

**APLICAÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO COM POLIETILENO DE
ALTA DENSIDADE (PEAD): UMA INVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA
GESTÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS**

Orientando: Andrezzo Júlio Dantas Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Geovane Barbosa do Nascimento

**Uruçuca - BA
2023**

APLICAÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO COM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD): UMA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA GESTÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Andrezzo Júlio Dantas Nascimento¹, Geovane Barbosa do Nascimento²

¹Estudante de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano.

e-mail:andrezzomoreno@hotmail.com

Geovane Barbosa do Nascimento², Professor Titular do IFBaiano-Campus Uruçuca.

e-mail:geovane.nascimento@ifbaiano.edu.br

Este trabalho objetivou desenvolver um pavimento permeável de concreto que seja capaz de reduzir o fluxo de escoamento superficial das águas pluviais, a partir da utilização do material reciclável da construção, mais especificamente o uso do resíduo denominado de “tela tapume”, tecnicamente chamado de PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Tal pavimento apresentou características tecnológicas de permeabilidade, porosidade e resistência mecânica compatíveis com os limites disponíveis nas normas em vigor para o uso em áreas de microdrenagem urbana. Para tanto, o método adotado consistiu na execução de três fases. Inicialmente foi realizado levantamento bibliográfico a respeito da confecção e características tecnológicas de pavimentos permeáveis de concreto. Na segunda etapa foram realizados testes relacionados à resistência mecânica à compressão em pisos de formato sextavado para avaliar a capacidade de carga que o piso fabricado é capaz de suportar. Por fim, foi possível aplicar *in loco* um protótipo, a fim de demonstrar como se dá o comportamento do escoamento superficial das águas pluviais avaliando seu potencial quanto ao reuso em sistemas de drenagem previstos na ABNT NBR 16416/2015. Os testes com o piso de PEAD apresentaram excelentes resultados em relação a permeabilidade e a resistência mecânica a compressão, e sua utilização em pavimentações demonstra ser uma inovação tecnológica promissora para gestão do escoamento superficial de águas pluviais, de modo a contribuir para mitigar alagamentos bem como possibilitar o aproveitamento da água pluvial captada e drenada.

Palavras-chave: Pavimento drenante; Resíduos da construção civil; Águas pluviais; Escoamento superficial.

ABSTRACT

This work aimed to develop a permeable concrete pavement that is capable of reducing the flow of surface runoff of rainwater, using recyclable construction material, more specifically the use of the residue called "siding screen", technically called HDPE. (High density polyethylene). This pavement presented technological characteristics of permeability, porosity and mechanical resistance compatible with the limits available in the standards in force for use in urban micro drainage areas. Therefore, the method adopted consisted of executing three phases. Initially, a bibliographical survey was carried out regarding the construction and technological characteristics of permeable concrete pavements. In the second stage, tests related to the mechanical resistance to compression were carried out on hexagonal-shaped floors to evaluate the load capacity that the manufactured floor is capable of supporting. Finally, it was possible to apply a prototype on site, in order to demonstrate how the surface runoff of rainwater behaves, evaluating its potential for reuse in drainage systems provided for in ABNT NBR 16416/2015. Tests with HDPE flooring showed excellent results in relation to permeability and mechanical resistance to compression, and its use in paving proves to be a promising technological innovation for managing surface runoff of rainwater, in order to contribute to mitigating flooding as well as enable the use of captured and drained rainwater.

Keywords: Drainage pavement; Construction waste; Rainwater; Surface runoff.

1. INTRODUÇÃO

O escoamento superficial das águas pluviais em áreas urbanas apresenta-se como um problema de ordem pública e civilizatória. Assim, os impactos relacionados aos constantes alagamentos e enchentes necessitam de uma alternativa que possa reduzir essa problemática. Umas das alternativas para solucionar esse problema é a utilização de revestimentos permeáveis de concreto que podem ser usados em área de microdrenagem, tais como: passeios, ciclovias, estacionamentos, praças, currais, pequenos trechos de estradas, enfim, em áreas com capacidade de carga moderada, onde é possível trafegar veículos aproveitando a área total que foi executado o sistema de drenagem escolhido.

As cidades precisam se planejar quanto ao enfrentamento dos problemas relacionados a drenagem urbana, de modo a promoverem ações que possam evitar e/ou mitigar alagamentos importantes, bem como garantir o melhor aproveitamento das águas pluviais. Os riscos potenciais de alagamentos estão relacionados com as características do relevo, tipo de solo, pavimentação e urbanização desordenada, situações que podem dificultar o escoamento das águas da chuva, especialmente em locais onde o lençol freático se encontra muito próximo à superfície do solo.

Acredite-se que seja necessário apresentar soluções para as cidades quando o assunto é o manejo das águas pluviais, cujo propósito basilar se fundamenta no melhor aproveitamento desses recursos hídricos como forma de relacionar sustentabilidade e qualidade de vida dos indivíduos, sendo necessário o desenvolvimento de sistemas de drenagem eficientes e seguros, e que atendam as normas técnicas previstas na ABNT - NBR 16416/2015.

Importante ressaltar que os pisos permeáveis utilizados neste projeto foram desenvolvidos pelo autor junto ao curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz, curso que se encontra em fase conclusiva. Este piso drenante apresenta composição estrutural formada por concreto e Polietileno de Alta Densidade (PEAD), caracterizando-se como uma inovação tecnológica promissora, visto que o piso

apresentou alta permeabilidade e alta resistência estrutural, atendendo todos os requisitos da Norma Técnica ABNT 16416/2015.

A presente pesquisa tem como objetivo geral contribuir com a inovação tecnológica da gestão do escoamento superficial das águas pluviais a partir da utilização de pavimento de concreto com polietileno de alta densidade (PEAD).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão dos recursos hídricos

A administração pública das cidades necessita de um planejamento que contemple aspectos que busquem solucionar questões relacionadas a drenagem urbana, em especial desenvolver ações que possam evitar alagamentos e garantir a qualidade da água, seu manejo e coleta.

A dificuldade no escoamento e o retorno das águas pluviais ao lençol freático, devido ao elevado processo de urbanização, pode provocar alterações nos leitos dos rios e dos canais, gerando aumento no volume desses rios e, consequentemente, constância das enchentes.

Esse projeto de pesquisa apresenta características inovadoras quanto ao manejo das águas superficiais pluviais presentes na microdrenagem urbana. Sua relevância se destaca pelo fato de o revestimento permeável utilizado apresentar alta resistência e alta permeabilidade, de modo a manter a área útil do terreno com condições de reduzir consideravelmente as enxurradas, sendo capaz também de melhorar a qualidade da água que será conduzida ao lençol freático.

A Lei nº 14.026, de 2020, em seu art. 3º - D conceitua drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, como: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e à fiscalização preventiva das redes (BRASIL,2020).

Falhas relacionadas com a gestão dos recursos hídricos podem acarretar impactos negativos ao meio ambiente, às populações e a economia local e/ou

regional. Como descreve o marco histórico e a implementação do atual modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil, em que:

O modelo de gerenciamento de recursos hídricos começou a se estruturar no meio acadêmico, no VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, em 1989, promovidos pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Naquele momento foi elaborada a carta de Foz do Iguaçu, na qual eram considerados os princípios do modelo francês de gestão das águas: a bacia hidrográfica como unidade de gestão, o princípio do poluidor-pagador e da indissociabilidade de qualidade e quantidade. (FINKLER, 2019).

Na imagem abaixo (Figura 1) é possível verificar áreas onde as enchentes e alagamentos são constantes:



Figura 1- Áreas inundadas na região Sul da Bahia em 2021. Fonte: Divulgação/Governo da Bahia.

