

COLÉGIO SESI BOQUEIRÃO

ECOPLASF

**Uso de resíduos descartados incorretamente para melhoria das pavimentações
asfálticas - Fase II.**

Curitiba, PR

2024



LAURA DE PAULA ROSA
MARIA CECÍLIA WUNDER DE OLIVEIRA
VITÓRIA SIMÃO VERNIZI

Amanda de Souza Maloste

ECOPLASF

**Uso de resíduos descartados incorretamente para melhoria das pavimentações
asfálticas - Fase II.**

Relatório apresentado à 8ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação da Prof. Amanda de Souza
Maloste

Curitiba, PR

2024



RESUMO

No mundo consumista em que vivemos atualmente, observa-se uma tendência crescente na sociedade de gerar resíduos não sustentáveis, como diversos tipos de polietileno e poliestireno (plásticos e/ou isopor®) e vidros, utilizados no dia a dia. Esses resíduos são produzidos em larga escala, podendo chegar a 145 mil toneladas diárias, ocasionando diversos problemas socioambientais. Eles levam mais de 150 anos para se degradar e, na maioria dos casos, são descartados inadequadamente, acumulando-se em vias públicas, causando esgotamento em aterros sanitários, proliferação de fungos e bactérias, além de, quando descartados nos oceanos, provocarem a morte de mais de 100 mil animais marinhos por ano e a extinção de ecossistemas. Além dos problemas ambientais, outro desafio contemporâneo é a falta de infraestrutura e conservação das vias urbanas. Defeitos nas ruas, como buracos, são cada vez mais frequentes, não só na região de Curitiba, mas também no mundo todo, trazendo diversos transtornos devido ao tráfego intenso. Esses defeitos prejudicam o dia a dia de motoristas e pedestres, aumentando o risco de acidentes de trânsito. Ademais, há também a problemática associada à utilização de concreto para o desenvolvimento de calçadas e os gases emitidos durante sua produção. Pensando nessas questões, a segunda fase desta pesquisa busca reutilizar materiais com alto tempo de decomposição para criar uma massa que preencherá os buracos causados pelo fluxo intenso nos asfaltos e criará pavers sustentáveis. As amostras foram criadas triturando os resíduos sólidos, juntando-os a um ligante de origem natural e um tipo de fibra. Além disso, passaram por um processo de impermeabilização com poliestireno expandido dissolvido em um solvente orgânico atóxico. Para testar a eficiência e aplicabilidade, foi realizado um ensaio de compressão e aplicação em uma pavimentação ruim. Até o presente momento, os resultados mostram-se positivos e capazes de ser aplicados na sociedade, possibilitando menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Resíduos, CO₂, Pavers, Ecológico.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
3 OBJETIVO GERAL	7
4 METODOLOGIA	8
5 RESULTADOS ESPERADOS	9
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	10
REFERÊNCIAS	11

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e dos hábitos consumistas tem causado diversos problemas socioambientais, como o descarte inadequado de polietilenos, poliestireno e vidro, materiais que levam centenas de anos para se decompor. Estima-se que 91% desses resíduos não são reciclados, acumulando-se na natureza e gerando microplásticos que absorvem compostos químicos tóxicos, como metais pesados, pesticidas e agrotóxicos, presentes nos rios e oceanos. Isso causa danos à biodiversidade e resulta na morte de milhares de animais marinhos todos os anos, além de representar riscos à saúde humana.

O descarte inadequado também afeta a agricultura, como no caso do coco verde, que gera grande quantidade de resíduos que demoram a se decompor, favorecendo a proliferação de pragas e contaminando o solo. Outro problema relevante é a deterioração das vias urbanas, com buracos e outros defeitos que se tornam mais comuns devido ao intenso tráfego em áreas urbanas, prejudicando a mobilidade e aumentando o risco de acidentes. Estima-se que, com o crescimento populacional, 66% da população mundial viverá em áreas urbanas, o que pode agravar essa situação.

Além disso, o asfalto, derivado do petróleo, é outro fator de preocupação ambiental, pois sua produção gera impactos negativos na fauna e na flora. A construção de calçadas com pavimentos também contribui para a poluição, já que o cimento, utilizado em sua composição, é responsável por grandes emissões de gás carbônico (CO₂). O processo de fabricação de cimento, que libera cerca de 1 kg de CO₂ por kg de material produzido, representa uma das principais fontes de poluição na construção civil.

Por isso, pensando nas complexidades de decomposição dos resíduos, na primeira fase deste projeto foi idealizada a reutilização dos materiais derivados do plástico, isopor® e do vidro, juntamente com a fibra de coco, o cimento natural, para a produção de uma massa para preencher os buracos nos asfaltos.

Na sequência, entrou-se a fase II, onde tem como objetivo testar outras fibras na produção das amostras e trabalhar com o desenvolvimento de película impermeabilizante com composição atóxica. Além de ampliar o projeto, para

produção de pavers, que não usam cimento, evitando de lançar mais gás carbônico para a atmosfera. Assim diminuimos vários problemas ambientais, com uma única iniciativa.

1.1 PROBLEMÁTICA

A exploração de petróleo é a segunda atividade que mais emite gases de efeito estufa no planeta. Entretanto, esse recurso vem sendo utilizado durante décadas como principal fonte de energia pela sociedade, nos cosméticos, na medicina e até na fabricação de plásticos. Além disso, é o principal combustível utilizado nos meios de transporte. Ao longo de seu processamento, diversos impactos ambientais são gerados direta ou indiretamente, sendo alguns reversíveis e outros não, desde a degradação do solo, água e ar, atingindo todos os seres vivos.

A indústria de petróleo e gás natural é responsável por produzir e emitir gases de efeito estufa, principalmente por meio da queima de combustíveis fósseis. Além disso, as indústrias de petróleo também são responsáveis pela produção de resíduos sólidos que tem um longo tempo de decomposição, como o plástico e o isopor, que segundo estimativas da FIOCRUZ (2024), os mesmos levam 400 anos e 450 anos de decomposição respectivamente.

Diante as mudanças climáticas e o aquecimento global se tornando urgente a necessidade de se discutir o impacto da indústria petrolífera no meio ambiente. Cada vez mais, as práticas de obtenção de lucros sem consciência ambiental vêm sendo questionadas pela sociedade civil e nos negócios, que colocaram a responsabilidade ambiental uma questão obrigatória para o desenvolvimento das práticas econômicas, sociais e de bem-estar da sociedade.

Um estudo do instituto de pesquisas Climate Accountability Institute, com sede nos Estados Unidos, diz que um grupo de 20 empresas é responsável por mais de um terço das emissões de gases causadores do efeito estufa em todo o mundo desde 1965. A estatal brasileira Petrobras aparece na lista, na 20ª posição.

Segundo a análise, publicada inicialmente pelo jornal britânico The Guardian nesta quarta-feira, as 20 empresas produtoras de petróleo, gás natural e carvão



foram responsáveis por 480,16 bilhões de toneladas de dióxido de carbono e metano liberados na atmosfera nesse período.

O montante representa 35% das emissões totais de combustíveis fósseis e cimento, que foram de 1,35 trilhão de toneladas. A Petrobras responde por 8,68 bilhões de toneladas de carbono equivalente, o que representa 0,64% do total.

Além do petróleo, a construção civil também é responsável por lançar para a atmosfera toneladas de CO₂, isso porque o paver produzido e usado pela construção civil é feito de cimento e um estudo do IEA, Agência Internacional de Energia, mostra que o cimento sozinho lança anualmente na atmosfera do planeta cerca de 2 gigatoneladas de CO₂, que correspondem a 8% das emissões mundiais. O cimento, a “cola” dos grânulos e da areia que compõem o concreto, é constituída principalmente por clínquer, produto obtido pela calcinação de calcário e argila em um forno a 1.400 graus Celsius. Quando queimado, o calcário libera dióxido de carbono. Produzir uma tonelada de cimento libera quase uma tonelada de CO₂ (IEA, 2024).

1.2 HIPÓTESE OU OBJETIVO DE ENGENHARIA

Propor uma forma de reutilizar os resíduos que se tornariam/tornam lixo no meio ambiente para a produção de matéria prima de um paver ecologicamente sustentável, diminuindo os problemas das pavimentações e problemas ambientais e sociais.

Identificar a resistência de materiais do plástico, isopor®, vidro e fibra de coco, para propor uma maneira de reaproveitar esses materiais, além de fazer um bem comunitário melhorando as vias públicas.

Verificar as aplicabilidades da mistura do polímero sintético com as fibras de coco, em relação à resistência e durabilidade do material.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na revisão deste projeto de pesquisa, visando aprofundar o conhecimento da produção de uma massa sustentável a partir de resíduos para o preenchimento de deformações nas pavimentações asfálticas causadas pelo fluxo intenso de veículos, foi abordado o estudo dos componentes utilizados, bem como, a explanação dos processos de uma formação de um asfalto comum.

