



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Johnatha de Sousa Moraes

**Incorporação de hidrocarvão produzido a partir de máscaras
cirúrgicas descartáveis em concreto**

PAU DOS FERROS - RN

2025

Johnatha de Sousa Moraes

**Incorporação de hidrocarvão produzido a partir de máscaras
cirúrgicas descartáveis em concreto**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: José Mariano da Silva Neto, Prof.
Dr.

Coorientador: Vinícius Navarro Varela Tinoco,
Me.

PAU DOS FERROS - RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M827i Moraes, Johnatha de Sousa .
Incorporação de hidrocarvão produzido a partir
de máscaras cirúrgicas descartáveis em concreto /
Johnatha de Sousa Moraes. - 2025.
54 f. : il.

Orientador: José Mariano da Silva Neto.
Coorientador: Vinícius Navarro Varela Tinoco.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos plásticos. 3.
Propriedades mecânicas. 4. Reaproveitamento. I.
Silva Neto, José Mariano da, orient. II. Tinoco,
Vinícius Navarro Varela, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Johnatha de Sousa Moraes

**Incorporação de hidrocarvão produzido a partir de máscaras
cirúrgicas descartáveis em concreto**

Trabalho de conclusão apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi- Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em 05/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MARIANO DA SILVA NETO**
Data: 14/08/2025 01:50:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr. (UFERSA) Presidente

Documento assinado digitalmente
 **VINICIUS NAVARRO VARELA TINOCO**
Data: 06/08/2025 08:43:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Vinícius Navarro Varela Tinoco, Me. (UFERSA) Membro
Examinador

Documento assinado digitalmente
 **SHIRLENE KELLY SANTOS CARMO**
Data: 05/08/2025 16:11:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Shirlene Kelly Santos Carmo (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **JOSE DANIEL JALES SILVA**
Data: 05/08/2025 22:51:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Daniel Jales Silva (UFERSA) Membro
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, fonte de toda sabedoria, força e inspiração, que me guiou e me sustentou em cada etapa desta jornada acadêmica. Sem Sua presença e cuidado, eu não teria chegado até aqui

À minha família, meu alicerce, por todo amor, apoio, paciência e incentivo incondicional. A cada palavra de encorajamento, a cada gesto de carinho e compreensão, sou eternamente grato. Vocês foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios e seguir firme na busca dos meus objetivos.

Ao meu orientador, Dr. José Mariano da Silva Neto, e ao meu coorientador, Vinícius Navarro Varela Tinoco, expresso minha mais profunda gratidão pela orientação, dedicação, paciência e pelas valiosas contribuições oferecidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações técnicas, apoio constante e incentivo foram essenciais não apenas para a realização deste projeto, mas também para meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a construção deste trabalho e para minha formação, deixo aqui meu sincero e eterno agradecimento.

RESUMO

Este trabalho investigou a viabilidade da incorporação de hidrocarvão, produzido a partir de máscaras cirúrgicas descartáveis, como adição ao concreto, buscando aliar sustentabilidade e desempenho técnico. O estudo se insere no contexto da crescente preocupação com o destino de resíduos sólidos gerados pelo uso massivo de máscaras durante a pandemia da COVID-19, propondo seu reaproveitamento na construção civil. O hidrocarvão foi obtido por reação hidrotérmica das máscaras e incorporado na proporção de 4% em relação à massa de cimento, comparando-se suas propriedades com um concreto de referência. Foram moldados corpos de prova cilíndricos para ambos os traços, curados por 7 e 28 dias, e submetidos a ensaios de abatimento do tronco de cone (Slump Test), resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, conforme normas da ABNT. Os resultados de abatimento indicaram que a mistura com hidrocarvão manteve consistência e trabalhabilidade semelhantes às do concreto de referência. Quanto às resistências mecânicas aos 28 dias, o concreto com hidrocarvão apresentou 21,98 MPa para a compressão e 2,663 MPa para a tração, valores praticamente equivalentes aos obtidos pelos corpos de prova de referência. Conclui-se que a adição de hidrocarvão é tecnicamente viável para aplicações, contribuindo para a destinação sustentável de resíduos urbanos. Ressalta-se que outras propriedades, como durabilidade, permeabilidade e comportamento a longo prazo, poderiam ser exploradas em estudos futuros, ampliando o entendimento sobre o potencial deste material.

