

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO HENRIQUE MOREIRA

ESTUDO DE PAVIMENTAÇÃO DRENANTE PARA CICLOVIA NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA – SP

CARAGUATATUBA

2022

PAULO HENRIQUE MOREIRA

**ESTUDO DE PAVIMENTAÇÃO DRENANTE PARA CICLOVIA
NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA – SP**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Câmpus Caraguatatuba como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Leandro César De Lorena Peixoto

CARAGUATATUBA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

M838e Moreira, Paulo Henrique
Estudo de pavimentação drenante para ciclovia no município de Caraguatatuba/SP. / Paulo Henrique Moreira. -- Caraguatatuba, 2022.
28 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Leandro César de Lorena Peixoto.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -- Instituto Federal de São Paulo, Caraguatatuba, 2022.

1. Engenharia Civil. 2. Pavimento permeável. 3. Ciclovia. 4. Viabilidade. I. Peixoto, Leandro César de Lorena, orient. II. Instituto Federal de São Paulo. III. Título.

CDD: 624

ATA N.º 156/2021 - DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ESTUDO DE PAVIMENTAÇÃO DRENANTE PARA CICLOVIA NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA** apresentado(a) pelo(a) aluno(a) **Paulo Henrique Moreira (CG1701193)** do Curso **SUPERIOR EM BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**, (Câmpus Caraguatatuba). Os trabalhos foram iniciados às 09:30 do dia 21 de dezembro de 2021 pelo(a) Professor(a) presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito (Quando Exigido)
Leandro César de Lorena Peixoto (Presidente/Orientador)	IFSP	Sim	Aprovado
Elaine Regina Barreto (Examinador 1)	IFSP	Sim	Aprovado
João Dalton Daibert (Examinador 2)	IFSP	Sim	Aprovado

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a) Reprovado(a)

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Câmpus Caraguatatuba, 22 de dezembro de 2021

Avaliador externo: Sim Não

Assinaturas:

Documento assinado eletronicamente por:

- **Leandro Cesar de Lorena Peixoto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/12/2021 12:34:31.
- **Elaine Regina Barreto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/12/2021 13:11:31.
- **Joao Dalton Daibert**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/12/2021 18:46:21.
- **Paulo Henrique Moreira**, CG1701193 - Discente, em 22/12/2021 18:58:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/12/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 277098
Código de Autenticação: 91557fa165



Dedico esse trabalho a minha família,
que acompanhou todo meu trajeto até
esta conquista.

AGRADECIMENTOS

“Gostaria de agradecer a todos que me apoiaram durante o curso de Engenharia Civil, entre eles minha Namorada, Amigos, Familiares e Professores. Principalmente a minha Mãe, meu Pai e meu Irmão, que sempre estiveram ao meu lado.”

RESUMO

Com o aumento da urbanização as cidades passam a ter seu solo mais impermeabilizado, trazendo consequências ambientais a região. Nas florestas a permeabilidade do solo é grande em comparação as cidades, dificultando, cada vez mais, a passagem da água para o lençol freático. No litoral norte de São Paulo, mais especificadamente no município de Caraguatatuba, há um alto volume de chuvas, devido a proximidade com a serra do mar. Como o lençol freático na região se encontra próximo ao nível do solo, as precipitações frequentes fazem com que o mesmo transborde, alagando algumas áreas da cidade. Uma saída para este tipo de problema é a utilização de pavimentos drenantes que apresentam uma taxa de infiltração de 15% a 30%. Este presente artigo tem como objetivo estudar este tipo de pavimento e sua aplicação. A água, depois de drenada, seria canalizada e enviada aos leitos mais próximos, diminuindo os riscos de alagamento. Este tipo de pavimento pode ser utilizado em larga escala para locais onde não há muita incidência de esforços, tais como calçadas, ruas com tráfego leve, estacionamentos e ciclovias.

Palavras chaves: Pavimento permeável, Caraguatatuba, Ciclovia, Viabilidade.

ABSTRACT

With the increase in urbanization, the cities' soil becomes more impermeable, bringing environmental consequences to the region. In the forests, the soil permeability is higher than in the cities, making it increasingly difficult for water to pass through to the water table. In the northern coast of São Paulo, more specifically in the municipality of Caraguatatuba, there is a high volume of rainfall, due to its proximity to the sea ridge. As the water table in the region is close to the ground level, the frequent rainfall causes it to overflow, flooding some areas of the city. One way out of this type of problem is the use of drainage sidewalks that have an infiltration rate of 15% to 30%. This paper aims to study this type of sidewalk and its application. The water, after being drained, would be channeled and sent to the nearest riverbeds, reducing the risks of flooding. This type of sidewalk can be used on a large scale for places where there is not much stress, such as sidewalks, streets with light traffic, parking lots and bicycle paths.

Keywords: Permeable sidewalk, Caraguatatuba, Bicycle path, Feasibility.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização provoca algumas consequências ambientais para a sociedade, uma delas é a grande quantidade de pavimentação nas cidades, para Botteon (2017) e Trentin *et. al.* (2016), isso faz com que as mesmas fiquem cada vez mais impermeável e dificultando a passagem da água da chuva para o solo. Segundo Marchioni *et. al.* (2011) e Botteon (2017) e Trentin *et. al.* (2016), a taxa de infiltração no solo em florestas é de 95%, enquanto nas cidades, a taxa cai para 5%, com isso o reabastecimento do lençol freático se torna cada vez mais difícil em áreas urbanas além de antecipar os picos de vazão das bacias, uma vez que a água é todo canalizada, causando enchentes.

Para que a chuva possa retornar ao seu ciclo natural, é necessário a criação de um sistema de drenagem urbano, entretanto segundo Maruyama *et. al.* (2016) e Trentin *et. al.* (2016), a maioria desses sistemas foram construídos no século XIX e muitas vezes eles são insuficientes, gerando o aumento dos picos de vazão no lençol freático, intensificando a formação de enchentes e alagamentos, alterando o leito dos rios, uma vez que a água drenada é descartada nesses locais.

Com o intuito de controlar a impermeabilidade do solo, as prefeituras tendem a exigir que os terrenos tenham de 15% a 30% do solo permeável. Para Maruyama *et. al.* (2011) uma alternativa para seguir a legislação seria a utilização de pavimentos drenantes que possuem um custo x benefício ótimo para melhorar a drenagem nas cidades, podendo reduzir o escoamento superficial nas vias em 100%.