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo a Gestão de Resíduos Sólidos (2024), impactos ambientais são propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, direta ou indiretamente que afetam:

- A saúde, segurança ou bem-estar da população;
- Atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- Condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- Qualidade dos recursos naturais.

Relacionados ao território brasileiro, pode-se abordar sobre a degradação do solo causado pela mineração, à poluição dos rios devido ao descarte incorreto do esgoto doméstico e industrial, a poluição do ar causada pelas empresas e gases poluentes, à destruição da flora e fauna, o descarte incorreto de resíduos e etc (GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2024).

A imensidão de consequências relacionadas a tal fato faz com que aumente a necessidade por um mundo que preze ainda mais sustentabilidade.

2.2 SUSTENTABILIDADE

Pode ser entendida como a capacidade de uso consciente dos recursos naturais sem comprometer o bem-estar das gerações futuras. Seu objetivo principal é encontrar o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2023).

Diante do crescimento populacional, ela é vital para a sociedade, preservando recursos naturais a longo prazo. Seu princípio se baseia em três pilares: social, ambiental e econômico. Os três fatores precisam estar interconectados para que realmente haja sustentabilidade. Eles devem sempre interagir de forma harmônica, garantindo a integridade do planeta e da sociedade durante o crescimento e desenvolvimento econômico (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2024).

Atualmente, um dos principais objetivos da sustentabilidade é reduzir as emissões de gases poluentes, afinal, isto se torna crucial para enfrentar mudanças climáticas e garantir qualidade do ar e biodiversidade (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2024).

2.2.1 Práticas sustentáveis

As práticas sustentáveis são desenvolvidas para garantir a utilização dos recursos naturais com parcimônia, sem esgotá-los ou prejudicar os ecossistemas (TEIXEIRA, 2023).

Portanto, segundo Teixeira (2023), a sustentabilidade promove o consumo consciente, incentivando a conservação da biodiversidade, a redução do desperdício e a minimização da poluição. São exemplos de práticas sustentáveis:

- Economia de água.
- Consumo de produtos biodegradáveis.
- Reciclagem de materiais.
- Separação do lixo para coleta seletiva.
- Utilizar transportes coletivos ou adotar a prática da carona solidária.
- Redução do consumo de descartáveis.
- Uso consciente da água e da energia elétrica.
- Descarte correto do lixo eletrônico
- E outros; (TEIXEIRA, 2023).

2.2.2 Desenvolvimento de produtos sustentáveis

Segundo Jabbour (2007), desenvolver produtos consiste em realizar uma gama de atividades por meio da qual se busca, a partir das necessidades do mercado

e das possibilidades e restrições tecnológicas, chegar às especificações de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de fabricá-lo.

Quando falamos de produtos sustentáveis, seu desenvolvimento pode ser baseado na prática em que questões ambientais são integradas no processo de desenvolvimento de produtos (Jabbour, 2007).

O produto sustentável é aquele que apresenta o melhor desempenho ambiental ao longo de seu ciclo de vida, com função, qualidade e nível de satisfação igual, ou melhor, se comparado com um produto-padrão (SEBRAE, 2022).

Podem ser considerados produtos sustentáveis aqueles que apresentam pelo menos uma destas características:

- Usam recursos sustentáveis como matéria-prima, respeitando as leis ambientais;
- Geram menos perdas, como os produtos que apresentam refil;
- Utilizam, para sua confecção, menos recursos esgotáveis, como água e energia;
- São mais duráveis ou recicláveis;
- Têm um processo de produção que consome menos energia;
- São fonte de renda para comunidades com baixo poder aquisitivo (SANÁBIO, 2022).

Assim sendo, observa-se que a sustentabilidade é de extrema importância para a preservação ambiental, estando totalmente atrelada ao objetivo principal desta pesquisa.

2.3 RESÍDUOS

Segundo a Langake (2024), a definição de resíduos é tudo aquilo que não é aproveitado pelas atividades humanas, proveniente de residências, comércios e indústrias. Os resíduos sólidos e líquidos podem ser resíduos orgânicos, provenientes de matéria viva, ou inorgânicos, de origem não viva e derivados, dependendo da sua composição química, enquanto os resíduos sólidos são materiais não aproveitados em estado sólido, como garrafas, pneus etc. (LANGAKE, 2024).

2.3.1 Plástico

Por definição, o plástico é um polímero formado por átomos de carbono e podem ser obtidos através de recursos naturais renováveis, como pela celulose e óleo de mamona, assim como por recursos naturais não-renováveis, como amônia e carvão mineral (CANTÃO, 2014). A pesquisa demonstra que existem alguns tipos de plásticos produzidos no mundo. Os plásticos são classificados em dois grupos principais: os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos incluem: PET (politereftalato de etila), PEAD (polietileno de alta densidade), PVC (policloreto de vinila), PEBD (polietileno de baixa densidade), PP (polipropileno) e PS (poliestireno). Já o segundo grupo é composto por materiais que não derretem em altas temperaturas, apenas se degradam, dificultando o processo de reciclagem (CANTÃO, 2014).

Quanto aos plásticos usuais, podem ser entendidos como uma resina termoplástica, flexível, um pouco cristalizada, resistente às baixas e altas temperaturas e ácidos e bases. Além disso, tem baixa condutividade térmica, é dielétrico, ou seja, tem capacidade de proteção contra os choques elétricos (MAIS POLÍMEROS, 2019).

Dessa forma, pode ser caracterizado como um isolante térmico, evitando o superaquecimento ou resfriamento excessivo e devido a suas propriedades químicas, são polímeros impermeáveis, evitando a passagem de líquidos (TECNOPEÇAS, 2021).

2.3.2 Poliestireno Expandido

Comumente conhecido como Isopor®, é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água (EPS BRASIL, 2024). É composto por um polímero, que é um conjunto de moléculas agrupadas, feito a partir do composto químico estireno, e é expandido em pequenas bolhas vazias com diâmetros que variam de 0,4 a 2,5 milímetros. Sua composição é o torna moldável a partir do calor, porém é resistente quando o produto seca (MAIS POLÍMEROS, 2019).

Devido às suas características, ele se torna um isolante térmico capaz de “absorver impactos, bloquear a umidade e manter a temperatura” (TERMOTÉCNICA, 2023).

A resistência mecânica deste material pode chegar aproximadamente a 42 toneladas/m². Sendo que Construção (2018), em seu estudo mostrou que paredes de isopor podem se tornar altamente resistentes, sendo 30% mais resistentes do que tijolos comuns.

2.3.3 Vidro

O vidro é um material inorgânico, uniforme e sem forma definida, adquirido através do resfriamento de uma substância em estado líquido. Suas principais características são a transparência e a resistência (BLINDEX, 2024). A maior porcentagem de sua composição é a areia, sendo equivalente a 72% de sua composição (DIVINAL VIDROS, 2024). O vidro se diferencia de outros elementos por diversas propriedades, como ser um material não permeável, é excelente isolante (BLINDEX, 2024). Quanto às propriedades caloríficas, a transição vítrea (T_g) pode ser entendida como:

Propriedade do material onde podemos obter a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado “maleável”, sem ocorrência de uma mudança estrutural, sendo um importante efeito térmico que pode ser utilizado para a caracterização de plásticos e outros materiais amorfos ou semicristalinos (SEBASTIÃO, 2002, p. 150).

Segundos estudos, para cada composição, o vidro apresentará uma temperatura de transição vítrea diferente, sendo que os diversos estudados pela autora, variam de 501°C a 631°C (GONÇALVES, 2018, p.49 e 87) e à resistência mecânica do material, se tem aproximadamente 400 KGF/cm², e que suporta pressões de 5.800 a 10.800 Kg por cm².

2.3.4 Terra

O solo utilizado foi o de maior predominância na região do bairro Boqueirão, em Curitiba, sendo ele o organossolo, que engloba terrenos derivados de substâncias de origem primordialmente orgânica. Classificados pelo SiBCS devido à existência de camadas de composição orgânica (H ou O) de coloração escura,

muito escura ou marrom, e com substancial quantidade de restos vegetais em diferentes estágios de decomposição, podendo ser intercalados ou sobrepostos por camadas ou horizontes minerais de espessuras diversas (EMBRAPA, 2006).

2.3.5 Fibras

Conforme descrito por Rede Jardim Secreto (2024),

A utilização de fibras naturais é de extrema importância por diversos motivos. Em primeiro lugar, as fibras naturais são consideradas materiais sustentáveis, uma vez que são renováveis e biodegradáveis. Isso significa que seu uso contribui para a redução do impacto ambiental e a preservação dos recursos naturais. Do mesmo modo, as fibras naturais possuem um ciclo de vida mais completo, desde sua origem até o descarte, sendo uma opção mais favorável ao meio ambiente (REDE JARDIM SECRETO, 2024)

2.3.5.1 Fibra de coco

Obtida a partir do processo de secagem e moagem das cascas do coco verde, é um material 100% natural e biodegradável (CALVANTE; THOMAZINI, 2016). No Brasil, estima-se que exista uma área plantada de 100 mil hectares do coqueiro-anão destinados à produção do fruto verde para o consumo da água-de-coco (EMBRAPA, 2023), que após consumida, a fibra é extraída e utilizada para elaboração de outros materiais, devido às suas propriedades.