Palavras-chave: sustentabilidade; resíduos plásticos; propriedades mecânicas; reaproveitamento.

ABSTRACT

This study investigated the feasibility of incorporating hydrochar, produced from disposable surgical masks, as an additive in concrete, aiming to combine sustainability and technical performance. The research is framed within the growing concern regarding the disposal of solid waste generated by the massive use of masks during the COVID-19 pandemic, proposing its reuse in the construction industry. The hydrochar was obtained through the hydrothermal reaction of the masks and incorporated at 4% by cement mass, with its properties compared to those of a reference concrete. Cylindrical specimens for both mixes were cast, cured for 7 and 28 days, and subjected to slump tests, axial compressive strength tests, and splitting tensile strength tests, following ABNT standards. Slump test results indicated that the hydrochar mix maintained consistency and workability similar to the reference concrete. At 28 days, the hydrochar concrete achieved 21.98 MPa in compressive strength and 2.663 MPa in tensile strength, values nearly identical to those of the reference specimens. It is concluded that hydrochar addition is technically viable for applications, contributing to the sustainable disposal of urban waste. It is emphasized that other properties, such as durability, permeability, and long-term behavior, could be explored in future studies to further assess this material's potential.

Keywords: sustainability; plastic waste; mechanical properties; reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Pesagem das máscaras e (b) preparo dos reatores	25
Figura 2 - (a) Preparação da amostra e (b) Adicionando no mini reator.....	25
Figura 3 - Banho-maria nos reatores.....	26
Figura 4 - (a) Obtenção e (b) secagem do hidrocarvão	27
Figura 5 - (a) Cimento utilizado no experimento e (b) Pesagem.....	28
Figura 6 - (a) Peneiramento e (b) Pesagem dos agregados miúdos	29
Figura 7 - (a) Captação e (b) Pesagem dos agregados graúdos	30
Figura 8 - Hidrocarvão triturado	32
Figura 9 - (a) Betoneira e (b) Materiais utilizados no ensaio	33
Figura 10 - Hidratação da betoneira.....	33
Figura 11 - (a) Adição de todos os materiais e (b) mistura	34
Figura 12 - Concreto padrão	35
Figura 13 - Concreto com adição de hidrocarvão	35
Figura 14 - (a) Corpos de prova utilizados e (b) Aplicação do desmoldante	36
Figura 15 - (a) Moldagem dos corpos de prova e (b) Adensamento com vibrador mecânico	36
Figura 16a e 16b - Corpos de provas moldados e separados.....	37
Figura 17 - Corpos de prova desmoldados e identificados.....	37
Figura 18 - Cura úmida dos corpos de prova em tanque com água	37
Figura 19 - Abatimento do concreto	38
Figura 20 - Medição dos corpos de prova	40
Figura 21 - Comparativo dos resultados de compressão	43
Figura 22 - Comparativo dos resultados de tração.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos materiais	41
Tabela 2 - Resultados dos testes de resistência a compressão	43
Tabela 3 - Resultados dos testes de resistência a tração.....	44
Tabela 4 - Comparativo dos ensaios de resistência à compressão (MPa).....	46
Tabela 5 - Comparativo dos ensaios de resistência à tração (MPa).....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo geral.....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
5 REVISÃO TEÓRICA	15
5.1 Aplicação do concreto na construção civil.....	15
5.2 Características do concreto.....	16
5.3 Aditivos no concreto	17
5.4 Tipos de aditivos no concreto.....	18
5.4.1 Plastificantes e Superplastificantes.....	18
5.4.2 Aceleradores de Pega.....	18
5.4.3 Retardadores de pega.....	19
5.4.4 Aditivos Impermeabilizantes.....	19
5.5 Adição de resíduos no concreto e a sustentabilidade.....	20
5.6 COVID – 19 e a geração de resíduos	22
5.7 Máscaras cirúrgicas e a pandemia da COVID – 19	22
6 MATERIAIS E MÉTODOS	24
6.1 Obtenção do hidrocarvão	24
6.1.1 Coleta de máscaras recicláveis	24
6.1.2 Preparação da amostra	24
6.1.3 Reação hidrotérmica	25
6.1.4 Resfriamento e filtração.....	26
6.1.5 Obtenção do Hidrocarvão	26
6.2 Características dos materiais	27
6.2.1 Cimento.....	27