Alagamentos importantes são comuns em zonas tropicais, como é o caso do Brasil, seja em municípios pequenos ou em grandes metrópoles. Os riscos potenciais de alagamentos estão relacionados a vários fatores, destacando-se: o clima tropical, tipos de solo e relevo, vegetação local, pavimentação das ruas e estradas, e ocupação desordenada e/ou uso inadequado do solo.

Para mitigar os problemas de alagamentos é necessário observar, dentre os aspectos edafoclimáticos, a escolha de pavimentos e sistemas de drenagem que, de acordo com (PARANÁ, 2017), são classificados como de microdrenagem e de macrodrenagem, sendo:

- A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado.
- A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. A macrodrenagem abrange áreas superiores a 4 km² ou 400 ha, sendo que esses valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode

possuir as mais diferentes configurações. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

O bom funcionamento do tipo de sistema construtivo selecionado precisa atender com bastante eficiência, tanto as solicitações mecânicas, quanto hidráulicas do sistema de drenagem da microdrenagem como um todo.

É de suma importância demonstrar a diferença entre essas áreas, pois as áreas de microdrenagem envolvem exclusivamente áreas menores de atuação onde os pisos permeáveis fabricados serão aplicados com uma resistência de 20 Mpa (*Mega Pascal- unidade de resistência da força*). A Figura 2 ilustra diferentes ambientes que podem ser aplicados o sistema de microdrenagem.



Figura 2 - Ambientes projetados com microdrenagem. Fonte: Blog decoração.biz

No caso de áreas urbanas, a microdrenagem pode ser utilizada para evitar alagamentos em ciclovias, praças públicas, calçadas, passeios, condomínios residenciais, área de lazer, pisos residenciais externos, entre outras.

2.2 Tipos de Revestimentos Permeáveis de Concreto

A norma regulamentadora ABNT- NBR 16415/16 preconiza a seguinte classificação quanto aos revestimentos permeáveis: revestimento de peças de concreto com juntas alargadas, áreas vazadas e peças de concreto permeável. Os conceitos das três categorias de revestimentos supracitados são definidos de acordo com os preceitos normativos da (ABNT NBR 16416, 2015), que destaca:

Revestimento de peças de concreto com juntas alargadas: revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por juntas entre as peças de concreto; **Revestimento de peças de concreto com áreas vazadas:** revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por áreas vazadas das peças de concreto. **Revestimento de peças de concreto permeável:** revestimento permeável cuja percolação de água ocorre por peças de concreto permeável.

Das diferentes tipologias de revestimento com previsão normativa, a peça de concreto permeável foi o tipo usado na pesquisa. Segue abaixo (Figuras 3 a 7) as tipologias de revestimentos e suas diferenciações:



Figura 3- Peças de concreto com juntas alargadas. Fonte: Bloq decoracão.biz



Figura 4- Pavimento áreas vazadas. Fonte: Viva decora.



Figura 5- Peça de concreto permeável. Fonte: Hipermixbrasil.com.br



Figura 6 – Placa de concreto permeável. Fonte: Pará blocos.



Figura 7 – Concreto permeável moldado “in loco”. Fonte: tecnosilbr.com.br

É importante salientar que este processo construtivo deve obedecer a critérios, especificações e requisitos mínimos que abrange desde a fabricação do revestimento da peça permeável até a instalação e entendimento de funcionamento de todo processo, pois todo o sistema deverá trabalhar de forma harmônica e padronizada. Na Figura 8 é ilustrado o assentamento dos pavimentos de acordo com o protótipo esquematizado:

1

Sugestão de Base para Assentamento de Piso Permeável com Juntas alargadas Ciclovias, Praças e Estacionamentos de Veículos Leves.

Resistência:
35 MPa

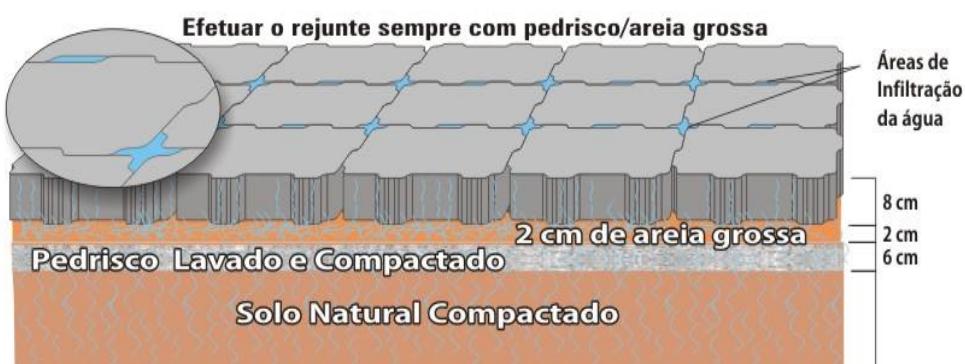


Figura 8 – Base de assentamento de Piso Permeável. Fonte: Gráfica Rogel.

Com o propósito de apresentar uma visão ampliada do sistema de drenagem criou-se uma representação gráfica do sistema, conforme ilustrado na Figura 9, onde verifica-se a tubulação de drenagem (quando necessário), e as camadas de revestimentos aplicadas sobre o subleito.

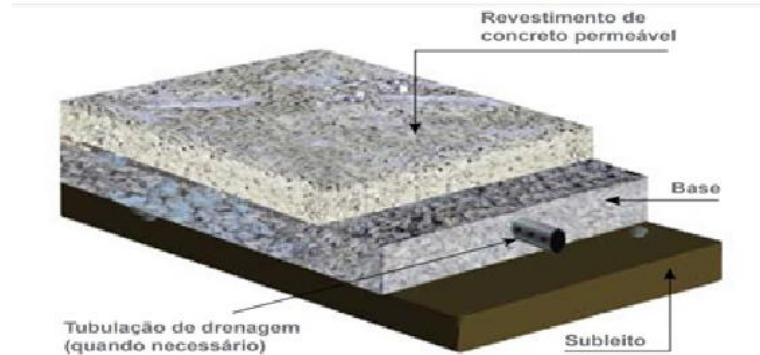


Figura 9 – Representação em perfil das camadas de instalação dos sistemas de drenagem. Fonte: ABCP (Associação Brasileira Cimento Portland).

Ressalta-se que a obediência aos preceitos do aspecto normativo da ABNT- NBR 16415/16 é de extrema importância para construção dos pisos permeáveis, pois o bom funcionamento deverá atender com bastante eficiência tanto as solicitações mecânicas quanto hidráulicas do pavimento permeável.

Os dados da Tabela 1, logo abaixo, extraídos da norma supracitada, vem situar o campo de atuação da pesquisa, tornando-a restrita a área de atuação apenas aos ensaios previstos na ABNT NBR 9781/2013 que trata dos ensaios e procedimentos quanto à resistência mecânica à compressão.

É importante ressaltar também que a Associação Brasileira de Normas Técnicas destaca que em peça de concreto permeável, objeto do estudo desenvolvido nesta pesquisa, deve ser aplicado obrigatoriamente apenas a testes de resistência à compressão baseada na ABNT NBR 9781.

Tabela 1 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável.

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^{\text{a}}$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^{\text{a}}$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^{\text{b}}$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^{\text{c}}$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^{\text{c}}$	

a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.
b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.
c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte – ABNT- NBR 16416/2015

Não haverá necessidade, portanto, ensaios de resistência à flexão e resistência à tração na flexão baseadas, respectivamente, na ABNT NBR 15805 e ABNT NBR 12142. A cura é, portanto, um procedimento extremamente importante, visto que influencia diretamente na qualidade do piso drenante produzido.