De acordo com Dikoko (2023, p.1)

Ela é conhecida por sua alta resistência à umidade e às intempéries, o que a torna ideal para a construção de telhados, pisos, paredes e muito mais. Além disso, ela é incrivelmente leve, o que facilita seu transporte e instalação (DIKOKO, 2023).

Segundo Montagna et al (2020) essas fibras naturais provenientes do coco verde apresentam, devido à sua composição química, maior rigidez e resistência mecânica comparada a outras fibras vegetais e estudos garantem que assim como o coco maduro, a composição química e física do coco verde auxilia para diversos fins. Numericamente falando, a resistência à tração desse material orgânico é de 220 Mpa (PEREIRA et al, 2016).

2.3.5.2 Fibra de Bambu

O bambu (Figura 1) é um material muito fácil de ser encontrado, tendo um rápido crescimento (cerca de 30cm após 24h). Devido a sua rápida capacidade de se desenvolver, não necessita ser replantado, sendo bastante resistente a “pragas” por ter propriedades antibacterianas e antifúngicas (AZEVEDO, 2024).

Sua versatilidade possibilita diferentes formas de conjunto com outros materiais, como terra, cimento ou vidro.

Figura 1 - Bambu



Fonte: Azevedo, 2024.

Conhecido como “aço verde” é comparado ao aço por conta da sua alta resistência às forças de compressão e tração, devido a presença de fibras, sendo possível em alguns casos, suportar uma carga maior que o aço (MARÇAL,2033). Entretanto, sua densidade é aproximadamente 90% menor que a dele, garantindo uma maior leveza para o material.

2.4 SOLVENTES ORGÂNICOS

2.4.1 Tóxicos

Segundo Arcuri et al (2012), para um solvente ser classificado como orgânico, precisa-se ter sua base de hidrocarbonetos aromáticos, que possuam um núcleo de benzeno. Os solventes orgânicos normalmente empregados na dissolução do poliestireno expandido são o thinner, a acetona, gasolina e ureia-formaldeído, porém os mesmos têm um alto custo, variando de 40 a 7 reais e causam danos ao meio ambiente, por serem provenientes do petróleo e trazerem propriedades químicas que causam reações adversas a fauna, flora e vida humana (ARCURI, 2024).

Quanto ao mais conhecido destes, de acordo com a Solven (2017), o thinner é um solvente altamente eficaz, produzido através da combinação de diferentes

compostos químicos e solventes. Por essa razão, há uma variedade de thinners adequados para cada uso específico. Uma de suas utilidades é dissolver tintas à base de resinas sintéticas mais resistentes, como as acrílicas, sem prejudicar suas características. Também é recomendada para aplicação em tintas automotivas e vernizes.

2.4.2 Atóxicos

Em virtude de todos os impactos ambientais e na saúde humana que os solventes tradicionais trazem, devido às suas propriedades tóxicas, foram desenvolvidos alguns solventes alternativos a fim de atingir as necessidades da indústria sem causar tantos malefícios (ANDRADE et al, 2024). Sendo em sua grande maioria, produtos derivados de plantas, frutas, verduras e insumos naturais.

2.4.2.1 Limoneno

Ao se falar de solventes atóxicos, o que mais desempenha um papel positivo no trabalho de dissolução de derivados de poliestireno expandido, é o D-Limoneno (Figura 2).

Figura 2 - Limoneno



Fonte: Dimclay, 2024.

Tal produto é um componente natural, encontra-se nas cascas de frutas cítricas, após extraído atua como solvente orgânico, gerando um baixo custo de produção associado a ele.

Sua obtenção pode ser feita de maneira simples, a partir de dois processos químicos disponíveis na grande maioria dos laboratórios. Sendo eles: Arraste a

vapor ou hidrodestilação. Depois de extraído, o solvente derivado de produtos naturais é incolor, oleoso, atóxico e de leve odor cítrico. Por essa razão, acaba sendo um material indicado para substituição do Thinner e outros solventes químicos no alisamento de massas de modelar, sem impactar a saúde humana ou o meio ambiente (PONSONI; CAMPOS, 2023).

Quanto às propriedades químicas, temos que a molécula d-limoneno é um hidrocarboneto cíclico insaturado que pertence à família dos terpenos. Por ser um hidrocarboneto apolar, o princípio da solubilidade pode ser respeitado durante o processo, isto é, “semelhante dissolve semelhante”. Então, quando o D-Limoneno entra em contato com o EPS (Poliestireno Expandido) formando um gel semelhante a uma borracha, permitindo a impermeabilização de diversas superfícies (PONSONI; CAMPOS, 2024).

2.4.3 Solventes Orgânicos e Poliestireno Expandido

O poliestireno se dissolve ao entrar em contato com o Acetato de Etilo, comumente conhecido como Thinner, que tem poder de obstrução, feito a partir da mistura de compostos químicos e de solventes ou com a acetona (propanona) por conta da regra de “semelhante dissolve semelhante”, essa onde explica sobre a polaridade do solvente e do soluto (SOUZA, 2017). O soluto e ambos dos solventes são apolares, e tem uma composição parecida. Dessa forma, “semelhante dissolve semelhante”, o que, segundo Souza (2017), faz com que o Isopor libere todo o ar de seu interior na forma de gás carbônico, transformando-se em uma pasta.

2.5 PAVER

Para compreender sobre a produção de pavers sustentáveis, é importante levantar dados sobre a produção, tamanhos, normas e testes realizados no derivado do material usual, o concreto. Assim sendo, neste tópico, compilou-se dados sobre tais informações.

O piso intertravado de concreto, são peças moldadas que são encaixadas umas nas outras em uma superfície reta, formando uma superfície contínua e estável. Essas peças são fabricadas com diferentes tipos de formas e cores, obtendo



uma variedade de produtos, possuindo uma alta resistência a variações climáticas e ao desgaste do tempo, alguns deles sendo projetados para que permita a infiltração da água, reduzindo enchentes e poças (EMPRESAS CITY, 2024).

Sua aplicação pode ser feita em diversos lugares de preferência retos e com sua base bem compacta, como pátios, calçadas, residências, estacionamentos e até mesmo, ruas públicas (EMPRESAS CITY, 2024). Quando se analisa o processo de instalação, observa-se a necessidade de ser realizada a remoção da camada do solo e nivelamento do terreno. Em seguida uma camada de material granular e sua compactação garantindo assim uma base sólida, após uma camada fina de areia para facilitar a aplicação e o nivelamento (EMPRESAS CITY, 2024). Em sua maioria, são colocados manualmente conforme o design e por final a superfície é compacta para garantir estabilidade e areia fina é espalhada pelos blocos para o preenchimento das juntas (EMPRESAS CITY, 2024).

Para melhores resultados, necessita-se seguir um padrão de composição, utilizando medidas exatas a fim de buscar uma maior resistência. Tal processo gera um custo elevado devido aos seus materiais utilizados, tendo em vista o m².

Sendo que para sua produção em grande escala, deve ser seguido as medidas necessárias para cada fim desejado. Onde conforme descrito na literatura (JARFEL, 2024). Existem diferentes tamanhos de paver para aguentar certos tráfegos, como descrito por Paviment (2019) (Quadro 1).

Quadro 1 - Exemplificação dos pavers.

PAVER	DIMENSÕES	UTILIZAÇÃO
4	10cm x 20cm x 4cm	Recomendado para uso de tráfego leve como passeios e calçadas, quintal.
6	10cm x 20cm x 6cm	Recomendado para tráfego médio, onde há circulação de veículos pequenos ou leves, como entradas de garagem, estacionamentos e outros.
8	10cm x 20cm x 8cm	Recomendado para uso de tráfego pesado, como indústrias, posto de combustíveis e estacionamentos de automóveis pesados

Fonte: Adaptada de PAVIMENT, 2019.

Assim, observa-se a importância de parametrizar a produção para obter uma aplicação correta, além de que depois de prontos, faz-se necessário a submissão destes produtos a análises de qualidade e resistência, buscando uma maior eficiência do material produzido.

2.6 TESTES DE ENGENHARIA

2.6.1 Resistência Mecânica nos asfaltos

Para avaliar a resistência à força aplicada em uma massa asfáltica, recorre-se ao Ensaio Marshall, também chamado de Prensa de Marshall (Figura 3), (VASCONCELOS, 2004). O objetivo desse teste é determinar a estabilidade e fluidez das misturas, sendo fundamental a aplicação adequada da quantidade correta da mistura em uma área específica (VASCONCELOS, 2004).