6.2.2 Água.....	28
6.2.3 Agregados Miúdos.....	28
6.2.4 Agregados Graúdos	29
6.2.5 Ensaio de granulometria	30
6.2.6 Determinação do Módulo de Finura (MF).....	31
6.2.7 Determinação do Diâmetro Máximo (D _{máx})	31
6.2.8 Determinação da Massa Específica	31
6.2 Dosagem do concreto referência e com adição do hidrocarvão	31
6.3 Preparo e moldagem do concreto.....	32
6.4 Testes experimentais.....	38
6.4.1 <i>Slump Test</i>	38
6.4.2 Propriedades mecânicas	39
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
7.1 Caracterização dos materiais.....	41
7.2 <i>Slump Test</i>.....	42
7.3 Resistência a compressão	42
7.4 Resistência a tração	44
8 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Ser sustentável, no contexto da construção civil, significa adotar práticas que minimizem os impactos ambientais em todas as etapas, desde o planejamento até a pós-ocupação das edificações. Isso envolve o reaproveitamento de materiais, a busca por alternativas ao uso intensivo de recursos naturais e a adoção de soluções voltadas à geração e economia de energia. Tais medidas não apenas reduzem os danos ao ecossistema, mas também contribuem para melhores resultados econômicos e para a qualidade de vida das gerações presentes e futuras. A sustentabilidade, que hoje é uma pauta central em diversos setores da sociedade, também se tornou um princípio fundamental na engenharia. Mais do que uma escolha ética ou ecológica, ela passou a ser uma demanda direta dos próprios clientes. Nesse cenário, o concreto, tido como um dos materiais mais utilizados na construção civil, também tem sido alvo de inovações que buscam alinhar desempenho técnico e responsabilidade ambiental.

O concreto é o material mais utilizado na construção civil devido à sua alta resistência, durabilidade e características. Composto por cimento, água, agregados e, eventualmente, aditivos, ele é essencial em obras de fundações, pilares e grandes estruturas. Sua capacidade de suportar grandes cargas e sua durabilidade o torna fundamental para construções de edifícios, pontes e barragens, resistindo bem ao desgaste causado pelo tempo e pelo ambiente (Neville, 2016). Além disso, o concreto pode ser moldado de diferentes formas, o que facilita sua aplicação em uma vasta gama de projetos modernos e de infraestrutura. Seu custo relativamente acessível, combinado com ampla disponibilidade de seus componentes, faz dele uma escolha econômica para obras ao redor do mundo (Neville; Brooks, 2010).

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do concreto, pois define sua capacidade de suportar cargas (permanentes, variáveis ou concentradas, por exemplo) sem sofrer rupturas ou deformações excessivas. Essa característica é fundamental para a segurança e estabilidade de estruturas, já que o concreto é amplamente utilizado em fundações, pilares, vigas e pavimentos, que são partes da construção sujeitas a grandes esforços compressivos. Edifícios altos, pontes e barragens dependem dessa resistência para garantir durabilidade e integridade estrutural (Neville, 1997).

Além disso, a resistência à compressão é diretamente influenciada pela composição do concreto, como o tipo e a proporção de cimento, a relação água/cimento e a qualidade dos

agregados. Concretos de alta resistência foram desenvolvidos com aditivos e materiais suplementares, como sílica ativa e cinzas volantes, para aumentar sua capacidade de resistir a esforços compressivos e prolongar a vida útil das estruturas (John, 2000).

A adição de resíduos na formulação do concreto é uma prática que visa melhorar suas propriedades mecânicas e reduzir o impacto ambiental da construção civil. Essa abordagem não apenas contribui para a sustentabilidade ao promover a reciclagem de materiais, mas também pode resultar em concretos com desempenho aprimorado. A incorporação de resíduos no concreto pode resultar em benefícios significativos, como a redução do consumo de recursos naturais, a diminuição do custo de materiais e a promoção de uma abordagem mais sustentável na construção civil. No entanto, existem desafios associados, como a variabilidade das propriedades dos resíduos e a necessidade de garantir a conformidade com as normas de segurança e desempenho (Juntai et al., 2015).