Maruyama *et. al.* (2016) explica o pavimento permeável em 3 etapas, entrada imediata da chuva pelos poros presentes no pavimento, estocagem temporária da água pluvial e liberação da água de forma lenta para o solo. Esses fatores em conjunto geram uma melhoria significativa na infraestrutura urbana, minimizando alagamentos e enchentes nas cidades, reduzindo o escoamento superficial.

1.1. PROBLEMÁTICA

O município de Caraguatatuba, situado no litoral norte de São Paulo, é alvo de uma quantidade excessiva de chuvas devido a sua proximidade com a serra do mar. O lençol freático da região se mostra muito alto, fazendo com que qualquer aumento da quantidade pluvial, o mesmo chega a transbordar causando alagamentos em grande escala.

Na ciclovia não é diferente, quando chove aparecem muitas poças de água fazendo com que não seja possível enxergar a via, dificultando o tráfego. Em algumas áreas de transição, a passagem, seja de bicicleta ou a pé, se torna inviável pelo grande volume de água acumulado nas vias.

1.2.OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo geral compreender a funcionalidade, a estrutura e os tipos de asfalto drenante para possíveis implantações, verificando a viabilidade do projeto com base nas características do local.

Os objetivos específicos são:

- Diferenciar os tipos de pavimento drenante;
- Analisar qual o melhor tipo de pavimento drenante para utilizar, se adequando ao local;
- Verificar a possibilidade da implantação do asfalto drenante no município de Caraguatatuba;
- Estudar a possibilidade de utilizá-lo como pavimento de ciclovia, onde o fluxo é baixo;
- Mensurar possíveis reduções das áreas de alagamentos;
- Apresentar quais seriam as dificuldades para a implantação do asfalto na região, suas vantagens e desvantagens.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.TIPOS DE PAVIMENTOS

Segundo Garcia *et. al.* (2018) e Pires *et. al.* (2019), os pavimentos podem ser descritos como uma estrutura, de múltiplas camadas, cuja função é resistir os esforços vindo dos tráfegos melhorando as condições de rolamento. Construída sobre o subleito os pavimentos possuem várias camadas de diferentes materiais com características distintas, relacionadas a resistência e deformabilidade, tendo a finalidade de fornecer maior segurança e conforto ao usuário.

A largura das camadas dos pavimentos varia de acordo com o local de aplicação, regiões planas, onduladas, montanhosas e escarpada, a variação de tráfego, a função e a importância que a via terá. Para Pires *et. al.* (2019) essas camadas, ao receberem um carregamento, sofrem deformações elásticas, tendo a tensão distribuída equivalentemente igual para cada uma.

Segundo Garcia *et. al.* (2018) e Gouveia *et. al.* (2019), os pavimentos podem ser classificados em três tipos, os flexíveis, semirrígidos e rígidos. Os pavimentos flexíveis tem como característica a deformação elástica de todas as camadas, quando aplicado uma carga sobre ele, já o semirrígido possui sua base cimentada por algum aglutinante, tornando-o um pouco mais resistente. Por fim os pavimentos rígidos, que se caracterizam por ter maior rigidez nas camadas inferiores, fazendo com que os esforços provenientes dos carregamentos sejam absorvidos por elas.

2.2.PAVIMENTOS DRENANTES

Os pavimentos drenantes, também conhecido como pavimentos porosos ou permeáveis, apresentam em sua mistura aglomerantes, agregados graúdos e água, minimizando o máximo possível o uso dos agregados miúdos, apresentando um índice de vazios alto, para Botteon (2017) e Pires *et. al.* (2019) esses agregados não devem ser menores que 600 μ m. Com isso, o mesmo apresenta vazios em sua formação, normalmente em uma taxa de 15% a 30% do volume total da mistura com a porosidade efetiva de, no mínimo, 12%. A quantidade e o tamanho dos poros variam de acordo com a resistência asfáltica e a quantidade de água a ser drenada.

Sua construção pode ser feita diretamente no leito ou, até mesmo, sobre o asfalto já existente. Para isso é necessário realizar a impermeabilização e a regularização da superfície, para que não forme bolsões de água entre o revestimento e o pavimento. Pires *et. al.* (2019) completa dizendo que é de extrema importância verificar a declividade da superfície para que a água não fique acumulada sobre o pavimento, além de prever dispositivos, permitindo que a saída da água do sistema seja de forma rápida e eficaz.

Para Marchioni *et. al.* (2016), o dimensionamento da estrutura deste pavimento deve levar em consideração o volume de chuva, as características do local e o volume de tráfego que o pavimento estará sujeito a suportar. Analisando estas condições, ao implementar o pavimento, é necessário que o mesmo tenha um coeficiente de escoamento menor que 0,05, pois assim fara com que a água permeie no pavimento impedindo a formação de poças. Quando bem dimensionado, o pavimento drenante possui permeabilidade melhor que uma área de vegetação.

Maruyama *et. al.* (2016) explica que os pavimentos permeáveis possuem duas funções, mecânica e hidráulica, que permite suportar o carregamento derivado do tráfego, além de drenar a água da superfície conduzindo-a para um reservatório

ou, até mesmo, infiltrando-a no solo. Segundo Marchioni *et. al.* (2016) e Maruyama *et. al.* (2016), a velocidade de infiltração depende da porosidade do pavimento, da camada de assentamento, da sub-base, do subleito e do sistema de drenagem.

2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS DRENANTES

Os pavimentos drenantes podem ser divididos em dois grupos, Maruyama *et. al.* (2016) explica que o grupo de material onde a água infiltra pelas juntas, são chamados de modulares, já quando o material possui a infiltração pelo próprio revestimento, são denominados porosos, podendo ser de concreto ou asfalto.

Segundo Marchioni *et. al.* (2011) esse tipo de pavimento deve apresentar uma rápida absorção da água, podendo ser armazenada nas camadas do pavimento, tendo uma finalidade de reservatório ou até mesmo filtro.

2.3.1. TIPOS DE PAVIMENTOS DRENANTES EM RELAÇÃO AO REVESTIMENTO

Garcia *et. al.* (2018) explica que existem 3 tipos de revestimento para este tipo de pavimento. São eles, pavimento de blocos, pavimento de concreto permeável e o pavimento de asfalto permeável.

Para Maruyama *et. al.* (2016) os blocos vazados são peças pré-fabricas de concreto ao qual podem ser preenchidos com material granular, areia ou grama, sendo um tipo de revestimento com alta permeabilidade. Além dos blocos vazados, Trentin *et. al.* (2016) afirma que existe os blocos intertravados, que possuem sua permeabilidade nas juntas ou até mesmo no próprio bloco, dependendo das proporções da matéria prima presente no bloco.