Figura 3 - Prensa de Marshall



Fonte: Vilela, 2018.

A avaliação é realizada utilizando amostras que podem ser ajustadas à temperatura. Quando as condições são ideais, as amostras são inseridas na Prensa de Marshall, a qual aplica uma força de compressão contínua até a amostra se romper, permitindo assim a avaliação de sua resistência.

No Brasil, está em vigor uma regulamentação que define os padrões de qualidade para os blocos intertravados de concreto. A NBR 9781 de 2013, da



ABNT, estipula os requisitos e os métodos de ensaio necessários para os blocos de concreto utilizados em pavimentação intertravada.

Embora seja uma informação bastante técnica, é crucial para quem considera investir em pavimentação com blocos intertravados, pois essas peças devem apresentar uma resistência à compressão adequada ao tráfego que irão suportar. Isso assegura a qualidade, segurança e durabilidade da pavimentação.

De acordo com a norma técnica, a resistência mínima de um bloco de concreto aos 28 dias deve ser de pelo menos 35 MPa (MegaPascal). No entanto, essa é apenas a resistência mínima; em locais com tráfego extremamente intenso, essa resistência deve ser aumentada, podendo chegar a até 50 MPa. (CORONETTI, 2024).

2.6.2 Resistências nos pavers

Para testar a eficiência dos pavers são realizados alguns testes padrões como os que estão compilados no Quadro 2:

Quadro 2 - Testes padrões do paver.

Ensaio de Slump	Resistência à compressão	Resistência à tração	Absorção por imersão NBR 9778
Define o grau de utilização e consistência do concreto para trabalhabilidade em seu estado fresco.	Utilizado para determinar a resposta de um material quando submetido a forças de	Segundo a NBR 7222, determina as propriedades mecânicas de um material.	Segundo a NBR 9778, determina a absorção de água por imersão.

Fonte: Adaptada de CELERE, 2022.

As normativas contidas nos ensaios garantem o aumento da vida útil do produto, para que assim, sua utilização possa ser por um longo tempo. Entretanto,

mesmo com a extrema funcionalidade do material, é importante ressaltar a problemática e a desvantagem que os principais pesquisadores abordam sobre ele.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Estudar as propriedades da massa de resíduos desenvolvida na fase um, para preencher buracos e desenvolver pavers a partir dela para revestir calçadas e assim diminuir o acúmulo de resíduos e o uso de materiais que geram CO₂.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar as aplicabilidades da mistura do polímero sintético com as fibras de coco em relação a resistência e durabilidade do material;
- Analisar a aplicabilidade da massa para solucionar o problema estudado;
- Realizar testes com os equipamentos padrões;
- Estudar diferentes solventes;
- Analisar diferentes tipos de fibra.



4 METODOLOGIA

Na primeira fase do projeto, foram desenvolvidos quatro protótipos, todos com os produtos base que são: plástico, isopor®, vidro e fibra de coco, o que os diferencia, são os ligantes naturais, em que o primeiro protótipo foi desenvolvido com uma cola derivada do leite, o segundo com uma cola derivada do amido de milho e o terceiro com o barro. O quarto protótipo, também foi desenvolvido com o barro, porém o que o diferencia da terceira massa, é o adicional de mais fibra de coco.

Tendo em vista que se a massa pegasse umidade ou chuva, e pudesse se desfazer, realizamos uma película protetora para dar mais resistência a massa, tanto térmica quanto mecânica. Foram desenvolvidas três películas impermeabilizantes, em que o isopor® foi dissolvido no thinner® a partir do princípio da regra de solubilidade. Na película I, foi somente isopor® dissolvido no thinner®, na película II, foi adicionado areia e na película III foi adicionado vidro.

Após desenvolver as massas e as películas impermeabilizantes conforme a Figura 4, realizou-se testes para testar a eficácia da massa, respectivamente da película protetora, para entender se a massa pode ser aplicada. Diante da massa escolhida realizou-se testes de altas e baixas temperaturas, testes de impermeabilidade, testes de compressão e testes a uma força aplicada através da adaptação de uma prensa de Marshall.

Figura 4 - Protótipos da massa de resíduos.



Fonte: Própria Autoria, 2023.



Dado início a segunda fase procurou-se testar a amostra, para ver sua aplicabilidade, tendo em vista que o objetivo do projeto além de melhorar as vias públicas é diminuir o lixo do meio ambiente, para um primeiro momento realizamos uma coleta dos resíduos necessários para realização da massa e com isso realizamos o preparo da massa e da película para a aplicação da massa em um buraco em tamanho real.

4.1 COLETA DE MATERIAIS

Considerando a produção em grande escala para o preenchimento de um buraco em tamanho real e os protótipos para a realização de testes, com a ideia de que esses derivados que serão utilizados sejam os que são descartados indevidamente pela sociedade na natureza, e que causem toda a problemática já abordada na introdução da presente pesquisa. Efetuou-se uma ação social de criar um ponto de coleta desses materiais nas regiões do Colégio Sesi.

4.1.1 Coleta de materiais no Colégio Sesi da Indústria - Boqueirão

Foi-se idealizado uma iniciativa para coleta de resíduos no Colégio Sesi, para que alunos e funcionários contribuam para o meio ambiente e para o projeto. Os resíduos foram separados pelos seus respectivos nomes (plástico, isopor® e vidro) e em diferentes lixeiras para uma melhor coleta. (Figura 5)

Figura 5 - Coleta de resíduos



Fonte: Própria autoria, 2023.

Em seguida foi realizada a produção das amostras do protótipo IV, tendo em vista os resultados da fase I, em que é o mais eficaz e resistente, ou seja, foi o escolhido. Então realizamos mais amostras do mesmo protótipo para com isso ir aperfeiçoando.

4.2 PREPARO DOS MATERIAIS

Após a coleta, foi-se iniciado o preparo dos plásticos, isopores® e vidros. Em um primeiro momento, todos os materiais passaram por uma fase de limpeza e depois o plástico e o isopor® foram triturados em um liquidificador (Figura 5), em seguida, quebramos em pequenas partículas os vidros, com auxílio de uma barra e panela de ferra, juntamente com uma tampa de madeira para não espalhar os cacos de vidro, para que não houvesse possíveis riscos de lesões (Figura 6). Já em relação ao coco verde, foi aberto utilizando uma faca e cortado em pedaços menores, e foi desfiado em pequenas fibras e para finalizar foi lavado e seco (Figura 7). E por último a terra foi coletada do bosque do colégio.

Figuras 5, 6 e 7 - Preparo dos materiais



Fonte: Própria autoria, 2024.

4.2.1 Preparo dos protótipos

O preparo da massa, primeiramente misturou-se a terra com a água formando um barro, em seguida adicionou-se a fibra de coco, após o plástico, isopor® e o vidro. Em seguida, colocou-se a massa produzida no molde e pressionou-se com um papel toalha, a fim de retirar o excesso de água e consequentemente deixando a massa compacta e uniforme. Para obter resultados melhores com a proposta, surgiu-se a necessidade de impermeabilizar a amostra,

visto que durante a aplicação nas ruas, será necessário ser capaz de aguentar chuvas e poças de água.

4.3 PRODUÇÃO DO PAVER

A partir da aplicação da massa no estacionamento do colégio, observou-se a possibilidade de estender o objetivo da pesquisa, afinal, as lajotas e pavers são derivados de concreto e tem toda uma problemática associada à sua produção, uma vez que, o cimento é produzido a partir da queima de minerais, na qual produz uma grande quantidade de gases de efeito estufa, sendo aproximadamente 5% as emissões globais (GOV.BR, 2020).

Alinhado a isso, surgiu-se a ideia de construir pavers ecológicos a partir da massa do ECOPLASF, para além de solucionar o problema dos buracos das ruas, diminuir o uso de cimento que liberam gases poluentes em sua produção.

Em um primeiro momento, foi estudado todo processo de produção desse material, vendo normativas, dimensões e processos, a fim de melhor produzir o primeiro protótipo. Assim, em seguida foi feito o molde (Figura 8) com tamanho padrão de 10x20x4, por ser o tamanho que se alinha ao objetivo principal da segunda fase do projeto, isto é, recomendado para uso de tráfego leve como passeios e calçadas, quintal e outros (PAVIMENT, 2019).

Figura 8 - Molde de paver



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Para o preenchimento do molde, produziu-se a massa do protótipo IV (Quadro 3) e após o tempo de cura, foi desmoldado.