Com o descarte de milhares de máscaras diariamente em todo o país, o impacto ambiental do lixo gerado para proteção contra a Covid-19 já é evidente. De acordo com o Instituto Akatu, uma ONG dedicada ao consumo consciente, mais de 12 bilhões de máscaras foram descartadas desde o início da pandemia. O tempo de suspensão dessas máscaras pode chegar a até 500 anos, dependendo do material, e o descarte inadequado não apenas prejudica o meio ambiente, mas também pode contribuir para a proteção do vírus. Conforme o estudo "Atlas do Plástico", realizado pelo Instituto Lixo Zero, houve uma diminuição do nível na produção de lixo no início da pandemia, do isolamento e da redução do poder aquisitivo de parte da população. No entanto, essa tendência foi seguida por um aumento na geração de resíduos sólidos, com destaque para o crescimento do lixo hospitalar (CNN, 2021).

A incorporação de máscaras cirúrgicas descartáveis na constituição do concreto traz desafios em sua utilização, no entanto, benefícios relacionados às problemáticas ambientais que precisam ser consideradas. A análise de sua aplicabilidade na área da engenharia civil como resíduo é uma das possíveis formas de aproveitamento e destinação desse tipo de resíduo. As máscaras descartáveis têm polipropileno na sua constituição, e tem um tempo de decomposição em torno de 25 anos para se decompor reafirmando o alto grau do impacto ambiental que esse resíduo pode gerar.

Dessa forma, o presente estudo teve o objetivo de fornecer uma alternativa para o destino final dessas máscaras que após a pandemia do COVID-19 gerou uma quantidade alarmante de resíduos ao meio ambiente. Assim, propõe-se a incorporação desse resíduo no concreto e a avaliação de sua viabilidade com relação às questões técnicas avaliando as suas propriedades mecânicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar e comparar as propriedades mecânicas do concreto produzido com adição de hidrocarvão oriundo de máscaras cirúrgicas descartáveis.

3.2 Objetivos específicos

- Sintetizar o hidrocarvão a partir de máscaras cirúrgicas descartáveis.
- Analisar a trabalhabilidade do concreto produzido com e sem resíduo.
- Avaliar a influência da incorporação de hidrocarvão na resistência à compressão e à tração diametral do concreto.

5 REVISÃO TEÓRICA

5.1 Aplicação do concreto na construção civil

O concreto é um material compósito amplamente utilizado na construção civil, composto principalmente por cimento, agregados (miúdos e graúdos) e água. O cimento atua como ligante, e, quando misturado à água, desencadeia uma reação química de hidratação que resulta no endurecimento da mistura e na obtenção de uma estrutura resistente. Com o tempo, essa reação transforma o concreto em um material sólido com alta resistência à compressão (Neville, 2016).

O concreto é o segundo insumo mais utilizados na construção civil, ficando atrás apenas da água e possui, de acordo com Jofege (2021) duas principais funções: servir como uma base para elemento estrutural e também garantir proteção. Tendo isso, podemos citar, como principais aplicações:

- Estruturas de edificações: o concreto é utilizado na construção de elementos estruturais como fundações, pilares, vigas e lajes. Sua capacidade de resistir a altas cargas compressivas o torna ideal para suportar o peso de edificações, tanto em construções residenciais quanto comerciais (Mehta; Monteiro, 2014).
- Infraestruturas de Transporte: na construção de rodovias, pontes e viadutos, o concreto desempenha papel crucial devido à sua durabilidade e resistência a condições ambientais adversas e cargas de tráfego intensas. O concreto armado, em particular, é utilizado em pontes e viadutos, onde sua resistência à tração é melhorada com o uso de aço (Neville, 2016);
- Barragens e obras hidráulicas: De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o concreto é amplamente utilizado na construção de barragens e reservatórios, devido à sua capacidade de moldagem e resistência à água. Barragens de concreto podem ser projetadas para resistir à pressão da água e à erosão, além de garantir a segurança em obras de grande porte, como usinas hidrelétricas. Essas e outras aplicações tornam o concreto um material versátil e fundamental na construção civil, capaz de atender desde obras simples até grandes empreendimentos.