Pavimentos de concreto ou asfalto poroso possuem em sua mistura baixo índice de finos, um exemplo disso é a retirada de grande parte da areia fina para essas misturas. Garcia *et. al.* (2018) explica que este tipo de revestimento é mais indicado para tráfegos leves, uma vez que não suporta altas tensões.

2.3.2. TIPOS DE PAVIMENTOS DRENANTES EM RELAÇÃO A INFILTRAÇÃO E AO RESERVATÓRIO

Para Garcia *et. al.* (2018) e Maruyama *et. al.* (2016) o destino da água pluvial pode ser separado em 3 grupos, de infiltração total, infiltração parcial e sistema de controle de água. Os 3 tipos podem ser observados na figura 1.

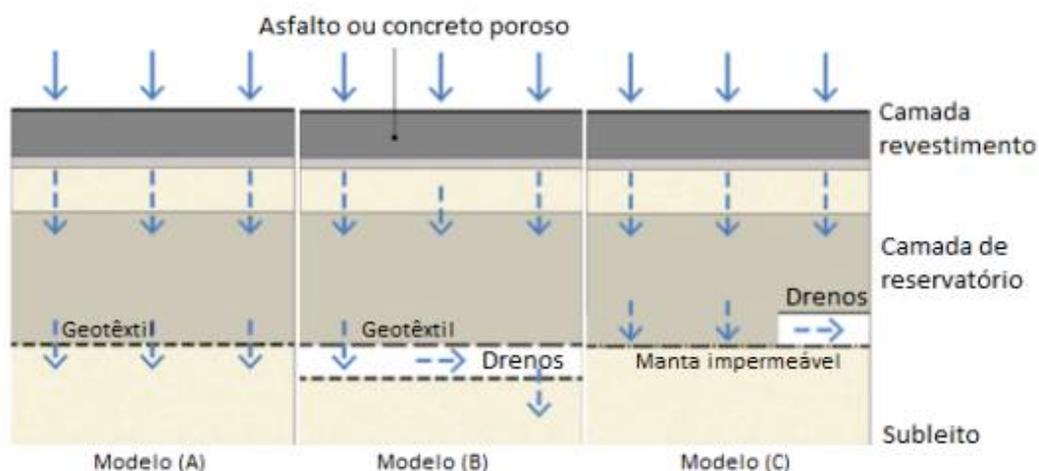


Figura 1 – Modelos de reservatórios para pavimentos drenantes. Modelo A: Infiltração total; modelo B: Infiltração parcial; Modelo C: Reservatório impermeável (saída por drenos). Fonte: Klein (2021)

Infiltração total é aquela onde o revestimento do reservatório é todo permeável, permitindo a passagem de água diretamente para o solo. Para Garcia *et. al.* (2018) e Marchioni *et. al.* (2011) e Maruyama *et. al.* (2016) este tipo de reservatório tem como finalidade diminuir a velocidade de infiltração da água no solo, uma vez que o mesmo é composto de materiais granulares grandes tendo função de reter a água por um breve período.

Marchioni *et. al.* (2011) e Maruyama *et. al.* (2016) afirmam que a infiltração parcial é aquela que possui coletores no fundo do reservatório, permitindo que parte da água seja infiltrada no solo e outra parte seja canalizada e conduzida a um local com maior permeabilidade. No caso dos sistemas de controle de água, sem infiltração no local, Garcia *et. al.* (2018) explica que os reservatórios são impermeáveis, tendo toda a água provida das chuvas canalizada e direcionada a um outro reservatório ou rios, no caso de solos poucos permeáveis. A água captada nesses dois tipos de reservatórios pode ser infiltrada no solo, ou até mesmo, armazenadas para usos futuros.

Segundo Marchioni *et. al.* (2011) para a verificação do melhor tipo de reservatório para o local, é necessário verificar os dados de precipitação, o coeficiente de permeabilidade do solo e se há possíveis riscos de contaminação do lençol freático.

2.4.VANTAGENS E DESVANTAGENS

A utilização de pavimentos drenantes trazem algumas vantagens sobre os pavimentos convencionais. Machado (2007) e Maruyama *et. al.* (2016) afirmam que,

com a redução das poças nas vias gera-se menos risco de aquaplanagem e aumenta a visibilidade nas pistas. Com a infiltração rápida da água no pavimento, as vias de rolagem ficam secas a maior parte do tempo, aumentando o conforto ao dirigir e diminuindo o número de acidentes.

A redução dos ruídos na via pode ser notada tanto para usuários, ruídos internos, quanto para vizinhos, ruídos externos. Para que isso ocorra Botteon (2017) e Machado (2007) explicam que o ar localizado entre o pneu e o pavimento infiltra pelos poros, diminuindo o bombeamento gerado pelos sulcos do pneu. Essas condições trazem maior conforto ao usuário.

Brecht (2015) e Garcia *et. al.* (2018) e Maruyama *et. al.* (2016) dizem que a questão ambiental também se beneficia da utilização dos pavimentos drenantes. O ciclo natural da água é retomado juntamente com o abastecimento do lençol freático. O pavimento drenante possui a característica de filtrar os poluentes inorgânicos providos da urbanização, propiciando uma água mais limpa para os rios e mananciais.

Além da função ambiental, o pavimento drenante aumenta a segurança nas vias, uma vez que há a redução da taxa de escoamento superficial. Para Brecht (2015) e Machado (2007) e Botteon (2017) e Garcia *et. al.* (2018), essa redução diminui a reflexão luminosa causada pelas poças, possibilitando visualizar de forma precisa a sinalização do local. Além disso, a projeção de água provida pelos pneus, conhecida como “spray”, e o risco de hidroplanagem, diminuem de forma notável.

Uma outra vantagem do pavimento drenante possui é a sua implantação em locais já urbanizado, Botteon (2007) e Trentin *et. al.* (2016) afirmam que este fator possibilita que a água infiltre em locais que antes eram impermeáveis, diminuindo custos com sistemas de drenagens pluviais e conduzindo a água da chuva de volta ao seu curso. Com isso podemos obter o conforto de um local pavimentado mantendo o ciclo natural da água.