Quadro 3 – Quantidade de materiais para a produção dos pavers

MATERIAL	QUANTIDADE
Isopor®	5 g
Plástico	15 g
Vidro	20 g
Fibra de coco	15 g
Terra	350 g
Água	160 ml

Fonte: Própria Autoria, 2024

4.3.1 Impermeabilização paver

No desenvolvimento desta proteção que impedisse que a água infiltre no material, foi adotado princípios químicos fundamentados na regra da solubilidade, onde substâncias semelhantes se dissolvem entre si.

A partir disso, realizou-se um levantamento bibliográfico para estudar a mudança no solvente de produção da película impermeabilizante, isto porque o Thinner pode ser classificado como tóxico, podendo gerar consequências adversas à saúde humana e ao meio ambiente a longo prazo.

Para isso, foi buscado na literatura a existência de solventes atóxicos, que não geram tantos impactos. Conforme analisado por Ponsoni e Campos (2024), um desses produtos atóxicos, classificado como solvente natural, é o D-Limoneno, onde acaba sendo um material indicado para substituição do Thinner e outros solventes químicos no alisamento de massas de modelar, sem impactar

a saúde humana ou o meio ambiente, tendo em vista que se encontra na casca das frutas cítricas e é classificado como um hidrocarboneto terpênico.

Passado a parte teórica, adquiriu-se o solvente e utilizou-se junto ao poliestireno expandido, conforme a Figura 9 abaixo:



Figura 9 - Impermeabilização paver



Fonte: Própria Autoria, 2024.

4.4 CUSTOS

Para efetuar uma estimativa dos gastos, e mensurar o impacto econômico da aplicação do projeto, foi idealizada uma tabela. Onde considerou-se que na Quadro 4, buscou-se estimar caso a terra fosse adquirida de algum espaço urbano e/ou rural público, visto que assim, não terá custo para esse material.

Quadro 4 - Gastos para a produção do paver

GASTO PARA A PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO FINAL					
PRODUTO	PREÇO VAREJO	QUANTIDADE COMPRA	UNIDADE	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO GASTO POR PRODUTO
TERRA	R\$ -	10000	g	9200	R\$ -
ÁGUA	R\$ 83,71	5	m ³	0,00384	R\$ 0,0642
PLÁSTICO	R\$ -	0	g	384	R\$ -



ISOPOR®	R\$ -	0	g	128	R\$ -
VIDRO	R\$ -	0	g	512	R\$ -
FIBRA DE COCO	R\$ -	0	g	1000	R\$ -
LIMONEN O	R\$ 42,90	500	ml	10	R\$ 0,86
ENERGIA	R\$ 0,33	0,8	Kwh	0,166	R\$ 0,07
				TOTAL	R\$ 1,62

Cálculo do preço gasto por produto
$\text{Preço gasto por produto} = (\text{preço varejo/quantidade de compra})$ $**\text{quantidade utilizada}$

Fonte: Própria Autoria, 2023.

4.5 APLICAÇÃO EM ESCALA REAL

Para entender a aplicabilidade da massa produzida pela equipe, foi projetado a aplicação da amostra em um buraco, onde examinou-se a aplicação em escala real ao solucionar um problema recorrente do Colégio Sesi – Boqueirão: o desnivelamento das lajotas do estacionamento. Para isso, retirou-se algumas peças de lajotas de concreto que estavam recorrentemente soltas no pátio e causavam transtornos para a circulação de veículos. Assim, produziu-se a massa padrão e preencheu-se o buraco no chão com a massa do protótipo IV produzida pela equipe, aumentando a quantia da massa em cerca de 16x, juntamente com película impermeabilizante de vidro, sendo que as dimensões da área de aplicação eram de 30cmx30cmx8cm por lajota, como existia uma totalidade de quatro lajotas e meia, obteve-se um volume de cerca de 0,378m³ (volume de um hexano multiplicado pela quantia total).

Após a coleta e preparo dos resíduos, foi produzido a quantidade necessária para o preenchimento do respectivo buraco, diretamente no local (Figura 13).

Figura 10 - Produção e Aplicação da Massa



Fonte: Própria Autoria, 2024.

4.5.1 Impermeabilização buraco

A película impermeabilizante foi feita a partir do isopor®, dissolvido no Dlimoneno, juntamente com o vidro para dar mais aderência. Após a película foi aplicada (Figura 10) posteriormente ao tempo de cura da massa, para garantir a melhor eficiência da aplicação real da proposta da equipe.

Figura 10 - Produção e Aplicação da Película protetora



Fonte: Própria Autoria, 2024.

4.6 TESTES PADRÕES DO PAVER

Os testes padrões no concreto, que é o material qual o paver é comumente produzido, são realizados para garantir a qualidade, segurança e durabilidade do material, assegurando que ele suporte cargas de massas elevadas e condições climáticas diversas, assim cumprindo as normas destinadas para o material utilizado, e consequentemente, prolongando o tempo de vida útil e o desempenho adequado.

Dessa forma, foi realizado a adaptação desses ensaios nos pavers do ECOPLASF, sendo eles.

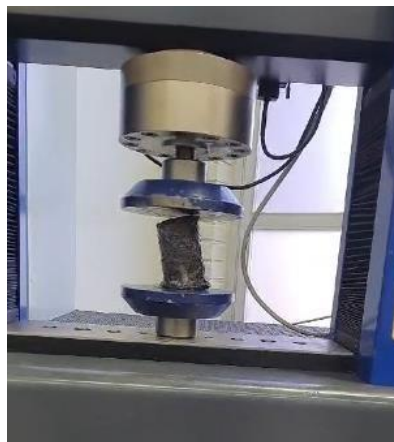
4.6.1 Ensaio de Compressão

O Ensaio de Compressão é utilizado para determinar a resposta de um material quando submetido a forças de compressão. A aplicação é controlada de carga em uma amostra do material resultando na redução do seu volume (BIOPDI,2024).

Todo procedimento é baseado na **NBR 7215**, norma que delimita etapas e intervalos de tempo definidos para a mistura mecânica dos materiais e em sua grande maioria, são utilizados para determinar a resistência à compressão simples do cimento Portland (BIOPDI, 2024).

Para aplicação, a norma solicita que os corpos de prova tenham 50mm de diâmetro e sua altura seja o dobro dessa medida, ou seja, 100mm (BIOPDI, 2024). Durante a realização, a amostra é colocada entre dois pistões em uma máquina de Ensaio (Figura 11) e a carga é aplicada gradualmente e controlada até que a amostra seja comprimida, até a falha ou até que o determinado nível seja atingido.

Figura 11 - Máquina de Ensaio de compressão



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Durante o ensaio, o equipamento é controlado por um software (*TESC - Versão 3.04*)¹ especializado, que permite controlar a aplicação de carga e registrar os resultados obtidos em forma de gráficos e relatórios (Figura 12).

¹ É um software para automação de ensaios que permite configurar todo o procedimento de ensaio, definindo a sequência completa de aplicação de cargas até a análise dos dados e geração do relatório (SINMETRO, 2024).

Figura 12 – Utilização do software TESC



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Segundo BIOPDI (2024), as informações que são fornecidas durante e após a realização do teste são:

- Carga máxima que o material aguenta antes da falha;
- Rigidez da amostra e sua capacidade de voltar à forma original após aplicação da carga;
- A deformação elástica, em que o material volta a sua forma original;
- Como o material se comporta;

Para um primeiro momento foi realizada a massa para os corpos de prova conforme as Figuras 13, 14 e 15:

Figuras 13 14 e 15 - Preparação da massa



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Após o preenchimento total dos canos (Figura 16), a estrutura foi nivelada com a ajuda de um pistilo² no intuito de manter a compactação ideal.

Figura 16 - Preenchimento dos canos de PVC



Fonte: Própria autoria, 2024.

Em seguida, as massas foram colocadas no forno para uma secagem mais efetiva, sendo que em um primeiro momento, utilizou-se uma temperatura de 180°C por 3 horas e no segundo momento, após as amostras serem retiradas dos canos (Figura 17) por mais 2 horas a mesma temperatura.

Quando já secas as amostras foram pesadas (Quadro 5) e impermeabilizadas.

Figura 17 - Amostras após retiradas dos canos de PVC



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Quadro 5 - Massa das amostras para o teste de compressão

AMOSTRAS	PESOS
1	132,9 g
2	134,7 g
3	126,3 g
4	128,4 g

5	122,5 g
6	138,2 g
7	131,9 g
8	132,0 g
9	129,0 g

Fonte: Própria Autoria, 2024.

Para a produção da película impermeabilizante (Figura 18) também foi efetuado o aumento das quantidades de material em quatro vezes mais. O processo de concepção baseou-se no padrão da equipe, isto é, o isopor® dissolvido no limoneno e depois adicionado vidro nas amostras necessárias.

Para sua aplicação nos corpos de prova, utilizou-se luvas e o procedimento ocorreu manualmente até toda a amostra ficar totalmente coberta, protegida e uniforme.

Figura 18 - Película aplicada nas amostras para o ensaio de compressão



Fonte: Própria Autoria, 2024.