2.3 Sistemas de Drenagem com Pavimento Permeável de Concreto

Fez-se necessário estudar os tipos de sistemas de drenagem com pavimento permeável de concreto, os quais possibilitam mitigar enchentes e alagamentos em áreas urbanizadas. Um dos benefícios dos sistemas que foram apresentados na pesquisa, logo abaixo, constitui-se na capacidade de reaproveitamento da água em sua totalidade, seja para os lençóis d'água, ou até mesmo para seu reuso, reduzindo ou eliminando como consequência, a problemática da escassez hídrica.

Outro aspecto que se deve levar em consideração no projeto é no que tange a escolha do tipo de sistema construtivo que será escolhido, o que poderá influenciar diretamente no manejo da microbacia. Os modelos de sistema construtivo apresentados nessa linha de pesquisa podem ser classificados em sistemas com: Infiltração total, infiltração parcial ou sem infiltração. Como bem destaca a (ABNT NBR 16416, 2015), que diz:

O pavimento permeável pode ser concebido de três diferentes maneiras em relação à infiltração de água precipitada. A escolha do sistema de infiltração depende das características do solo ou de condicionantes de projeto. *Infiltração total*: neste sistema de infiltração, toda a água precipitada alcança o subleito e se infiltra. *Infiltração parcial*: neste sistema de infiltração, parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, porém, parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo depois removida pelo dreno. *Sem infiltração*: neste sistema de infiltração, a água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno.

Um fator preponderante que influencia diretamente o desempenho e funcionamento do sistema hidráulico diz respeito a análise do tipo de solo, pois quanto mais arenoso o solo melhor será a filtragem e percolação da água direcionada ao subleito. Contudo, informações devem ser apreciadas quanto ao tipo de solo considerando sua capacidade de carga; nível do lençol freático; local da implantação do projeto; análise do coeficiente de permeabilidade; declividade do terreno; intensidade da resistência mecânica do revestimento; detalhes e especificações das juntas.

De acordo com os aspectos normativos apresentados, apresenta-se a seguir (Figuras 10 a 12) ilustrações de diferentes sistemas de drenagem, conforme ABNT-NBR 16416/2015.

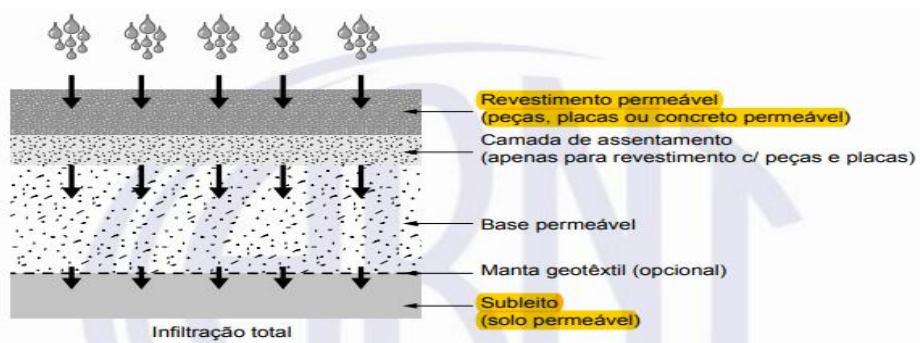


Figura 10: Sistema por Infiltração Total. Fonte: ABNT- NBR 16416/2015.

Nessa espécie de sistema por infiltração total a contribuição sustentável aos lençóis freáticos é bastante significativa, pois atende ao reabastecimento e filtragem das impurezas das águas pluviais conduzidas a camada subterrânea do subleito.

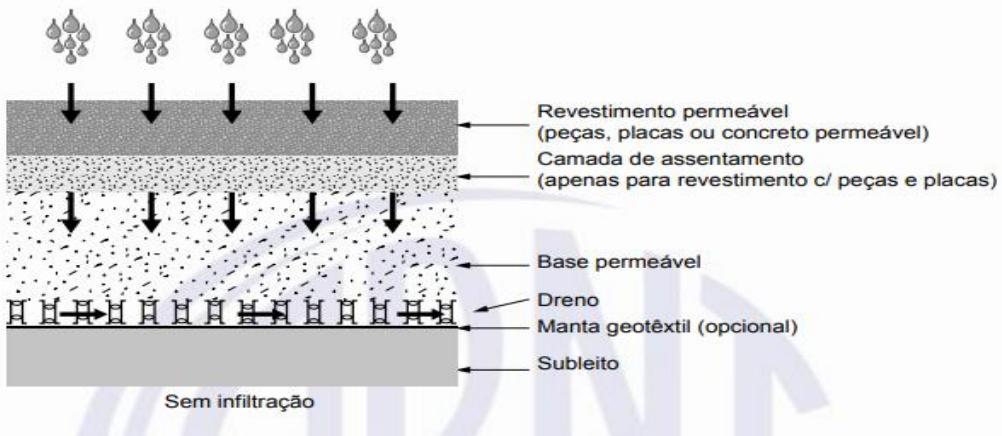


Figura 11- Sistema de Drenagem Sem infiltração. Fonte: ABNT- NBR 16416/2015.

Esse sistema é tipo de áreas que possuem grande escassez de água e pode ser diretamente utilizado em comunidade carente de recursos hídricos.

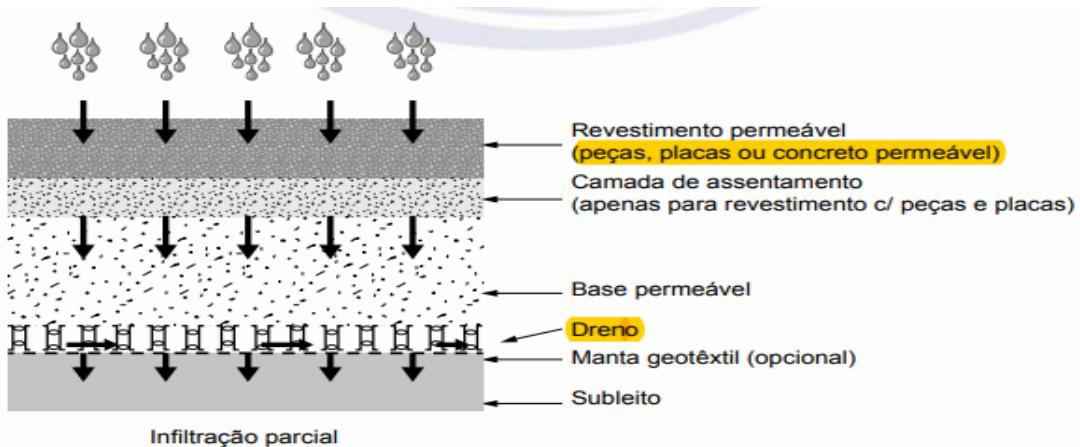


Figura 12 – Sistema de Drenagem por Infiltração Parcial. Fonte: ABNT- NBR 16416/2015.

Esse arcabouço teórico de informações compuseram os fundamentos basilares do projeto com o propósito de poder atender com eficiência e qualidade não apenas do consumidor que irá adquirir o produto, mais também ao fabricante do revestimento e ao responsável pela execução do sistema de drenagem.

Ademais, outro fator de grande preponderância presente nesse projeto construtivo é o enfoque dado pela NBR supracitada, que também elucida o

caráter de execução, manutenção e limpeza do pavimento permeável. Essas premissas tratam diretamente com questões referente ao desempenho hidráulico e mecânico do pavimento. O projeto de um pavimento permeável deve considerar o tipo de uso e o local de implantação, sendo que a definição dos materiais e espessuras das camadas a serem executadas deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico (ABNT NBR 16416, 2015).