Entretanto o pavimento drenante possui algumas desvantagens relacionadas a sua porosidade. Segundo Botteon (2017) e Pires *et. al.* (2019) a resistência a cargas elevadas é afetada, sendo necessário o uso de aditivos para que o pavimento atinja resistência superior a 30MPa. Com isso seu uso é mais indicado para locais onde há tráfego leve. Pode-se concluir que a resistência desses pavimentos, é inversamente proporcional a sua porosidade.

De acordo com Machado (2007) e Maruyama *et. al.* (2016) além da resistência baixa, esses pavimentos possuem um custo elevado para fabricação e mão de obra especializada. Segundo Garcia *et. al.* (2018) e Machado (2007) e Maruyama *et. al.* (2016), a manutenção deve ser feita periodicamente, de 1 a 3 anos, pois com o fluxo de água os poros tendem entupir necessitando limpeza.

O entupimento dos poros é o problema mais comum encontrado, ela faz com que reduza a capacidade de infiltração da água no pavimento. Para Botteon (2017) e Machado (2007) este processo deve ser considerado para verificação de implantação do pavimento, ou até mesmo, a restauração de um pavimento drenante já existente.

Com o teor de vazios elevado na mistura, Garcia *et. al.* (2018) e Pires *et. al.* (2019) explicam que há uma possibilidade de danos por ação da água, isso ocorre pelo desprendimento dos agregados quando os ligantes não atuam de forma correta. Para Garcia *et. al.* (2018) e Machado (2007) e Pires *et. al.* (2019) cerca de 25% dos agregados podem se soltar da mistura, sendo necessário um cuidado maior na construção deste tipo de pavimento para não ocorrer má adesão entre os agregados e ter uma camada de ligantes suficiente para a agregação.

Machado (2007) afirma que com o aumento do conforto nas vias os motoristas passam a ultrapassar os limites de velocidade causando acidentes de trânsito. Além disso a distância de frenagem com o pavimento seco passa a ser maior, além de que o pavimento drenante não pode ser implantado em locais onde há mudanças bruscas de velocidade.

Com a possibilidade de a água infiltrar no solo, pode ocorrer a contaminação do mesmo a partir de óleos, gasolina, e outros fluidos derivados dos veículos. Garcia *et. al.* (2018) e Maruyama *et. al.* (2016) apontam que esta contaminação pode afetar o lençol freático da região, dependendo das condições da superfície.

2.5.COMPARAÇÃO PAVIMENTO CONVENCIONAL X PAVIMENTO DRENANTE

A principal diferença entre um pavimento drenante e um pavimento convencional é a quantidade de vazios presentes em sua mistura gerando a possibilidade da água infiltrar entre os agregados graúdos. Pires *et. al.* (2019) explica que a camada superficial dos pavimentos convencionais é impermeabilizada, gerando escoamento superficial, já dos pavimentos drenantes a água infiltra pelos poros, zerando o escoamento superficial.

Outra dessemelhança que Pires *et. al.* (2019) especifica é a capacidade de suportar cargas, pois quanto maior o índice de vazios na mistura, menor é a resistência do pavimento. Com isso Botteon (2017) aponta que para se obter maior resistência, é necessário acrescentar agregados miúdos a mistura, tornando o pavimento menos permeável.

Segundo Botteon (2017) e Garcia *et. al.* (2018), o custo entre os dois tipos de pavimento é divergente, levando em consideração a questão de implantação. O valor pode variar de 10% a 15% mais caro para os pavimentos drenantes além da possibilidade de ocorrer imprevistos ser de 10% maior que o pavimento comum. Entretanto esses fatores podem ser amenizados quando os custos são analisados no longo prazo, gerando economias.

2.6. ESTRUTURA DO PAVIMENTO DRENANTE

O pavimento drenante segundo Brecht (2015) pode ser constituído por uma camada drenante, seguido de camadas estruturais impermeáveis ou por várias camadas drenantes que se ligam diretamente com o subleito do local. Seu comportamento mecânico é definido através da intensidade do tráfego, das ações climáticas e da constituição do pavimento, levando em consideração toda a construção do pavimento.

Para Garcia *et. al.* (2018) e Marchioni *et. al.* (2011), o pavimento drenante é constituído e dividido da seguinte forma:

- 1ª. Camada de concreto ou asfalto com 65mm a 100mm de espessura;
 - Camada de rolagem, deve ser dimensionada de acordo com a necessidade do local.
- 2ª. Filtro granular com 25mm a 50mm de espessura;
 - Utilizado para dar estabilidade a camada de concreto ou asfalto, tendo uma característica filtradora.
- 3ª. Reservatório de pedra com 0,25m de espessura mínima;
 - Utilizado para retardar a infiltração da água no solo.
- 4ª. Filtro granular com 50mm de espessura;
 - Interface entra o reservatório e o geotêxtil, servindo também de filtro.
- 5ª. Camada geotêxtil;
 - Sua principal função é filtrar os finos para que eles não cheguem ao subleito.

- 6ª. Subleito – Solo nativo com o lençol freático a 1,20m do fundo do pavimento poroso, podendo variar de acordo com o revestimento utilizado.
 - O local deve ser limpo, sem a presença de raízes ou materiais orgânicos, verificar caimentos e quando necessário preparar a tubulação para drenagem.

As camadas do pavimento funcionam como um reservatório temporário natural, diminuindo a velocidade de infiltração da água no solo. Marchioni *et. al.* (2011) e Trentin *et. al.* (2016) afirmam que a base e a sub-base do pavimento devem ser dimensionadas de acordo com o local de implantação, verificando a necessidade de uma tubulação para drenagem da água.

Segundo Marchioni *et. al.* (2016) para a construção de um pavimento drenante é necessário verificar a porcentagem de finos na mistura da camada de concreto ou asfalto para que se tenha uma porosidade relativa dentro dos quesitos, sendo necessário que a camada base, reservatório de pedra, do pavimento tenha um índice de vazios de 30% em relação aos agregados.

2.7.UTILIZAÇÃO E IMPANTAÇÃO DO PAVIMENTO DRENANTE

Os pavimentos permeáveis podem ser utilizados em diversos locais. Porém Botteon (2017) e Gouveia (2019) afirmam que por sua baixa resistência são mais indicados para uso em calçadas, ruas com tráfego leve, estacionamentos, ciclovias e áreas de drenagem. Para Maruyama *et. al.* (2016), este tipo de asfalto é largamente utilizado para a diminuição do coeficiente de runoff e também de filtragem poluentes carregados pela água.