4.6.1.1 Realização do ensaio de compressão

Em um primeiro momento, o técnico de laboratório auxiliou na preparação da máquina, logo, adicionou-se ao computador base (Software TESC) algumas informações e dados para melhor eficiência, como o comprimento, diâmetro da amostra, a carga que o corpo de prova iria suportar e a velocidade do ensaio.

Em seguida, a amostra foi colocada ao centro do equipamento (*EMIC DL10000 - Entendido como Máquina Universal de Ensaio* (USP, 2024)) e dada a confirmação no controle manual da máquina, realizando o procedimento com um corpo de prova de cada vez, sendo

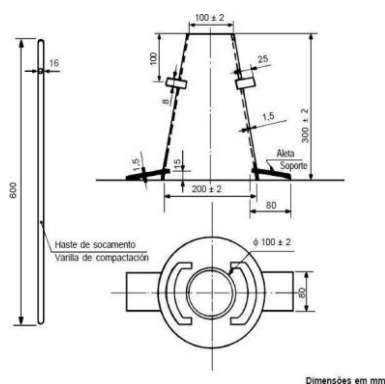
primeiro com três amostras com mesma massa (protótipo IV) e película III (limoneno + isopor + vidro), porém com diâmetros diferentes, sendo de 50mm, 52mm e 54mm de diâmetro.

Para análise de ensaio, foi repetido o procedimento acima com três amostras diferentes com a mesma película, sendo ela a de vidro, por ser a com o melhor resultado. Após a realização do ensaio de cada amostra, foi medido o corpo de prova para analisar o quanto ele foi reduzido, realizando a duplicata em seguida.

4.6.2 Ensaio de Slump

Baseado pela NBR NM 67, sendo uma norma MERCOSUL, este determina a consistência do concreto fresco através da medida dada pelo seu assentamento, que deve ser maior ou igual a medida de 10 mm. A amostra que será utilizada para o ensaio deve seguir um molde em forma de um tronco de cone oco, com as medidas internas segundo a figura 19 de:

Figura 19 - Figura com medidas do molde



Fonte: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, 1998.

O ensaio é composto pela utilização do molde, é fundamental preencher todo o molde rapidamente, para prontamente compactar cada camada com 25 golpes da haste distribuindo uniformemente sobre a seção de cada camada. Após a compactação deve-se realizar a medida do abatimento da massa, assim determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova.

Como não se tem os equipamentos corretos para a realização do teste, o ensaio foi adaptado. Utilizando um pistilo, nós realizamos a adaptação, golpeando o paver ECOPLASF 25 vezes, em 3 faces do molde paralelepípedo com a máxima força que conseguimos.

4.6.3 Determinação da absorção da água por imersão

O ensaio de determinação da absorção da água por imersão, será realizado seguindo a norma NBR 9778, qual o seu objetivo é determinar a absorção de água, índice de vazios e massa específica de argamassas e concretos endurecidos. Para a realização desse ensaio a partir da norma, a amostra é seca na estufa a 105 ± 5

°C por 72 horas, e a massa seca é registrada. Para saturação, é imersa em água a 23 ± 2 °C por 72 horas, depois fervida por 5 horas. Após o resfriamento, a massa é medida com balança hidrostática, enxugada e registrada para a observação do resultado.

Devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários para a realização do ensaio conforme a norma, adaptamos o teste, realizando a pesagem da massa do paver. A massa do paver é equivalente a 778 g, em seguida, submergimos o paver (Figura 20) em um tanque com cerca de 10 litros de água destilada. Após cerca de 96 horas, o paver foi retirado de submersão.

Figura 20 - Paver ECOPLASF submergido



Fonte: Autoria Própria, 2024.

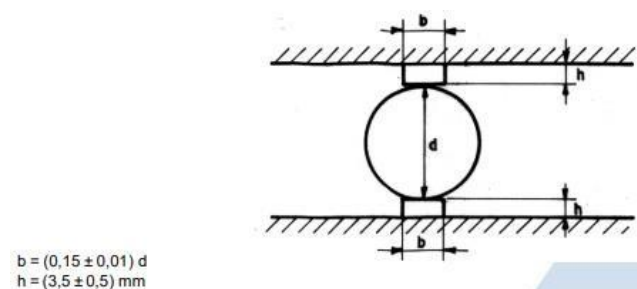
4.6.4 Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos

Esse teste é dado pela norma NBR 7222, que descreve como determinar a resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos feitos de argamassa e concreto. A aparelhagem usada para este ensaio deve ser a mesma que a utilizada nos testes de resistência à compressão de argamassa e concreto, conforme, apresentada anteriormente, a norma NBR 5739.

Os corpos-de-prova devem ser moldados e curados conforme as normas NBR 7215 e NBR 5738, podendo ter uma relação comprimento/diâmetro entre 1 e 2, utilizando o dispositivo de moldagem.

Durante o ensaio, o corpo-de-prova deve tocar os pratos da máquina apenas em duas linhas opostas ao longo da superfície. Se os pratos da máquina forem menores em diâmetro ou altura que o corpo-de-prova, é permitido usar dispositivos adicionais para garantir o ajuste adequado. Após isso, posicione o corpo-de-prova de modo que ele repouse ao longo de uma linha geratriz sobre o prato da máquina de compressão. Assim, deve-se colocar duas tiras de chapa dura de fibra de madeira entre os pratos e o corpo-de-prova, com o mesmo comprimento da geratriz do corpo-de-prova e com as dimensões indicadas na Figura 21.

Figura 21- Disposição do corpo-de-prova



Fonte: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, 1994.

Na sequência, é necessário que seja feito o ajuste dos pratos da máquina até que o corpo-de-prova fique firmemente posicionado. A carga deve ser aplicada de forma contínua e suave, com um aumento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $0,05 \pm 0,02 \text{ MPa/s}$, até que o corpo-de-prova se rompa.

Esse ensaio será realizado futuramente, a partir de uma parceria com o SENAI - CIC, onde contará com o auxílio de profissionais da área. Os corpos-de-prova produzidos estão a partir da norma dita na norma do ensaio.

4.6.5 Teste de resistência a uma força aplicada

Para que seja capaz de testar a resistência de força aplicada em uma massa asfáltica, é utilizado o Ensaio Marshall, também conhecido como Prensa de Marshall (VASCONCELOS, 2004) (Figura 22). O intuito do teste é determinar a estabilidade e fluência de misturas e está bastante ligado à quantidade correta que a mistura deveser aplicada à determinada área.

Figura 22 - Prensa de Marshall 29



Fonte: Vilela, 2018.

O ensaio é produzido a partir de amostras, as quais podem sofrer adequações à temperatura. Quando está tudo adequado, coloca-se as amostras na Prensa de Marshall, que fornece uma força de compressão contínua até que a amostra se rompa, com isso, é possível entender qual sua resistência.

Sabendo que não se tem esse equipamento no laboratório do Colégio Sesi Boqueirão e diante da realidade da equipe, adaptou-se o presente teste utilizando (Quadro 6) uma chapa de aquecimento desligada para servir com base, e seis diferentes massas para analisarmos a força e a resistência que o protótipo aguenta (Figura 23). Em seguida, colocou-se a amostra no chão e testou sua força ao passar com dois veículos por cima.

Quadro 6 - Objeto e massas utilizadas no teste

NÚMERO	OBJETO	MASSA
1	Círculo de mesa	5,3 kg.
2	Mesa	8 kg
3	Chapa de aquecimento	12.6 kg
4	Pessoa 1	58kg
5	Pessoa 2	72kg
6	Pessoa 3	91kg

Fonte: Própria autoria, 2024.

Figura 23 - Objetos utilizados no teste



Fonte: Própria autoria, 2024.

4.6.5.1 Resistência a veículos.

Em um quinto momento levou-se o protótipo para fora, encaixou-o em meio ao solo, para simular o preenchimento de um buraco e dos pavers e foi passado com dois veículos de diferentes pesos (Figura 23 e 24), sendo o veículo 1 com 1100kg e o veículo dois pesando 1082kg.

Figura 23 e 24 - Resistência a veículos



Fonte: Própria autoria, 2024.

Os testes padrões destes nos ajudarão a entender quais serão os procedimentos que devem ser realizados para garantir que o material seja de alta qualidade, seguro e durável.

4.7 Adição de fibras

Além dos testes serão realizadas algumas análises com a adição de outras fibras a massa, como a do bambu, que um material muito fácil de ser encontrado na região, tendo um rápido crescimento (cerca de 30cm após 24h) e pela sua comprovação científica da sua grande resistência às forças de compressão e tração muito altas (MARÇAL, 2033).



5 RESULTADOS OBTIDOS

Na primeira etapa do projeto, quatro protótipos foram idealizados, permitindo observar a evolução na produção e no preparo dos resíduos, visando alcançar melhor compactação e resistência para atingir nossos objetivos, já na segunda etapa, foram idealizados pavers ecológicos e novos testes.