5.2 Características do concreto

As principais características do concreto estão relacionadas à sua capacidade de atender diversas exigências estruturais e de durabilidade, variando conforme a composição e o uso dos materiais na mistura.

A resistência à compressão é a característica mais importante do concreto, definida como a capacidade do material de suportar cargas que tendem a esmagá-lo. Essa resistência varia conforme a proporção dos materiais, a cura e a idade do concreto. Em termos práticos, quanto maior a resistência à compressão, mais cargas o concreto pode suportar (Mehta; Monteiro, 2014). Normalmente, essa resistência é determinada em ensaios laboratoriais com corpos de prova cilíndricos segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são de Estruturas Características do Concreto ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

A durabilidade do concreto refere-se à sua capacidade de resistir a ações químicas, físicas e mecânicas que possam degradá-lo ao longo do tempo. Um concreto durável deve manter sua integridade estrutural e funcionalidade, mesmo quando exposto a ambientes agressivos, como ciclos de congelamento e descongelamento, ação de sais e produtos químicos, além de carbonatação e ataque por sulfatos (Helene; Pereira, 2007). Durabilidade resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente em que está inserido, e as condições de uso, operação e manutenção. Assim, não pode ser considerada uma característica intrínseca ou própria do concreto, da armadura ou da estrutura em si. Uma mesma estrutura pode apresentar diferentes comportamentos ao longo do tempo, ou seja, ter variações em sua durabilidade conforme suas diferentes partes e o modo como é utilizado (Helene et al, 2011).

A trabalhabilidade é uma medida da facilidade com que o concreto fresco pode ser misturado, transportado, moldado e compactado sem segregar. Ela depende da proporção de água na mistura, do tamanho dos agregados e da utilização de aditivos plastificantes. Um concreto com boa trabalhabilidade deve preencher bem as fôrmas e permitir o uso eficiente de vibradores e outros dispositivos de compactação (Neville, 2016). De acordo com Tecnomor (2024), a trabalhabilidade é essencial para diversos aspectos do concreto, entre eles: facilidade de adensamento; redução da possibilidade de falhas; melhoria da qualidade da superfície; aumento da durabilidade, entre outras.

A impermeabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua porosidade. Concretos mais densos e com menos vazios são mais impermeáveis, o que aumenta sua

resistência à penetração de líquidos e gases. Concreto impermeável é especialmente importante em obras de barragens, reservatórios e estruturas de fundação, onde a entrada de água pode comprometer a integridade da obra ao longo do tempo (Mehta; Monteiro, 2014). O principal objetivo da impermeabilização do concreto é proteger o material e garantir sua durabilidade. Quando realizada de forma adequada, ela previne os efeitos da infiltração, mantendo o concreto resistente. A umidade é um dos principais fatores que comprometem o concreto e, conseqüentemente, podem afetar toda a estrutura da construção. A impermeabilização eficaz assegura a longevidade da edificação e evita danos que podem ser irreversíveis (Piramidesc, 2021).

O módulo de elasticidade do concreto mede sua rigidez, ou seja, a relação entre a tensão aplicada e a deformação resultante. Ele é importante em estruturas que precisam controlar deformações e deslocamentos, como edifícios altos e pontes. O valor do módulo de elasticidade depende, principalmente, do tipo de agregados utilizados e da resistência do concreto (Brandão, 2018). O módulo de elasticidade do concreto é um dos parâmetros fundamentais nos cálculos estruturais, que estabelece a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea resultante, conforme definido pela NBR 8522 (Concreto - Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama Tensão x Deformação - Método de Ensaio). Esse parâmetro oferece uma compreensão mais precisa do comportamento da estrutura, influenciando decisões sobre desfôrma e outras propriedades desejadas do concreto.

5.3 Aditivos no concreto

Os aditivos são substâncias adicionadas ao concreto em pequenas quantidades, normalmente menores que 5% em relação à massa do cimento, para modificar suas propriedades no estado fresco ou endurecido. O uso de aditivos permite otimizar o desempenho do concreto, tornando-o mais versátil em diversas aplicações na construção civil. A aplicação de aditivos é regida pela norma NBR 11768, que classifica e define os principais tipos utilizados na construção civil.