Segundo Marchioni *et. al.* (2011) para a execução do pavimento drenante é necessário verificar alguns itens previamente, para garantir a viabilidade de implantação do pavimento:

- Recomenda-se 30 metros de distância de córregos, reservatórios de água e pântanos;
- Declividade do pavimento de no mínimo 1% e máximo de 5%, nas áreas ao entrono evitar declividade superior a 20%;
- Conhecer os dados de precipitação do local, com um período de retorno de 5 a 10 anos;
- Deve ser conhecido os dados de tráfego do local.

Após a verificação de todos os fatores em loco, é necessário aferir as propriedades do pavimento drenante, tais como seu coeficiente de permeabilidade e o seu coeficiente de infiltração. Para isso, Marchioni *et. al.* (2016) utiliza as equações 1 e 2.

$$k = \frac{A_1 L}{A_2 t} \log \left(\frac{h_i}{h_f} \right) \quad (1)$$

Onde:

- k: coeficiente de permeabilidade;
- A_1 : área de sessão da amostra; m²
- A_2 : área do tubo; m²
- L: comprimento da amostra; m
- t: tempo; s
- h_1 : altura inicial;
- h_2 : altura final.

$$I = \frac{KM}{D^2 t} \quad (2)$$

Onde:

- I: coeficiente de infiltração (mm/h);
- M: massa de água infiltrada (kg);
- D: diâmetro interno do cilindro;
- t: intervalo de tempo entre adição da água e seu desaparecimento da superfície;
- K: constante (4.583.666.000).

2.8. DURABILIDADE, MANUTENÇÃO E CUSTOS

Dumke (2005) e Machado (2007) e Pires *et. al.* (2019) afirmam que a durabilidade de um pavimento drenante pode ser comparada à de um pavimento convencional. Para isso o mesmo deve ser produzido a partir de matérias primas de qualidade, principalmente os ligantes e aditivos. Contudo, além da qualidade dos materiais, é necessária uma rotina de limpeza e controle dos sedimentos, só assim pode-se alcançar a vida útil máxima do pavimento.

Os sedimentos podem se acumular na superfície do pavimento diminuindo sua capacidade drenante. Em 10 anos, sem manutenção, Marchioni *et. al.* (2011) explica que o pavimento perde cerca de 90% de sua capacidade. Porém, a

quantidade de sedimentos pode variar de acordo com as especificações do local como, tráfegos, carregamento de sedimentos e jardins. Para Garcia *et. al.* (2018) a verificação da colmatação dos poros deve ser feita mensalmente nos primeiros meses, após esse período deve ser supervisionado a cada 6 meses.

Segundo Botteon (2017) o desentupimento dos poros deve ser feito de forma periódica para manter o nível de infiltração nas porcentagens adequadas. Para Maruyama *et. al.* (2016) a manutenção deste tipo de pavimento deve ser feita trimestralmente.

Para a limpeza do pavimento, Maruyama *et. al.* (2016) aponta os equipamentos de sucção a vácuo ou jatos de alta pressão, podendo ser de ar ou água, desentupindo os poros e mantendo a permeabilidade do local. Já para o revestimento de bloco, Garcia *et. al.* (2018) explica que a manutenção pode ser feita a partir da substituição dos blocos, ou até mesmo inverter o lado do mesmo, tornando a face interna externa e vice versa.

Segundo Botteon (2017), ao comparar o pavimento drenante a um pavimento convencional pode-se notar um aumento de 40% do custo de implementação do mesmo. Entretanto há uma redução no orçamento perante as obras de canalização da água pluvial. Para Pires *et. al.* (2019) esse custo não leva em consideração os efeitos indiretos que o pavimento gera, como diminuição das enchentes e alagamentos, podendo alterar o valor final da implementação do pavimento no longo prazo.

Para Garcia *et. al.* (2018) o custo de um pavimento drenante é de R\$155,00/m² tendo em vista um custo adicional de manutenção de R\$31.134,51/ha. Entretanto as vantagens que ele oferece é notável a longo prazo, reduzindo, ou até mesmo eliminando, a manutenção com sistemas de micro drenagem da região.

A economia que o pavimento drenante gera para o governo pode ser vista de muitas formas, Machado (2007) explica que uma delas é a redução de gastos com sistema de saúde, uma vez que há a redução dos acidentes em dias chuvosos. Seu valor inicial pode ser maior, porem com o passar dos anos ele passa a ser compensado de outras formas.

2.9. CARACTERÍSTICA PLUVIOMÉTRICA DA CIDADE DE CARAGUATATUBA

Martins *et. al.* (2013) apresenta que o município de Caraguatatuba possui uma carência de dados de históricos de chuva, dificultando os cálculos e trazendo

algumas inseguranças aos projetistas da região. A tabela 1 e a figura 2 apresentam alguns dados de precipitação gerados a partir da estação E2-046. Para Santos *et. al.* (2019), toma-se como base eventos extremos de chuvas, 80mm em 24 horas.

Tabela 1 - Análise de Frequência por séries anuais (mm/min) da estação E2-046 localizada em Caraguatatuba. Fonte: Martins *et. al.* (2013)

Intensidade de Chuva (mm/min)								
Duração (min)	Período de Retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
10	1,58	1,95	2,23	2,39	2,50	2,59	2,87	3,15
20	1,35	1,70	1,97	2,12	2,23	2,2	2,59	2,85
30	1,17	1,51	1,77	1,92	2,02	2,11	2,36	2,62
60	0,90	1,28	1,57	1,74	1,85	1,95	2,24	2,52
120	0,60	0,88	1,09	1,21	1,30	1,37	1,58	1,79
180	0,47	0,68	0,84	0,93	0,99	1,04	1,20	1,35
360	0,29	0,40	0,49	0,54	0,57	0,60	0,69	0,78
720	0,15	0,23	0,28	0,31	0,33	0,35	0,40	0,46
1080	0,11	0,16	0,20	0,22	0,24	0,25	0,29	0,33
1440	0,08	0,13	0,16	0,18	0,20	0,21	0,24	0,28