Além disso, esses pavimentos permeáveis de concreto contribuem para que a água superficial possa ser reaproveitada a depender das condições do terreno e de fatores específicos quanto à produção das peças permeáveis, instalação e o tipo de sistema construtivo escolhido. Um dos benefícios desses sistemas é a capacidade de reaproveitamento da água da chuva em sua totalidade para os lençóis d'água, ou até mesmo, como solução de reaproveitamento.

As análises fundamentaram-se em torno do manejo e escoamento das águas pluviais, em que o processo de instalação do dimensionamento hidráulico teve como base os preceitos descritos na NBR 16416/2015 que versa acerca dos procedimentos e requisitos mais adequados para instalação do sistema de drenagem escolhido para cada tipo de solo específico. O reaproveitamento da água da chuva dependerá do modelo de sistema de drenagem adotado.

2.4 Reaproveitamento de Água Pluvial

Um dos benefícios desse projeto é a capacidade de reaproveitamento da água em sua totalidade seja para os lençóis d'água, ou até mesmo para seu uso para fins não potáveis, eliminando como consequência, a problemática da escassez hídrica tão presente atualmente.

Dessa maneira, os locais revestidos com pavimentos permeáveis devem ter toda a sua superfície (área permeável + área de contribuição) considerada como 100% permeável (ABNT NBR 16416, 2015).

No que tange ao processo de fabricação é fundamental destacar a importância da porosidade presente na composição desses pavimentos permeáveis, pois em época de grande quantidade de chuva em algumas regiões

brasileiras, os agregados graúdos usados na confecção das peças permitem que as águas pluviais possam escoar com mais velocidade e mais facilmente. Como destaca a Associação Brasileira dos Cimentos Portland (ABCP, 2022):

Ao permitir a passagem da água através da sua estrutura, o concreto permeável minimiza a impermeabilização das áreas que ocorre com os sistemas convencionais. A porosidade varia de 15% a 30% proporcionado um escoamento melhor da água, dependendo do material e da sua disposição, tornando-se uma alternativa sustentável para o manejo das águas pluviais. Em especial nas épocas do ano nas quais se enfrenta – e se sofre com o alto volume das chuvas – principalmente as regiões sudeste e nordeste.

A taxa na qual a passagem de água infiltra no interior do piso drenante é o fator primordial para um bom controle de fluxo de água pluvial na superfície terrestre, pois enquanto o coeficiente de permeabilidade trata da velocidade de infiltração da água no solo, por outro lado, o coeficiente de escoamento aborda a velocidade dessa mesma água presente na superfície terrestre.

A imagem abaixo (Figura 13) representa a estrutura interna do pavimento permeável desenvolvida com a inserção das chamadas telas tapumes, amplamente descartadas pela obra na construção civil:

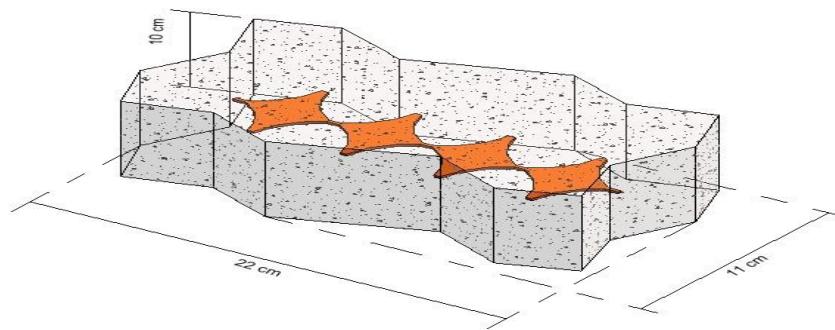


Figura 13- Imagem da estrutura interna do piso permeável.

A proposta desse piso drenante vem trazer um material constantemente descartado da construção civil, denominado de “tela tapume” ou “cerquite”, utilizada como uma tela de segurança e sinalização nas mais diversas obras da construção civil. A base estrutural desse material é de alta resistência com a presença do PEAD (Polietileno de Alta Densidade). A utilização desse tipo de resíduo como elemento de composição estrutural dos pisos permeáveis de concreto além de beneficiar o meio ambiente é eficaz no tocante aos testes de

resistência mecânica à compressão realizados nas primeiras análises laboratoriais. O PEAD possui algumas características notáveis que o condiciona a ser utilizado na estrutura dos pisos drenantes, tais como: dureza, resistência mecânica a altas pressões, durabilidade relacionada ao impacto, ataque químico e brasão. A importância desse tipo de polietileno é destacada como menciona por Neuplast (2022):

Quando se fala em aplicação do polietileno de alta densidade na indústria, estamos nos referindo, principalmente, a dois setores econômicos: construção civil e embalagem. Trata-se de dois gigantes do mercado que movimentam e impulsionam o consumo do PEAD no Brasil e no mundo. Considerada a principal variação do plástico polietileno, o PEAD tem um papel central entre os polímeros devido a qualidades como durabilidade, estanqueidade, ductibilidade, resistência à corrosão e flexibilidade. Essas características o tornam menos suscetível a oscilações extremas, como os terremotos.

O modelo do piso permeável utilizado inicialmente nas pesquisas foram os denominados 16 faces ou piso “S” com dimensões 22x11x10 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), conforme ilustrado na Figura 13.

Cabe destacar que pode ser utilizado qualquer modelo de piso permeável em sistemas de drenagem. Assim, na segunda fase foi desenvolvido o modelo sistema de drenagem com a presença do revestimento sextavado com dimensões 25x25x08 cm (arestas e altura), conforme apresentados nas imagens abaixo (Figuras 14 e 15):



Figura 14 - Imagem do piso permeável sextavado.



Figura 15 - Imagem dos pisos permeáveis selecionados.

A imagem da (Figura 15) demonstra a composição da bancada em protótipo de modelo de sistema de drenagem em um metro quadrado de piso sextavado que corresponde a 18 unidades de piso:

Outro aspecto que carece ser observado refere-se as informações apreciadas quanto ao tipo de solo considerando sua capacidade de carga; nível do lençol freático; local da implantação do projeto; análise do coeficiente de permeabilidade; declividade do terreno; intensidade da resistência mecânica do revestimento; detalhes e especificações das juntas.

2.5 Execução e Manutenção do Revestimento Permeável de Concreto

Quanto ao processo de execução, o pavimento permeável segue os mesmos procedimentos realizados em sistemas do tipo pavimento impermeável e presentes na ABNT NBR 9781/2013. A execução do pavimento permeável deve ser realizada conforme as metodologias construtivas compatíveis com o tipo de revestimento escolhido. Para tanto, podem ser empregados os procedimentos utilizados em sistemas de pavimentação convencional (não permeável), desde que não entrem com conflito com as especificações desta Norma (ABNT NBR 16416, 2015). Referente a manutenção do pavimento permeável, o mesmo deve ser efetuado sempre que possível para não comprometer a boa eficiência do sistema construtivo escolhido:

O pavimento permeável deve sofrer intervenções de manutenção sempre que existirem condições que comprometam o desempenho mecânico ou hidráulico do pavimento. Os reparos realizados no

pavimento devem utilizar os mesmos tipos de materiais do pavimento existente, sendo vetada a utilização de revestimentos impermeáveis ou outros materiais que evidenciem o reparo ou prejudiquem o desempenho do pavimento (ABNT NBR 16416, 2015).

