoção de parte do ligante da mistura asfáltica.

Tal efeito diminuiu significativamente a resistência das amostras, chegando a valores abaixo de 0,5 MPa, mínimo exigido por norma. Na prática essa queda na resistência acarretaria na menor vida útil de um pavimento.

Foi observado que após o segundo ciclo de impregnação a curva do gráfico de perda de permeabilidade diminuiu sua inclinação em todos os grupos, portanto acredita-se que caso houvesse mais ciclos a condutividade hidráulica de cada grupo se manteria próxima às médias obtidas na Tabela 2.

Como os materiais que mais impactaram na permeabilidade do pavimento foram os granulares, que tiveram dificuldade em penetrar a amostra obstruindo assim a superfície dos corpos de prova, é de suma importância o estudo de outros métodos de limpeza no intervalo entre ciclos, como o de sucção e varredura, citado no item 2.2.2. Além disso, o problema da remoção do ligante requer estudos mais aprofundados sobre a interação física e química do óleo com o material betuminoso.

REFERÊNCIAS

- BERTO, L. K.; GODOI, R.; AMARO, L. P.; CORSO, M.; RIBEIRO, J. R.; REZENDE, L. C. S. H. Análise da relação entre a permeabilidade e as características mecânicas do revestimento asfáltico permeável. 2018. Revista Universidade Vale do Rio Verde. v16. n2. 9 p.
- BOTTEON, L. M. Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ : [s.n.], 2017. 92 f.
- BRITO, D. S. 2006. Metodologia para seleção de alternativas de sistema de drenagem. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-094/06. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 117p.
- COACALLA, T. Z. Estimativa de propriedades hidráulicas de solos a partir do ensaio de ascensão capilar. 2012, 166 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. 2012.
- COSTA, J. C. L.; SANTOS, D. F. A.; OLIVEIRA, M. R. de; MOURA, R. A. (2025). Aprendizagem com solução de problemas reais para aprimoramento discente na injunção socioprofissional. Revista CLCS, [S. l.], v18, n 2, p. e15288, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.2-100. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/15288>
- CUNHA, I. O. J.; JUNIOR, I. A. C.; MOURA, G. G.; MOURA, R. A.; SILVA, M. B. Segurança e ergonomia para força laboral feminina na interação com máquinas colaborativas. Revista Sodebras. V. 16. N.187. 2021. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.187.08>
- DA SILVA FILHO, A. L.; BENEVIDES, M. P.; NOHARA, E. L.; DE MOURA, R. A. (2025). Mechanical engineering in construction up to 1200 mm in diameter. ARACÊ, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 402. <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/6788>
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 386/99. Pavimentação – Pre-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1999.
- DUMKE, M. P. Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto - borracha. Florianópolis, SC, 2005, 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142.
- GONÇALVES, A. B.; OLIVEIRA, R. H. Pavimentos permeáveis e sua influência sobre a Drenagem. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. 2014, 10 p.
- GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. Anais do Fórum Ambiental da Alta Paulista: Sociedade, meio ambiente e desenvolvimento. Tupã/SP. 2016. p. 1241-1256.
- HOMEM, T. R. Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras. 2002. 111 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- JUSTINO, E. A.; MARTINS DE PAULA, H.; PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia/MG. Espaço em Revista, 2011. P.16-38.
- LEFEBVRE, G. Porous Asphalt. Permanent International Association of Road Congresses (PIARC). Technical Committee on Flexible Roads. Belgium, 1993. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2009.

OLIVEIRA, C. G. M. (2003). Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-111A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 87 p.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3 ed. Oficina de Textos. São Paulo 2006.

PIRES, R. A. G.; CALADO, J. C.; NETO, W. L. B. S.; CARRILHO, B. B.; GALVÃO, R. G. Asfalto convencional ou permeável? Viabilidade técnica na prevenção de enchentes. 2019. Investigação Científica nas Ciências Sociais Aplicadas. Atena Editora. P. 254-265. Belo Horizonte 2019.

ROSENO, J. L. Avaliação de uma mistura asfáltica porosa com agregados calcários e asfalto-borracha. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2005.

SANTOS, R. H. B. Análise da capacidade drenante do revestimento CPA após Colmatação induzida. 21ª Reunião de Pavimentação Urbana. São Paulo. 2019.

SCHNEIDER, D. Determinação do teor de asfalto para enquadramento de uma mistura asfáltica aberta como camada porosa de atrito. 2017. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2017.

SILVA, C. E. D. B. D. Estudo da permeabilidade de misturas asfálticas de graduação aberta. 2005. 111 f. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2005.

SOUSA, V., J.; MOURA, R. A.; SILVA, M.B. (2025). Fatores críticos de sucesso na implantação da metodologia CDIO: o caso de uma Faculdade de Tecnologia. Revista FTT Journal of Engineering and Business. ISSN 2525-8729. São Bernardo do Campo/SP. Vol. 1, n. 10, pp. 118-135. Disponível em: <https://saijournal.cefsa.org.br/index.php/FTT/article/view/562>

SUDERSHA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Manual de drenagem urbana – Região metropolitana de Curitiba/PR-versão 1.0. 2002. 150 f.

VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia e Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

ZWAN, J. T.; GOEMAN, T.; GRUIS, H.; SWART, J. H. e OLDENBURGUER, R. H. Porous Asphalt Wearing Courses in the Netherlands: State of the Art Review – Transportation Research Record, nº 1265 – p. 95-110 - Transportation Research Board – National Research Council, Washington, 1990.