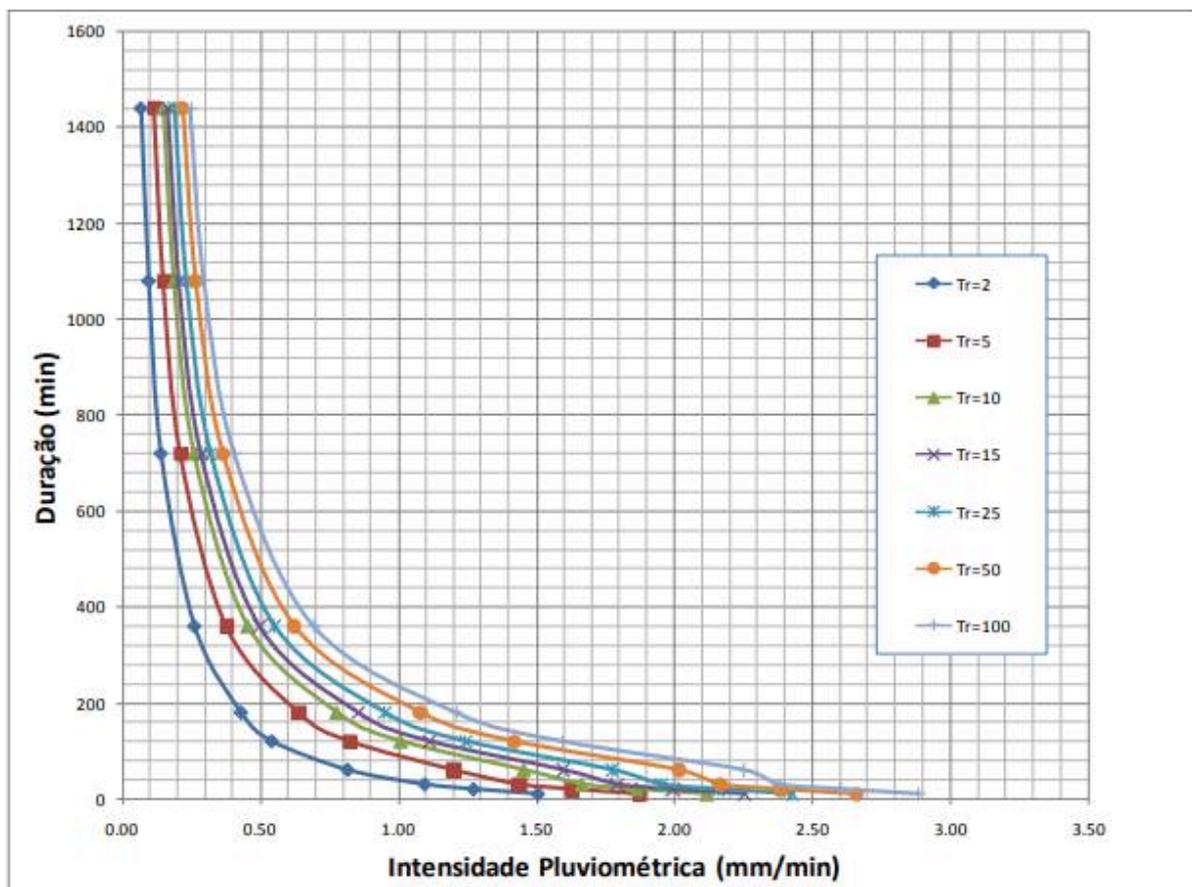


Figura 2 - Gráfico da intensidade Pluviométrica x Duração com Períodos de Retorno variando de 2 a 100 anos para a cidade de Caraguatatuba de acordo com a Tabela 1. Fonte: Martins *et. al.* (2013)

Santos *et. al.* (2019) traz alguns dados de chuva da região de Caraguatatuba entre os anos de 1956 e 2015. Com isso pode-se calcular, através do método GEV (Generalized Extreme Value), que um evento extremo de 240,8mm pode ocorrer na cidade a cada 40 anos, considerando os períodos mais chuvosos, que se tratam de verão e primavera. Entretanto quando se utiliza o método GPD (Generalized Pareto Distribution) o período de retorno cai pela metade, 20 anos. Os dados podem ser encontrados na tabela 2 e tabela 3.

Tabela 2 - Estimativas do modelo GEV dos máximos anuais de precipitações diárias para a área de estudo no período mais chuvoso para os quantis mais elevados e respectivos intervalos de confiança a 95%. Fonte: Santos *et. al.* (2019)

Estação	Quantil	PR (anos)	Estimativa (mm)	Intervalo de Confiança (mm)
Caraguatatuba	80%	5	126,33	(113,47; 143,43)
Caraguatatuba	90%	10	152,56	(135,46; 181,61)
Caraguatatuba	95%	20	178,86	(155,90; 226,77)
Caraguatatuba	97,5%	40	205,79	(173,63; 281,59)
Caraguatatuba	99%	100	242,80	(196,93; 368,72)
Caraguatatuba	99,5%	200	272,06	(212,46; 451,43)

Tabela 3 - Estimativas do modelo GPD das precipitações extremas diárias para a área de estudo no período mais chuvoso para os quantis mais elevados e respectivos intervalos de confiança a 95%.

Fonte: Santos *et. al.* (2019)

Estação	Quantil	PR (anos)	Estimativa (mm)	Intervalo de Confiança (mm)
Caraguatatuba	80%	5	156,77	(136,44; 177,11)
Caraguatatuba	90%	10	180,36	(151,00; 209,73)
Caraguatatuba	95%	20	204,55	(161,43; 247,67)
Caraguatatuba	97,5%	40	228,35	(167,38; 291,31)
Caraguatatuba	99%	100	263,09	(168,11; 358,07)
Caraguatatuba	99,5%	200	289,37	(163,09; 415,64)

Para os cálculos da intensidade de chuva da região, Martins *et. al.* (2013) utiliza a equação 3, onde t é o tempo de chuva e T_r é o tempo de retorno.

$$i = \frac{aT_r^d}{(t + c)^b} \quad (3)$$

Onde a , b , c , e d são constantes, encontradas a partir da figura 2, gerando a equação 4.

$$i = \frac{67,30 \cdot T_r^{0,121}}{(t + 50,03)^{0,94}} \quad (4)$$

Segundo reportagem postada no site oficial da Prefeitura de Caraguatatuba (2019), o lençol freático, encontrado na região, está a 60 centímetros da superfície, sendo categorizado como alto. Isso traz algumas dificuldades para obras de saneamento na cidade.

Com as informações obtidas, visando a quantidade de chuva da região juntamente com a altura do lençol freático, pode-se verificar a possibilidade de implantação de um pavimento drenante nas ciclovias de Caraguatatuba. De acordo com as características da cidade, o revestimento mais indicado seria o bloco intertravado, juntamente com o reservatório para controle de água, direcionando a água pluvial para outro local.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho em questão se resume a um estudo bibliográfico relacionado ao tema, asfalto drenante e suas aplicabilidades na cidade de Caraguatatuba. Para a execução do mesmo foi revisado artigos de revistas, trabalhos de conclusão de curso, defesas de mestrado e doutorado, apresentações em seminários, entre outros bibliografia científicas.