De acordo com a indicação do tipo de projeto escolhido a limpeza deve ser realizada periodicamente, conforme apresenta a indicação do projeto. Com isso, preconiza a NBR 16416 (ABNT, 2015) que:

A verificação do desempenho do pavimento permeável quanto à permeabilidade deve ser realizada periodicamente conforme indicação de projeto. Quando o pavimento permeável, após determinado período de utilização, apresentar coeficiente de permeabilidade menor ou igual a 10^{-5} m/s, deve-se executar ações de limpeza com o objetivo de recuperar a capacidade de permeabilidade do pavimento. As etapas de limpeza recomendadas são: — remoção de sujeiras e detritos em geral da superfície do pavimento por meio de varrição mecânica ou manual; — aplicação de jato de água sob pressão; — aplicação de equipamento de succão para retirada de finos; — recomposição do material de rejuntamento (quando for o caso).

Os aspectos relacionados à manutenção, limpeza e execução do sistema hidráulico a serem desenvolvidos estão também interligados com as condições na estrutura do pavimento fabricado, que deve considerar fatores como: intensidade da chuva no local; características do solo quanto a permeabilidade e capacidade de carga e nível do lençol freático, pois em uma superfície permeável é importante saber em que taxa a água passa e não em que quantidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Construção de Protótipo de Pavimento de Concreto com PEAD para Avaliação do Potencial de Reuso de Água Captada

Foi construído um protótipo (Figura 16) para demonstração do funcionamento do sistema de drenagem em pavimento de concreto com PEAD. Os pisos foram construídos de acordo com a NBR 16416/2015.



Figura 16- Estrutura da bancada para realização do simulacro de captação de água pluvial.

Inicialmente, foi montada uma bancada de um metro (1m) de extensão com pisos sextavados com dimensões de 25x25x08 cm e, em seguida, confeccionado uma maquete de edificação que detinha parte da área descoberta para captação da água da chuva. Nessa estrutura de madeira foi apresentado toda a composição do sistema de drenagem com o uso de tubos de esgoto com joelhos, luvas e T soldável com diâmetro nominal de 50 mm. Foi utilizada também tubulação de 20 mm e 02 (dois) tanques de água com capacidade de aproximadamente 100 litros cada unidade. A Figura 17 ilustra a montagem do sistema de drenagem com a utilização do piso permeável, e a possibilidade de aproveitamento da água drenada.



Figura 17- Imagem da bancada com 18 unidades do piso permeável.

A bancada de um metro quadrado ($1m^2$) foi estruturada com o auxílio de uma tela de aço composta por cantoneiras que foram soldadas e estruturadas

com a finalidade de representar o nível do solo flutuante onde os revestimentos foram simuladamente apresentados.

Com o protótipo desenvolvido foi possível aplicar “*in loco*” um sistema construtivo de drenagem flutuante em uma área de jardim onde foi possível visualizar no local todas as etapas de execução desse sistema, que abrangeram a aplicação dos revestimentos até o funcionamento do dimensionamento hidráulico em sua plenitude, a exemplo da utilização da água drenada em sistema de irrigação de uma área de microdrenagem de um jardim residencial.

Na composição da bancada também foram realizados procedimentos de cortes com disco de corte diamantado, turbo com especificações de 7”x1” 180 mm x 25,40mm e equipamento esmerilhadeira angular (4 ½ Pol. 850 W – MAKITA-M9510B), conforme se apresenta nas imagens abaixo (Figura 18):



Figura 18- Imagens de corte dos pisos para composição da bancada.

Foram utilizados também (seis) pedaços de cantoneiras metálicas com 25cm de extensão; seis chapas de aço 1.020 com dimensões de 15cm x 25m, parafusos sextavados 3/16” x 1 com porcas e arruelas. Foi necessário utilizar também silicone nas bordas de encaixe localizada entre a chapa metálica e o piso introduzido no aparato para evitar possíveis vazamentos laterais. A sucção da água drenada para os reservatórios superiores foi feita com auxílio de bomba de água submersa vibratória com saída ¾ polegadas e 220V (volts). Ilustrações das cantoneiras usadas para confecção do aparato para medir cada peça permeável individualmente e da bomba de água responsável pela sucção de água são apresentadas na Figura 19.



Figura 19 – Detalhes das cantoneiras (a) do aparato para medir cada peça permeável individualmente e da bomba de água responsável pela sucção de água (b).

A figura 19 representa alguns dos instrumentos que compuseram respectivamente o aparato para testar permeabilidade e o futuro sistema de drenagem aplicado *in loco* com pisos permeáveis.

3.2 Resistência Mecânica à Compressão

Os testes laboratoriais de permeabilidade e resistência mecânica à compressão com a inserção das “telas tapumes” na sua composição estrutural foram realizados nas dependências da Indústria Guanabara Pré-moldados, que é especializada em fabricação de artefatos de concreto, e está localizada na BR 001, rodovia Ilhéus Olivença Km 12. A Figura 20 ilustra o piso permeável submetido ao teste de resistência mecânica.



Figura 20- Ilustração do piso permeável sextavado sendo submetido ao teste de resistência à compressão.

Quanto aos testes de resistência mecânica a compressão uniaxial dos corpos de prova dos pavimentos produzidos, foi utilizada prensa manual com capacidade de 100 toneladas/força com leitor digital e devidamente identificada com certificado de calibração a partir dos procedimentos da norma NBR MN ISO 7500-1:2016, e embasada nas especificações normativas da ABNT NBR 9781/2013, que trata de requisitos e procedimentos de análise de resistência à compressão.

Nestes corpos de prova foram realizados, ainda, testes granulométricos dos agregados graúdos e miúdos com as peneiras normatizadas, com aberturas (# 16, # 50, # 80, #150, #200), de acordo com os critérios normativos da ABNT NBR 7217/1987, que aborda acerca da determinação da composição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos utilizados da fabricação dos pisos.

3.3 Processo de Cura dos Pisos Permeáveis

Quanto ao método de cura dos pisos permeáveis o procedimento aplicado nesse processo foi desenvolvido com as denominadas câmaras ou compartimentos de cura que, de acordo com Fernandes (2012, p.105), “são ambientes onde os produtos são mantidos por um período inicial de 16 a 30 horas, em condições adequadas para a hidratação do cimento.” A Figura 21 evidencia o procedimento realizado na câmara escura.



Figura 21 – Processo de cura com lona plástica de coloração escura.

Esse tipo de cura é bastante simples e frequentemente aplicado por se tratar de um método bastante econômico que ocorre através do processo físico de evaporação com lonas de tonalidade escura para melhor absorção de calor. Ainda preceitua a ABNT NBR 16416 que:

Os lotes de peças ou placas de concreto, quando entregues na obra com idade inferior a 28 dias, devem apresentar no mínimo 80 % da resistência especificada no momento de sua instalação, sendo que, aos 28 dias ou mais de idade de cura, a resistência característica do concreto deve ser igual ou superior ao especificado em projeto...

Torna-se importante aplicar o procedimento de cura, pois a instalação do piso permeável deve obedecer a resistência mínima conforme apresentada na tabela1.

3.4 Testes de Permeabilidade e Resistência à Compressão

No primeiro momento foi analisada a resistência mecânica à compressão dos revestimentos de composição estrutural desenvolvido com “*tela cerquite*.” Em segundo momento, testou-se a permeabilidade desse revestimento com o propósito de verificar a capacidade de absorção de água em seu interior, ou seja, a capacidade de infiltração do piso desenvolvido.

Após os testes de resistência e permeabilidade foi desenvolvido um protótipo usado na captação de água pluvial em irrigação de jardim.

3.4.1 Avaliação de Permeabilidade do Pavimento

Quanto a avaliação de permeabilidade do pavimento produzido, foi usada a Norma ASTM C1701 (*American Society for Testing and Materials*). De acordo com a ilustração da Figura 22, foi desenvolvido um aparato no formato sextavado com o propósito de comparar a eficiência de permeabilidade das peças de concreto permeáveis produzidas individualmente.