5.1 COLETA DE RESÍDUOS DO COLÉGIO SESI DA INDÚSTRIA BOQUEIRÃO

Foi observado que a partir da ação aplicada, a coleta teve a colaboração mista dos alunos, tendo em vista que alguns alunos seguiram as instruções corretamente e outros não colaboraram. Assim visando a importância da educação ambiental implantada nas instituições escolares, para que futuramente, a população adote práticas sustentáveis.

5.2 PREPARO DOS RESÍDUOS

Em um primeiro momento, qual foi produzido o primeiro protótipo, a preparação dos resíduos foi básica, onde o poliestireno foi separado, o polietileno cortado e o vidro triturado com o auxílio de um martelo, resultando assim em partículas grandes. Já a fibra de coco foi retirada, sem lavagem ou secagem apropriada, o que resultou em uma massa não compacta e com mau odor.

Nos protótipos seguintes, o poliestireno e o polietileno foram triturados com a ajuda de um liquidificador, e o vidro foi peneirado após ser triturado, restando apenas resíduo do pó. E a fibra de coco foi lavada e secada corretamente, melhorando a compactação e eliminando o mau odor, que é causado pela proliferação de fungos.

5.3 PREPARO DA MISTURA

Para cada um dos quatro primeiros protótipos que foram produzidos, foram utilizados a mesma quantidade de resíduos, mas devido a alguns problemas observados, houve certos ajustes, para que os próximos protótipos apresentem melhores resultados.

O protótipo IV foi escolhido por conta da sua maior resistência e compactação em comparação aos outros protótipos. Com isso foi produzido películas impermeabilizantes, a partir do isopor® diluído em solvente orgânico (Thinner®),



para a proteção contra líquidos e aumentando sua resistência. Para aumentar a aderência, foi adicionado areia e vidro, o que obteve o melhor resultado foi o com o vidro, por conta da sua propriedade de resistência térmica e mecânica.

5.4 PAVER

5.4.1 Produção do paver

A produção da massa base do ECOPLASF no molde do paver se mostrou compacta e resistente ao ser realizado o desmolde, ficando exatamente nas medidas necessárias descritas pela literatura para produção de pavers convencionais (Figura 25)

Figura 25 - Paver após a secagem



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Além disso, para o processo de impermeabilização (Figura 26) na sequência, observou-se diversos aspectos positivos.

A mudança do solvente utilizado, utilizando um orgânico e atóxico, sendo o D-Limoneno, mostrou-se muito eficaz em diversos sentidos, o primeiro deles é sua resistência superior a película já utilizada com thinner, isto é, em análises visuais ele se mostrou mais firme e resistente. Além disso, a dissolução do Isopor foi facilitada, apresentando após secagem uma melhor consistência junto ao vidro.

Figura 26 - Paver impermeabilizado



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Assim sendo, em um primeiro momento, observa-se a possibilidade de aplicação, entretanto para comprovar a eficácia, serão necessárias as realizações dos testes padrões feitos no concreto, como o ensaio de slump (NBR NM 67), ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (NBR 5739), determinação da absorção da água por imersão (NBR 9778), entre outros testes que devem ser realizados.

5.5 TESTES

As análises dos testes, realizados na fase I, foram feitas visualmente sem um padrão de comparação definido. Os protótipos e películas impermeabilizantes foram submetidos a testes de resistência térmica e mecânica, e de impermeabilização. E os com os melhores resultados foram o protótipo IV com impermeabilizante III, que não mostraram qualquer alteração visual e nem mecânica.

5.5.1 Ensaio de compressão

Durante os testes, os resultados foram registrados em gráficos pelo programa TESC, permitindo observar o desempenho das amostras com a massa do ECOPLASF e sua película protetora. Utilizando os padrões da NBR 7215, foi gerado o Gráfico 1, que mostra a força em função da deformação para os três diâmetros diferentes.



romper. O gráfico indica que, quanto mais retilínea a linha inicial, maior a deformação, e quanto mais vertical, maior a rigidez.

A linha verde, mais vertical, indicou a maior rigidez. O teste, seguindo padrões da literatura, foi positivo, sugerindo que a massa pode suportar a circulação de pessoas e a força de veículos, proporcionando pavimentação de qualidade.

5.5.1.2 Comparação do tamanho da amostra antes e depois do ensaio

Para aprimorar os próximos passos, foi elaborado um comparativo do tamanho das amostras antes e depois do ensaio (Quadro 8).

Quadro 8 - Comparativo das amostras antes e depois do teste

AMOSTRA	ANTES	DEPOIS	RUPTURA
1 (52mm)	93mm	47mm	Não
2 (54mm)	90mm	45mm	Não
3 (50mm)	100mm	53mm	Sim

Fonte: Própria Autoria, 2024.

Conforme demonstrado, as amostras reduziram-se aproximadamente pela metade após atingirem o limite de compressão.

5.5.2 Ensaio de Slump

Após a realização do teste, o paver utilizado apresentou resultados positivos, pois não mostrou nenhuma ruptura ou alteração. Isso mostra a importância tanto da película como da massa no seu interior, evidenciando a resistência de ambas.

5.5.3 Determinação da absorção da água por imersão

Após tirarmos o paver de submersão, foi observado um grande ganho de massa, pois o mesmo saiu de 778 g, a massa inicial, para 978 g após a realização do ensaio. Isso equivale a cerca de 25,7% de ganho de massa, comparado a massa inicial, mostrando que por mais que tenha uma película impermeabilizante, ela é permeável.



Por conta das grandes mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta, acaba consequentemente aumentando os casos de inundações e enchentes em diversos locais. Isso mostra que se ela é permeável, seria uma forma alternativa para o paver, podendo assim diminuir os danos causados pelas enchentes, por conseguir absorver a água.

5.5.4 Teste de resistência a uma força aplicada.

Diante de todas as análises realizadas até o momento, pode-se perceber que a amostra é capaz de aguentar pesos elevados, uma vez que diante das seis massas protótipo se manteve intacto.

Quanto ao teste realizado com o veículo passando sobre a amostra disposta no solo, foi o que mais nos mostrou potencial do protótipo, visto que suportou um peso maior que mil quilos, e dessa forma, consegue-se atender perfeitamente a proposta de ser aplicado para solucionar os buracos e pavers nas pavimentações asfálticas.

Entretanto, apesar do bom resultado, espera-se encontrar uma parceria com uma Universidade para que se consiga observar a força que ele aguenta utilizando o equipamento necessário e começar as comparações com o material já utilizado no mercado.

5.6 RENDIMENTO E CUSTO PARA A REPRODUÇÃO EM GRANDE ESCALA

Dado pelos cálculos, o m² do nosso protótipo IV + impermeabilizante III para o preenchimento dos buracos em pavimentações asfálticas rende cerca de 276 g, que tem como custo equivalente de R\$ 0,63 com a impermeabilização feita a partir do uso do D-limoneno.

Baseado na tabela feita para o custo estatístico da produção do paver, foi calculado o custo para o m² completo de pavers, com o uso de 50 pavers, que resultou em R\$ 49,5, o qual equivale a quase metade do preço de pavers produzidos a partir do uso do concreto, que custa cerca de R\$ 98,00.



5.7 PROPOSTA DE APLICAÇÃO

5.7.1 Aplicação no estacionamento do Colégio Sesi Boqueirão

A aplicação (Figura 27) foi dificultada pela falta de nivelamento do terreno pavimentado com lajotas, tornando a área menos uniforme em comparação ao asfalto padrão. No entanto, após o período de cura de 13 dias (afetado por chuvas em Curitiba-PR), a resistência do material foi avaliada. Apesar da intensa movimentação de veículos de diferentes tamanhos, a área de preenchimento manteve-se intacta mesmo depois de diversos meses.

Figura 27 - Aplicação Real



Fonte: Autoria Própria, 2024

Observou-se que, devido à irregularidade do terreno, parte da película impermeabilizante se descolou da lajota de concreto adjacente, embora o material não tenha apresentado quebras ou fissuras.



6 CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento da proposta, pode-se observar avanços significativos na pesquisa, isto é, na primeira fase, a produção dos quatro protótipos demonstrou que massa asfáltica proposta pela equipe tem diversos pontos positivos, como a resistência mecânica, térmica e impermeabilidade, onde foram evidenciados pelos testes produzidos.

Para ampliar ainda mais os benefícios e suprir algumas lacunas deixadas, avançou-se para segunda fase, onde o projeto buscou a tentativa de minimizar possíveis efeitos a longo prazo, como os impactos ambientais gerados pelo uso de um solvente tóxico (thinner). Para isso, optou-se por utilizar um solvente orgânico atóxico, o D-limoneno, garantindo assim, preservação ambiental e a segurança à saúde maior às gerações futuras que forem contemplados com o resultado da pesquisa.