Alguns dados foram verificados a partir de visitas em loco e dados visuais, coletados a partir de fotos em dias chuvosos.

4. RESULTADOS

Após verificar as características da cidade de Caraguatatuba pode-se notar que a região possui um lençol freático alto e uma intensidade de chuvas elevadas durante o verão e primavera, superando os 150mm de chuvas por dia, em um tempo de retorno de 5 anos.

O pavimento drenante que melhor se encaixa para a região é o pavimento intertravado pois o mesmo possui maior facilidade de implantação e manutenção. Tendo em vista que há uma grande quantidade de areia na cidade a manutenção do pavimento permeável se torna de grande importância, pois pode haver entupimento dos poros, inviabilizando seu uso.

O reservatório escolhido para o local será o de controle de águas. Essa escolha foi feita com base na altura do lençol freático, havendo necessidade de transpor a água para outro local. A figura 3 e figura 4 mostram dois trechos da ciclovia de Caraguatatuba inundados pela chuva devido a falta de drenagem de água pluvial.



Figura 3 - Trecho da ciclovia de Caraguatatuba, paralelo a Avenida Rio Branco, inundada pela água da chuva. Fonte: Autor, tirada em 19 de out. de 2021.



Figura 4 - Trecho da ciclovia de Caraguatatuba, paralelo a Avenida Rio Branco, inundada pela água da chuva. Fonte: Autor, tirada em 18 de out. de 2021.

A água captada pelo pavimento drenante deve ser canalizada e direcionada para um reservatório, com a criação de alguns piscinões, onde poderá ser utilizada posteriormente para fins não potáveis, ou canalizada para os rios que desembocam no mar, como Rio Santo Antônio e Rio Juqueriquerê, retornando ao seu ciclo natural.

A água poderá ser direcionada para mais de um local, uma vez que a extensão da ciclovia é de aproximadamente 10,75km, verificado através das imagens de satélite. O trajeto da ciclovia está expresso na figura 5.



Figura 5 – Ciclovia de Caraguatatuba paralelo a Avenida Rio Branco (BR-101). Fonte: Google Earth.

A reforma da ciclovia implicaria em uma melhoria na qualidade de vida dos moradores da cidade, uma vez que a mesma possui alguns trechos onde há uma interrupção da via de circulação de bicicletas, sendo necessária a construção da mesma, podendo ser diretamente confeccionada de pavimento drenante. Para Torres *et. al.* (2019) a eficiência da ciclovia de Caraguatatuba é de 47%. Tendo como estudo a ciclovia paralela a Avenida Rio Branco (BR-101), a mesma possui baixos níveis de drenagem e manutenção, quando comparadas a outras localidades da cidade. A figura 6 e figura 7 apresentam as notas para os quesitos drenagem e pavimentação das ciclovias em Caraguatatuba.

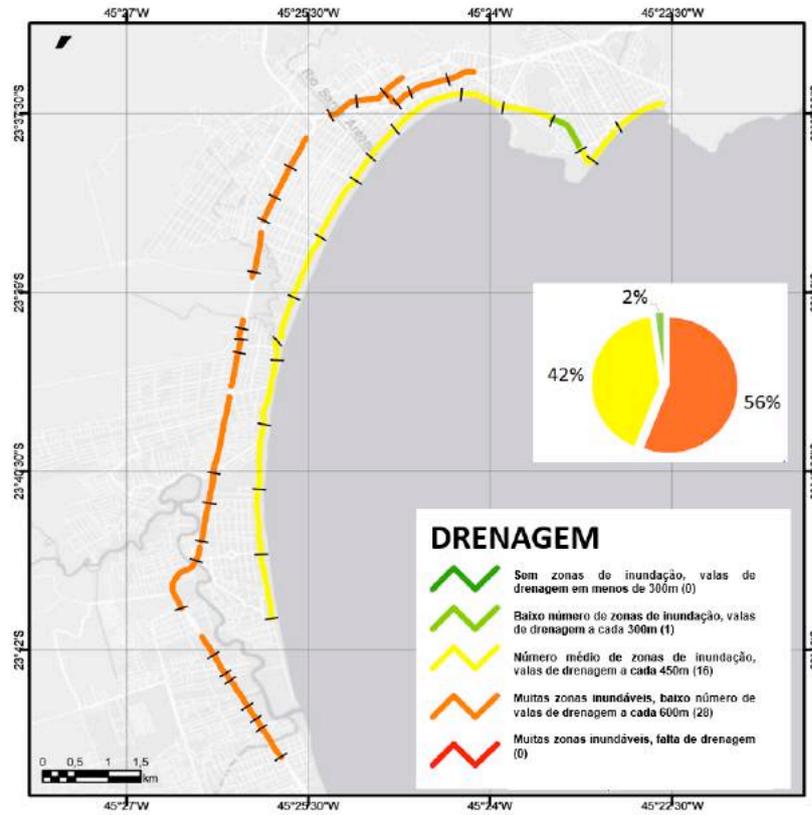


Figura 6 – Índice de drenagem da ciclovia de Caraguatatuba. Fonte: Adaptado de Torres *et.al.* (2019).