Figura 22- Aparato no formato sextavado desenvolvido pelo autor.

As imagens da Figura 22 e 23 demonstram os procedimentos realizados no aparato sextavado com dimensões 25x25x08 cm, composto por uma alça com barra de aço. Após a confecção do equipamento obedecendo a Norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) C1701, uma unidade do material produzido foi encaixada para testes com o propósito de verificar a velocidade de infiltração no interior desse piso permeável.

No decorrer da pesquisa foram efetuadas coletas do teste de permeabilidade em dois diferentes instrumentos: aparato no formato sextavado fabricado pelo autor (Figura 23). Por outro lado, na Figura 24 é apresentada a bancada adaptada para aplicação da norma internacional supracitada. Apesar de diferentes, ambos instrumentos tiveram os testes realizados com base nos princípios extraídos da Norma supracitada.



Figura 23- Imagens do aparato desenvolvido no formato sextavado para realização dos testes de permeabilidade em uma única peça.

A Figura 24 ilustra a aplicação dos testes das coletas de água pluvial de acordo com o método Normativo ASTM C1701, tanto na bancada de um metro

quadrado ($1m^2$) de piso com tubo de 300mm, quanto em apenas uma (01) unidade de peça no formato sextavado.



Figura 24 – Ilustrações da preparação dos testes de permeabilidade com os aparatos em bancada de $1m^2$, de acordo com o método ASTM C1701.

O ensaio de permeabilidade posterior teve como fundamento os procedimentos basilares da ASTM C 1701 – *Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete*, também denominado de método de ensaio *in situ*.

3.4.2- Cálculo Coeficiente de Infiltração

Os valores do coeficiente de infiltração foram calculados através da Lei de Darcy, de acordo com a fórmula matemática que é utilizada pela Normativa 16416/2015:

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

Onde:

I= Coeficiente de Infiltração ou permeabilidade (mm/h)

M = massa de água infiltrada (kg)

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

t = tempo de infiltração (s)

K = Constante de valor 4.583.666.000 de acordo com o Sistema Internacional de medidas (serve para converter as unidades).

Os cálculos referentes a fórmula matemática detalhada foram realizados em planilha do programa Excel (Figura 25).

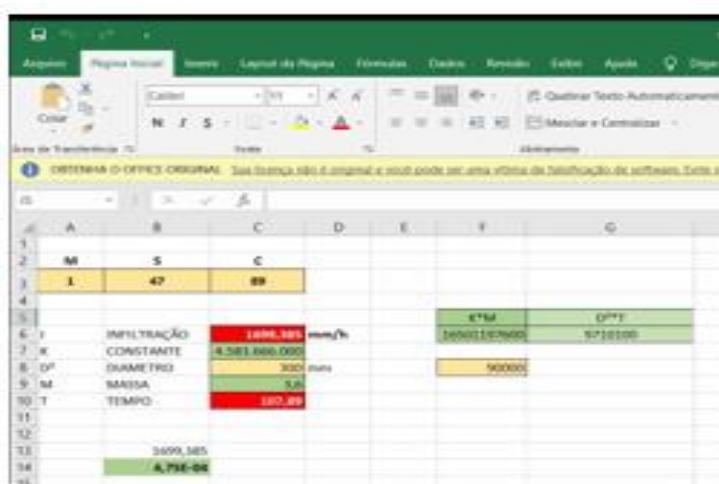


Figura 25 – Ilustração da planilha Excel utilizada para realização dos cálculos.

3.5 - Protótipo de Sistema de Drenagem “in loco”

A construção de um protótipo representativo do sistema de drenagem foi estruturada em duas etapas: instalações hidrossanitários e composição estrutural da bancada. Portanto, os materiais que compuseram e serviram de base na instalação do sistema de drenagem “in loco” foram classificados e descritos de acordo com as dimensões da bancada. Logo abaixo, o Quadro 1 descreve os materiais hidráulicos utilizados como componente do sistema de drenagem desenvolvido.

Quadro 1- Materiais hidráulicos utilizados no projeto.

QUANTIDADE	UNIDADE	MATERIAL
01	mm (milímetro)	Tubo de 50 mm
05	mm	Joelhos de 50mm
03	mm	T soldável de 50 mm
01	Um (unidade)	Cola adesiva
02	L (litro)	Tanques de 100 L
01	mm	Registro de 20 mm água
10	M (metro)	Lona plástica preta
01	mm	Frange de 20mm
01	un	Bomba para sucção de água
01	un	Mangueira plástica de sucção
01	mm	Cano 20mm
01	mm	Curva de 20mm
04	mm	T soldável de 20mm água
01	un	Veda rosca

Na etapa de construção da bancada de suporte dos pisos permeáveis foram usados os seguintes materiais elencados no Quadro 2.

Quadro 2 - Materiais de instalação dos componentes da bancada.

QUANTIDADE	UNIDADE	MATERIAL
01	m (metro)	Palete de 1 metro de dimensão
½ Kg	Kg (quilo)	Prego 2 / ½ / 10
2 m	m (metro)	Tela micro para retenção dos agregados
01	m	Aço com dimensões 1,30 x 1m
2metros	m	Tela de aço para suporte dos pisos
03 latas	54 L (litros)	Areia de calcetamento
02 latas	36 L	Pó de pedra
04 latas	72 L	Pedra britada
03 metros	m	Madeira para simulação das guias

As (Figuras 26 a 28) demonstra algumas das etapas de construção da bancada onde foram realizados os testes de permeabilidade com os procedimentos evidenciados na figura 26 onde foram instalados os pisos permeáveis.



Figura 26 – Ilustração das camadas de brita e areia utilizadas na montagem do sistema de drenagem.

As madeiras laterais (Figura 26) serviram de guia responsável pelo intertravamento dos revestimentos instalados no local. A brita de tamanho 1 representa um terreno bastante desgastado que precisou de compactação adequada para que futuramente não venha ocorrer problemas com o aparecimento de deformações na estrutura ao longo do terreno.



Figura 27: Execução de piso na bancada.

Com as ilustrações das Figuras 26 a 28 é possível visualizar as camadas de assentamento onde os pisos drenantes foram instalados. Com a base de assentamento compactada e devidamente ajustada foi instalado os pisos dentro da área de 1m², o que corresponde a 18 unidades de pisos permeáveis de medidas 25x25x08 cm.



Figura 28- Rejuntamento dos pisos com areia.

Conforme ilustrado na Figura 28, após a insatalação dos pisos foi executado o procedimento de rejunte dos mesmos com areia e pó de pedra que ficaram depositados entre eles para que o fluxo de água que infiltre no interior dos pisos tenha maior permeabilidade possível. Com o processo de instalação devidamente ajustado e pronto foi possivel simular um modelo flutuante onde é possivel visualizar todo o sitema de maneira suspensa sem que seja projetado no subsolo.

3.5.1- Composição do Sistema de Drenagem

A composição estrutural para efetivação do sistema de drenagem teve seu ápice com a instalação “in loco” dos experimentos onde, de acordo com a proposta de reuso de água pluvial para fins não potáveis, constatou-se e eficiência do protótipo e seu real funcionamento. A Figura 29 ilustra a montagem do sistema de drenagem utilizado no projeto.



Figura 29- Base do Sistema Hidráulico e controle do fluxo de água drenada, com detalhe do reservatório localizado abaixo dos pisos instalados (a) e tubulação que conduz a água captada (b).