Assim, tem-se a visualização da capacidade e eficiência do preenchimento dos buracos devido aos resultados encontrados, com um produto que utiliza resíduos descartados incorretamente que são derivados do petróleo e tem um baixo custo de produção. Ademais, espera-se a eficiência ao utilizar a massa padrão do ECOPLASF para construção de pavers ecológicos, contribuindo assim para um equilíbrio do planeta, diminuindo a emissão de gases poluentes na atmosfera derivado da produção de concreto e impactando menos na fauna e flora do mundo.

Na sequência, serão realizadas novas análises e novos levantamentos para poder comprovar de fato a eficácia deste material produzido a fim de colocá-lo em circulação no mercado.

De maneira geral, o ECOPLASF demonstra ser uma alternativa viável e sustentável aos materiais convencionais, pois representa uma contribuição significativa para a redução do impacto ambiental causado pela indústria da construção civil, além de ter um baixo custo de produção, a proposta apresenta um baixo custo de transporte e baixa emissão de gases por conta que o paver do projeto tem uma massa inferior a 1kg, assim fazendo com que o motor do veículo transportador precise de menos combustível por cilindrada, ou seja, lançando menos gases para o efeito estufa.



Dessa maneira, compreende-se que utilizar resíduos descartados e reduzir a dependência de materiais tradicionais, o projeto não apenas oferece benefícios ambientais, mas também econômicos, tornando-se uma opção atrativa para investimentos futuros, como produzir uma máquina de aplicação própria, para produção em grande escala



7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Leandro; BAZITO, Reinaldo; FREIRE Renato. **Solventes alternativos**. (2024). Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4305483/mod_resource/content/1/QFL5931%20-%20Aula%20Solventes%20Alternativos%20v.2018.pdf . Acesso em: 28, abr 2024.

ARCURI, Arline Sydneia Abel; COSTA, Danilo Fernandes; POSSEBON, José; KANASAWA, Kátia Cheli; TARDINI, Laura Isora Naldi; CONSTANTINO, Léa; COSTA, Leila Maria Tavares; CARDOSO, Luiza Maria Nunes; GELBER, Marcia Azevedo; YASSUDA, Nancy. INAMINE, Rosemary. Efeitos da exposição ao benzeno para a saúde. São Paulo, SP: Fundacentro, 2012. 52 p. (Série Benzeno, Fascículo 1). ISBN 978-85-98117-53-9. Disponível em:

<http://renastonline.ensp.fiocruz.br/recursos/efeitos-exposicao-benzeno-saude-serie-benzeno-fasciculo>. Acesso em: 28, abr 2024.

AZEVEDO, Julia. **Bambu: tudo sobre o que você precisa saber sobre (2024)**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/bambu/>. Acesso em: 14,abr, 24.

BLINDEX. **O que é vidro? (2024)**. Disponível em: <https://www.blindex.com.br/-/media/blindex/site-content/downloads/ovidro.pdf> Acesso em: 29, abr 2024.

BORJA, Patrícia. **Avaliação da qualidade ambiental urbana (2018)**. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/25943/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20qualidade%20ambiental%20urbana.pdf>. Acesso em: 5, abr 2023.

CANTÃO, Luiza. **Plástico (2014)**. Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/#!/extensao/residuos-solidos/plastico/>. Acesso em: 29, abr 2024.



CARVALHO, Joyce. **População do Boqueirão sofre com ruas esburacadas (2010)**. Disponível em: <https://www.tribunapr.com.br/noticias/parana/populacao-do-alto-boqueirao-sofre-com-ruas-esburacadas/>. Acesso em: 5, abr 2023.

CNT. **Rodovias brasileiras apresentam piora de qualidade (2022)**. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/rodovias-brasileiras-apresentam-piora-de-qualidade>. Acesso em: 7, abr 2023.

DIKOKO. **Descubra os incríveis benefícios da fibra de coco na construção: resistência, durabilidade e estilo (2023)**. Disponível em: <https://www.dikoko.com.br/descubra-os-incriveis-beneficios-da-fibra-de-coco-na-construcao-resistencia-durabilidade-e-estilo/>. Acesso em: 10, mar, 24.

DIVINAL VIDROS. **Como é feito o vidro? (2024)**. Disponível em: <https://www.divinalvidros.com.br/blog/como-e-feito-o-vidro-fabricacao>. Acesso em: 29, abr 2024.

ECYCLE. **Cimento: Origem, importância, riscos e alternativas (2023)**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/cimento/>. Acesso em: 10, jul 2023.

EMBRAPA. **Beneficiamento da casca de coco verde para a produção de fibra e pó (2023)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/33/beneficiamento-da-casca-de-coco-verde-para-a-producao-de-fibra-e-po>. Acesso em: 6, abr 2023.

EMBRAPA. **Organossolos (2006)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/organossolos>. Acesso em: 29, abr 2024.



EPS BRASIL. **O que é EPS? (2024).** Disponível em: <https://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em: 30, abr 2024.

Jabbour, Charbel; Santos, Fernando. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis: o papel da gestão de pessoas (2007).** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/Tpp54sfh9NMpLVMyqkRvdkS/>. Acesso em: 25, abr, 2024.

JARDIM SECRETO. **Descubra a beleza das fibras naturais: veja produtos do Jardim Secreto. (2024).** Disponível em: <https://blogjardimsecreto.com.br/fibras-naturais/>. Acesso em: 03, abr 2024.

https://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/lixo_residuos.htm. Acesso em: 29, abr 2024.

MAIS POLÍMEROS. **Polietileno (PE): conheça os tipos, as aplicações e as propriedades desta matéria-prima. (2019).** Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2019/02/20/polietileno-pe/>. Acesso em: 15, jun 2023.

NUNES, Cássia. **Reciclagem (2023).** Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/reciclagem.htm>. Acesso em: 5, abr 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **O que é sustentabilidade? (2023).** Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/sustentabilidade/>. Acesso em: 25, abr, 2024.

SANÁBIO. **Produtos sustentáveis: quais são os melhores exemplos? (2022).** Disponível em: <https://blog.trocafone.com/produtos-sustentaveis-exemplos/>. Acesso em: 25, abr, 2024.

SEBRAE. **O que é um produto sustentável? (2022).** Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-um-produto->



sustentavel,5775438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD. Acesso em: 5, abr, 24.

SIMMETRO. **Software Tesc.** (2024). Disponível em: [https://simmetro.com.br/software-](https://simmetro.com.br/software-tesc/#:~:text=Tesc%20%C3%A9%20um%20software%20para,dados%20e%20gera%C3%A7%C3%A3o%20do%20relat%C3%B3rio)

[tesc/#:~:text=Tesc%20%C3%A9%20um%20software%20para,dados%20e%20gera%C3%A7%C3%A3o%20do%20relat%C3%B3rio](https://simmetro.com.br/software-tesc/#:~:text=Tesc%20%C3%A9%20um%20software%20para,dados%20e%20gera%C3%A7%C3%A3o%20do%20relat%C3%B3rio) . Acesso em dia: 11, mar 2024.

SIMÕES, Kátia. **O desafio da reciclagem do plástico (2022)**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/esg/noticia/2022/09/o-desafio-da-reciclagem-do-plastico.gh.html>. Acesso em: 5, abr 2023.

SOLVEN. **Qual a diferença de thinner e solvente? (2017)**. Disponível em: <https://solven.com.br/informacao/qual-diferenca-thinner-solvente/>. Acesso em: 30, abr 2024.

TECNOPEÇAS. **O que é polietileno expandido? (2021)**. Disponível em: <https://tecnopecas.com.br/o-que-e-poli-etileno-expandido/>. Acesso em: 15, jun 2023.

TEIXEIRA, Júnior. Sustentabilidade: o que é, como funciona, benefícios e exemplos (2023). Disponível em: <https://fia.com.br/blog/sustentabilidade>. Acesso em: 25, abr, 2024.

TERMOTÉCTINA. **EPS – Poliestireno Expandido. (2023)**. Disponível em: <https://www.termotecnica.ind.br/eps-poliestireno-expandido/>. Acesso em: 15, jun 2023.

UNIVASF. **Microplástico: um dos principais problemas dos oceanos. (2019)**. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/microplastico-um-dos-principais-poluentes-dos-oceanos>. Acesso em: 15, fev 24.



VILELA, Ricardo. **Estudos laboratoriais para determinação do comportamento mecânico de uma mistura dosada pelo método Marshall (2018).** Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDOS_LABORATORIAIS_PARA_DETERMINA%C3%87%C3%83O_DO_COMPORTAMENTO_MEC%C3%82NICO_DE_UMA_MISTURA_DOSADA_PEL_O_M%C3%89TODO_MARSHALL.pdf.

Acesso em: 27, abr 2023.