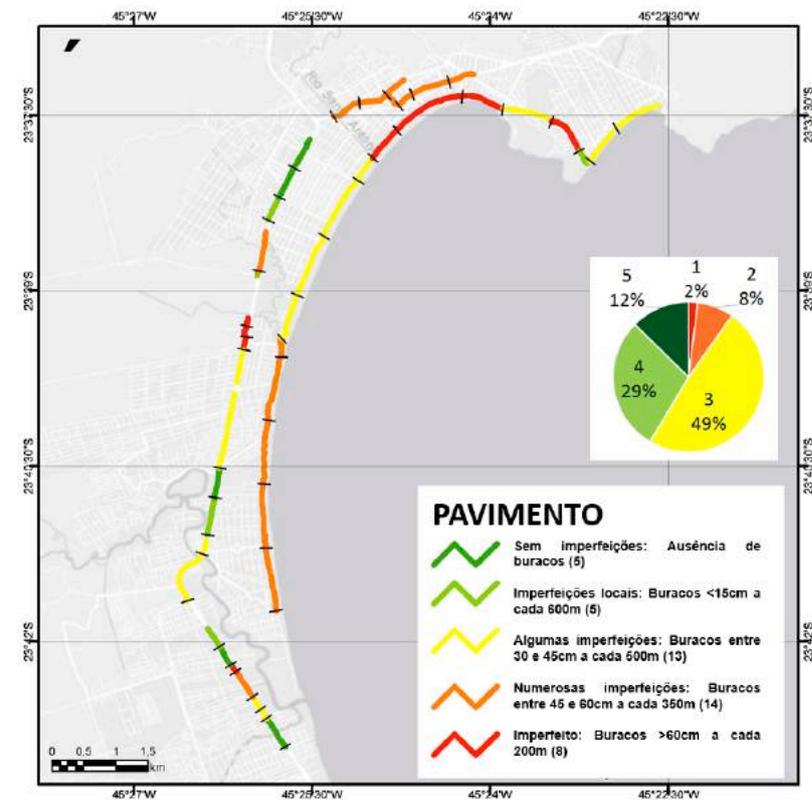


Figura 7 - Índice de pavimentação da ciclovia de Caraguatatuba. Fonte: Adaptado de Torres *et.al.* (2019).

5. CONCLUSÃO

O artigo apresentou a diferença entre pavimentos convencionais e pavimentos permeáveis, verificando a viabilidade de implantação na ciclovia de Caraguatatuba. Isso ocorre pelo fato da mesma, toda vez que chove, acumular um grande volume de água empoçada, dificultando a transição da população, fazendo com que os ciclistas utilizem a via expressa como saída.

Ao final pode-se concluir que há um ótimo custo x benefício com a implantação do pavimento drenante na ciclovia de Caraguatatuba, já que o local não possui tráfego pesado, além de haver, periodicamente, problemas com empoçamento de água na via. Em questões de custos, seria um dinheiro gasto em primeira instância que futuramente reduziria custos com a manutenção no sistema de drenagem urbana. Aqui propôs-se um tipo do pavimento drenante para implantação, levando em conta, tipo de revestimento e reservatório.

Para futuros trabalhos é interessante verificar o traço do pavimento, que possivelmente possa ser implantado nos blocos, a taxa de infiltração do mesmo, seja ela pelo próprio bloco ou pelas juntas, e confirmar se atende a necessidade de Caraguatatuba.

6. REFERENCIAS

BOTTEON, Leticia Machado. Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos. 2017. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

BRECHT, Douglas Gherardt. Sistemas de Pavimento Drenante: potencial de captação e filtragem da água pluvial para aproveitamento em edificações. 2015. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DUMKE, Marilan Pedro. Concreto Asfáltico Drenante com Fibras de Celulose, Ligante Modificado por Polímero e Asfalto-Borracha. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

GARCIA, Jéssica Aparecida Alves; BERTEQUINI, Aline Botini Tavares. Pavimentos Permeáveis. 2018. Disponível em: <<https://servicos.unitoledo.br/repositorio/handle/7574/2180>>. Acesso em: 09 de Jun. de 2021.

GOUVEIA, Mariana Aparecida de Oliveira. Asfalto Drenante: proporções granulométricas e aplicabilidade. 2019. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, Go, 2019.

KLEIN, Caio Wolf. Análise econômica e potencial do uso de água pluvial captada por meio de pavimento drenante em proposta de praça sustentável no loteamento novo Campeche. 2021. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - UFSC, Florianópolis - SC, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228580/Caio%20Klein%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 out. 2021.

MACHADO, Ronaldo Zamiro. Asfalto modificado com polímero SBS para pavimentos drenantes. 2007. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira; MAYOR, Arcindo Vaquero. Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concretos Permeáveis. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2016.

MARTINS, Daniela; KRUK, Nadiane Smaha; TSCHÖKE, Gabriele Vanessa. Determinação da equação de chuvas intensas para a cidade de Caraguatatuba – SP. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX., 2013, Bento Golçalves - RS. PDF [...]. Bento Golçalves - RS: [s. n.], 2013. 8 p. Disponível em: https://abr.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/21dd5e5ddada38e6964a052e51b885fd_7d61dab35d0a4e901b65c26f881a42e4.pdf. Acesso em: 27 out. 2021.

MARTINS, Ronaldo Miotto. Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto. 2014. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - UTFPR, Pato Branco - PR, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14454/2/PB_COECI_2013_2_18.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

MARUYAMA, Cintia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes,

[S.I.], v. 4, n. 9, dez. 2016. ISSN 2317-8604. Disponível em: . Acesso em: 09 Jun. 2021.

PIRES, Rodrigo Azevedo Gonçalves; CARRILHO, Bruna Brandini; SILVA NETO, Wilson Levy Braga; GALVÃO, Rafael Golin. Asfalto convencional ou permeável: viabilidade técnica na prevenção de enchentes. In. ENANPUR. N° XVIII. 2019. Natal. Anais.

PREFEITURA DE CARAGUATATUBA. Lençol freático alto é obstáculo para obras de esgoto em Caraguatatuba. Caraguatatuba - SP, 19 jul. 2019. Secretaria de Obras Públicas, p. 1-1. Disponível em: <https://www.caraguatatuba.sp.gov.br/pmc/2019/07/lencol-freatico-alto-eobstaculo-para-obras-de-egoto-em-caraguatatuba/>. Acesso em: 2 nov. 2021.

SANTOS, Denise Dias; GALVANI, Emerson. Eventos extremos de precipitação e período de retorno no Litoral Norte Paulista. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XVIII., 2019, Fortaleza - CE. PDF [...]. Fortaleza - CE: [s. n.], 2019. 12 p. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancasglobais/366.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.

TORRES, M. K. A. A. ; LETCOOVISKI, G. B. ; BOULOMYTIS, V. T. G. ; ALVES, C. D. . Cycling cities and sustainable urban development: challenges for Caraguatatuba, SP, Brazil. In: 9th German-Brazilian Symposium on Sustainable Development, 2019, Stuttgart, Germany. Proceedings of the 9th German-Brazilian Symposium on Sustainable Development, 2019.

TRENTIN, Thiago Francisco da Silva; BIANCHI, Gislaine; SOUZA, Emilly Scherole de. Capacidade de Armazenamento de Água de chuva do Pavimento Drenante. Revista Científica ANAP Brasil, [S.I.], v. 9, n. 17, dez. 2016. ISSN 1984-3240. Disponível em: . Acesso em: 09 Jun. 2021.