O fluxo de água drenada através dos pisos drenantes cai nesse reservatório que passa a distribuir a água subterrânea captada com auxílio de tanques instalados de acordo com a Figura 30.



Figura 30 - Água captada pelo sistema hidráulico através de tanque.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão serão apresentados em subtópicos, destacando-se a análise da resistência mecânica à compressão do piso de concreto com presença de PEAD, os testes de coeficiente de infiltração e avaliação da eficiência de protótipo de sistema de drenagem com utilização do piso de concreto permeável e aproveitamento da água captação para irrigação.

A Tabela 2 evidencia o grau de permeabilidade de acordo com o coeficiente de permeabilidade em metros por segundo (m/s), de acordo com a granulometria dos solos. A norma ASTM C1701 não apresenta parâmetros comparativos dos valores e resultados obtidos, com isso, considera-se a tabela de coeficientes de permeabilidade dos solos como parâmetro avaliativo.

Tabela 2 - Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos e agregados. Fonte: Terzagui; Peck, 1967, apud Marchioni e Silva, 2011.

Tipo de Solo	Coeficiente de permeabilidade I (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	$> 10^{-3}$	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	$10^{-3} \text{ a } 10^{-5}$	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	$10^{-5} \text{ a } 10^{-7}$	Baixa
Silte, silte argiloso	$10^{-7} \text{ a } 10^{-9}$	Muito Baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente Impermeável

4.1 Resistência Mecânica à Compressão do Piso de Concreto com Presença de PEAD

Os dados do teste de resistência à compressão são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado do Teste de Resistência do Piso de concreto com PEAD.

GUANABARA PRÉ-MOLDADOS		ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO NBR 9781										LOTE C	
CLIENTE: OBRA:		MESTRADO UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ						DATA FABRICAÇÃO: 01/08/2023		ROMPIMENTO: 31/08/2023			
Nº DO EXEMPLAR	ALTURA (mm)	LARGURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)	IDADE (DIAS)	CARGA (Kgf)	CARGA (N)	ÁREA DE CARREGAMENTO (mm²)	RESISTÊNCIA (Mpa)	FACTOR DE CORREÇÃO	RESISTÊNCIA CORRIGIDA (Mpa)	DESVIO PADRÃO (Mpa)	fpk (Mpa)	OBSERVAÇÃO
1	22	11	10	28	22683	222293	5674,5	39,2	1,05	41,1	3,07	39,2	
2	80	250	250	28	23989	235092	5674,5	41,4	1,05	43,5			
3	80	250	250	28	25160	246568	5674,5	43,5	1,05	45,6			
4	80	250	250	28	23167	227037	5674,5	40,0	1,05	42,0			
5	80	250	250	28	23567	230957	5674,5	40,7	1,05	42,7			
6	80	250	250	28	27543	269921	5674,5	47,6	1,05	49,9			

Foi verificado que o piso de concreto com PEAD apresentou alta resistência à compressão, com valor médio de 39,2 Mpa (Mega Pascal) e desvio padrão de 3,07 Mpa. Ressalta-se que, de acordo com a Tabela 1, que apresenta valores de resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável, pode-se afirmar que a resistência deste piso é superior ao valor estabelecido na ABNT NBR 9781/2013, tanto para tráfego de pedestres quanto para tráfego leve.

Em testes de resistência mecânica a compressão realizados posteriormente foi possível confirmar que que as membranas de PEAD confere resistência ao piso de concreto devido sua composição estrutural com travamentos. Através das ilustrações apresentadas na Figura 31 é possível observar a durabilidade e rigidez do piso quando submetidos a forças de rompimento. Ainda na Figura 31 observa-se o piso permeável de 16 faces e formato sextavado sendo submetido ao teste de resistência mecânica a compressão uniaxial, onde pode ser observada parte da tela tapume que tem proporcionado resistência ao piso desenvolvido.



Figura 31 – Imagens do piso desenvolvido após testes de rigidez e resistência.

A Figura 32 representa a presença das telas tapumes na cor laranja no interior dos pisos. Os resultados satisfatórios quanto a resistência dos materiais

justifica a durabilidade e desempenho dos materiais usados na composição do revestimento permeável. Cabe destacar que o uso das telas tapumes poderão ser executadas em qualquer modelo ou formato de piso permeável de concreto como já verificado no decorrer da pesquisa.



Figura 32 – Ilustração do intertravamento dos pisos permeáveis com tela tapume.

Os resultados foram satisfatórios ao atender a ABNT NBR 16416/2015 que determina que em áreas de tráfego leve de veículos é preconizado uma resistência no valor máximo de 20 Mpa (Mega Pascal).

4.2 Testes de Coeficiente de Infiltração

A Figura 33 demonstra a realização de análise comparativa dos resultados obtidos com os ensaios do coeficiente de infiltração desenvolvido tanto em aparato com diâmetro nominal 250mm, quanto na bancada de 1m² (um metro quadrado) com diâmetro nominal de 300 mm no tubo de cilíndrico de cor azul.

A Figura 33 ilustra a comparação entre os testes de permeabilidade realizados no aparato sextavado individualizado, assim como, em bancada suspensa que simula o assentamento do revestimento permeável em 1m² (um metro quadrado) de piso do modelo sextavado 25cm x 25cm x 08 cm.



Figura 33 - Testes de permeabilidade no aparato individualizado (a) e em tubo de cor azul na bancada adapta de um metro quadrado de pisos permeável (b).

Os procedimentos utilizados no teste e a determinação do coeficiente de permeabilidade foram realizados de acordo com o método de ensaio baseado na ASTM C 1701 – *Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete*, também denominado de ensaio *in situ*.

Todas as análises de permeabilidade do piso foram formalizadas e aplicadas como preceitua a norma ABNT NBR 16416/2015, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Na Tabela 4 estão representados os valores do teste de infiltração ASTM C1701, onde foi constatado que o piso apresentou coeficiente de infiltração igual a $2,67 \times 10^{-4}$ m/s após 191,79 segundos de teste, valor considerado como grau médio de permeabilidade.

Tabela 4 - Resultados coletados pelo teste de infiltração ASTM C1701.

Data	Horário	Local	Volume de água (L)	Tempo (s)	I^* (mm/h)	I (m/s)
20/09/2020	11h59min	Bancada protótipo	3,6	58,10	3.155,708	$8,83 \times 10^{-4}$
21/09/2023	12h07min			93,87	1.953,197	$5,47 \times 10^{-4}$
24/09/2023	09h15min			191,79	955,976	$2,67 \times 10^{-4}$

*I = Infiltariação (mm/h e m/s)

Através de análise comparativa entre as Tabelas 2 e 4 foi possível evidenciar os resultados dos testes de infiltração com valores na ordem de grandeza 10^{-4} , valor que traduz um grau de permeabilidade médio.

Quanto aos resultados coletados pelo teste de infiltração do aparato desenvolvido pelo autor com base na ASTM C1701 (Tabela 5), os valores apresentaram-se relativamente maiores quando comparados aos valores da Tabela 4, o que nos leva a concluir que o desempenho quanto ao fluxo de água percolada é mais rápido no interior das peças permeáveis de concreto.

Tabela 5 - Resultados coletados pelo teste de infiltração do aparato desenvolvido pelo autor com base na ASTM C1701.

Data	Horário	Local	Volume de água	Tempo (s)	I^* (mm/h)	I (m/s)
20/09/2020	11h41min	Equipamento aparato	3,6	64,88	4.069,346	$1,14 \times 10^{-3}$
21/09/2023	11h47min			107,23	2.462,176	$6,89 \times 10^{-4}$
24/09/2023	09h52min			113,61	2.323,908	$6,50 \times 10^{-4}$

*I = Infiltração (mm/h e m/s)

Em termos comparativos, um dos ensaios de permeabilidade efetuados no equipamento desenvolvido pelo autor apresentou resultado do coeficiente de permeabilidade com grau alto, o que representa resultado bastante satisfatório e em atendimento a ABNT NBR 16416/2015, pois já se observa que o coeficiente de infiltração apresentou resultado $1,14 \times 10^{-3}$ m/s após 64,88 segundos de teste, o que já representa alto grau de permeabilidade.

Os resultados coletados permitiram concluir que os ensaios de permeabilidade realizados em ambos os sistemas apresentaram superiores a ordem de grandeza 10^{-5} . Dessa maneira, tanto o pavimento permeável testado nas de condições de 1m^2 (um metro quadrado) com tubo de 300 mm, quanto a peça permeável individualizada no aparato com diâmetro nominal de 250 mm,

indicaram capacidade de infiltração satisfatória, ou seja, com grau de permeabilidade média, conforme indicado na Tabela 2.

4.3 Utilização da Água Infiltrada pelo Piso Permeável

A água captada pelo sistema de drenagem do piso permeável foi utilizada na irrigação por aspersão de um jardim, conforme ilustrado na Figura 34. Vale destacar que a água captada pode ser reaproveitada parcial ou totalmente, ou ainda usada no processo de infiltração total para recuperar e restabelecer lençóis freáticos em degradação, por exemplo.



Figura 34 – Ilustração do sistema de irrigação por aspersão funcionando com a utilização de água captada pelo sistema de drenagem do piso permeável.

Na Figura 35 é possível visualizar um dreno que é capaz de controlar o fluxo de água do tipo de sistema de drenagem escolhido.



Figura 35- Uso de dreno para controlar a adaptar o manejo da água pluvial.

O aspecto sustentável em pavimento permeável de concreto justifica-se pelo fato de compreender que esse é um grande aliado do meio ambiente. Existem algumas vantagens ambientais quanto ao uso deste material. Segundo BALBO (2022), durante entrevista no CONCRETE SHOW-2022, “diversas vantagens ambientais podem ser obtidas além do controle do fluxo superficial de águas pluviais: maior segurança aos usuários, melhoria no albedo urbano em cânions de edifícios, filtragem de águas escoadas para reuso não antrópico”. O entrevistado acrescentou ainda que “reservar águas pluviais para jardinagem de parques públicos, minimizar as ilhas de calor urbana, entre outras são algumas das vantagens importantíssimas para preservação do meio ambiente”.

Estudos recentes coletados na Universidade Federal de Santa Catarina comparou através de avaliação ambiental do ciclo de vida, o aproveitamento de água pluvial infiltrada em sistema desenvolvido com pavimento permeável e um sistema de drenagem convencional. De acordo com (ANTUNES, 2020):

Na avaliação de impactos pelo método ReCiPe, gerenciado pelo programa SimaPro, foi verificado que os danos mais significativos estavam relacionados às fases de implantação e final de vida. O cenário com pavimento permeável e aproveitamento de água pluvial obteve menor potencial de impacto ambiental em quatorze das quinze categorias midpoint avaliadas. O método ainda indicou que as categorias que tiveram maior impacto ambiental foram formação de partículas finas, aquecimento global (danos à saúde humana) e depleção de recursos fósseis. Por meio da pontuação única (endpoint), ficou evidente que o ciclo de vida do cenário convencional possui impacto potencial global maior que o cenário com pavimento permeável.

Fica o registro da importância de se implantar soluções ou alternativas que venha a contribuir com práticas sustentáveis. Como parte da agenda 2030, a Organização das Nações Unidas (ONU) por meio do objetivo de desenvolvimento sustentável 11 (ODS11), justifica a necessidade de se criar cidades e comunidades mais sustentáveis. Segundo o ODS11 (2023): “Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planejamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países.” Com isso, fica evidente que os objetivos do desenvolvimento sustentável se relacionam intrinsecamente com projetos que apresentam sustentabilidade como fundamento basilar, no planejamento de cidades que se tornem cada vez mais resiliente, seguras e inteligentes.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da presente pesquisa foi possível comprovar que a aplicação de pavimento de concreto com polietileno de alta densidade (PEAD) é uma inovação tecnológica promissora para gestão do escoamento superficial de águas pluviais, de modo a contribuir para mitigar alagamentos bem como possibilitar o aproveitamento da água pluvial captada e drenada.

Quanto a qualidade do piso de concreto com PEAD, foi constatado que o material apresentou alta resistência mecânica (39,2 Mpa) e grau médio de permeabilidade na casa da ordem de grandeza 10^{-4} , atendendo plenamente a Norma Técnica ABNT NBR 16416/2015. O pavimento permitiu a passagem rápida da água, garantindo a infiltração de 100% da água superficial em curto intervalo de tempo, o que contribui para reduzir o coeficiente de escoamento superficial da água.

Dentre as vantagens observadas com a utilização do piso de concreto com PEAD destaca-se: a possibilidade de reaproveitamento total ou parcial das águas pluviais e a redução dos riscos de alagamentos e enchentes em áreas diversas.

A contribuição para redução dos problemas de alagamentos provenientes do escoamento superficial das águas pluviais poderá ser repensada a partir deste estudo, que tem a proposta de contribuir de maneira sustentável com a produção de um piso permeável que possui na sua composição estrutural um material da construção civil, como é o caso do polietileno de alta densidade (PEAD).

As análises e procedimentos quanto ao reuso da água pluvial através de pisos drenantes de concreto de alta desndidade (PEAD) demonstraram a viabilidade técnica de utilização piso desenvolvido para entender objetivos diversos quanto ao manejo dos recursos hidricos pluviais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. A Importância do Concreto no Manejo de Recursos Hídricos.

Disponível em: acesso em: 14/02/2022.

ABNT NBR 16416: Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos. Primeira edição: 06.08.2015. válida a partir de: 06.09.2015.

ANTUNES, Lucas Niehuns. Avaliação ambiental do aproveitamento de água pluvial infiltrada em um sistema de pavimento permeável em comparação com um sistema de drenagem convencional por meio da avaliação do ciclo de vida. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020, 172p.

BALBO, J. T. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Acesso em 20/09/2022. Redação concrete show, 02 de setembro de 2022.

BONILHA, Y.C; RODRIGUES, G. S; MARTINS, I. A M.: Análise das Propriedades de Blocos de Concreto para Pavimento Intertravado Produzido com Cinza do Bagaço da Cana-de-açucar. Universidade do Oeste Paulista. Colloquium Exactarum (online). Vol. 10 (4): 01.02.2019,p.28-35.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei 14026/2020. Brasília, 2020.

FERNANDES, I. Blocos e pavers: Produção e Controle de Qualidade. 3^a ed. Jaraguá do Sul -SC: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2012, v(1), p. 105.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2023. Disponível em:
<https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>. Acesso em: 05 de nov.2023.

FINKLER, R. **Instrumentos de planejamentos e manejo de bacias hidrográficas**. Unidade: 2. Agência Nacional das Águas – ANA.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Pavimento intertravado permeável** – melhores práticas. ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://abcp.org.br/download/pavimentos-permeaveis/>>. Acesso em: 08/08/2023.

NEUPLAST. **Aplicação do Polietileno de Alta Densidade e sua Importância**. Disponível em: <https://www.neuplast.com.br>. Acesso em: 25/07/2022.

PARANÁ. **Manual de drenagem urbana**. Toledo: 2017.

PLÁSTICOS. G. **Polietileno de Alta Densidade**. Disponível em: <https://www.gedelplasticos.com.br>. Acesso em: 02/07/2022.