Segundo o site Tecnosil (2024), os aditivos são incorporados à mistura de cimento, água, areia e brita para conferir características especiais ao concreto. Essas substâncias modificam as propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido, sendo utilizadas para potencializar as qualidades e reduzir as limitações da mistura. Os principais objetivos dos aditivos no concreto são:

- Melhorar as propriedades do concreto;

- Reduzir suas limitações;
- Aumentar a plasticidade da mistura;
- Diminuir o consumo de cimento, reduzindo o custo;
- Acelerar ou retardar o tempo de pega [período que o material leva para passar do estado fluido (ou plástico) ao estado endurecido, regulado pela NBR 16605:2017];
- Minimizar a retração (fenômeno de redução de volume que ocorre no material ao longo do tempo, geralmente durante o processo de cura e endurecimento. Esse fenômeno acontece devido à perda de água pela evaporação ou pela reação de hidratação do cimento.);
- Aumentar a durabilidade do concreto.

5.4 Tipos de aditivos no concreto

De acordo com suas funções, os aditivos são classificados em diferentes tipos, conforme a NBR 11768 (Aditivos para Concreto de Cimento Portland):

5.4.1 Plastificantes e Superplastificantes

Também conhecidos como redutores de água de alto alcance, são incorporados à mistura do concreto para reduzir a quantidade de água necessária, o que resulta em maior resistência e fluidez do material. A adição excessiva de água ao concreto compromete sua resistência, podendo levar à formação de fissuras durante o processo de resistência da estrutura. Esses aditivos contêm poli carboxilatos, que são moléculas poliméricas que transmitem benefícios, atraem pelas partículas de cimento, que possuem carga positiva. Essa interação proporciona uma fluidez superior ao concreto, mantendo ou até evitando a quantidade de água utilizada na mistura (Tecnosil, 2024).

5.4.2 Aceleradores de Pega

O aditivo acelerador de pega é um componente que tem a função de reduzir o tempo de início de pega do concreto. Esse tipo de aditivo é especialmente útil em condições climáticas

mais frias, já que, abaixo de 15°C, o cimento tende a ter seu ganho de resistência inicial retardado, devido à menor liberação do calor de hidratação, responsável pelo endurecimento do material. Quando incorporado à mistura, o aditivo acelerador atua quimicamente para evitar o atraso na cura do concreto, agilizando o processo produtivo ao permitir a desforma mais rápida e evitando a quebra de peças durante a paletização. O uso desse aditivo é recomendado para a indústria de pré-moldados, concretos projetados, concretos armados e reforçados, pisos de concreto e em obras que demandam rápida liberação. De modo geral, o acelerador de pega pode ser utilizado com qualquer tipo de cimento Portland (Tecno-mor, 2024).

5.4.3 Retardadores de pega

De acordo com Diprotec (2024): Os aditivos retardadores prolongam o tempo de transição do concreto do estado plástico para o estado endurecido. Eles são especialmente úteis em climas quentes, onde a alta temperatura acelera o tempo normal de pega, e também na prevenção de juntas frias entre camadas sucessivas de concreto. Além disso, o retardo no endurecimento permite obter acabamentos superficiais diferenciados. Esses aditivos são geralmente usados na proporção de 0,2 a 1% sobre o peso do cimento, conforme ensaios realizados previamente. A ação do aditivo retardador no controle do calor de hidratação é direta: evitar que o concreto atinja temperaturas elevadas, uma das principais causas de fissuras, problemas de impermeabilidade, perda de resistência e baixa durabilidade. Ao retardar o início da pega, o calor de hidratação é distribuído de maneira mais uniforme, proporcionando um processo de cura mais controlado. É importante realizar uma avaliação inicial da dosagem do aditivo e manter um controle rigoroso durante o processo de aplicação.

5.4.4 Aditivos Impermeabilizantes

São formulados para reduzir a porosidade do concreto, tornando-o menos permeável à água e agentes agressivos, como cloretos e sulfatos. Esses aditivos são essenciais em obras de infraestrutura sujeitas à exposição constante à água, como fundações, reservatórios e barragens. A impermeabilização é fundamental para garantir a durabilidade da estrutura, minimizando o

risco de deterioração precoce (Malhotra, 1994). A escolha do tipo de impermeabilizante deve considerar o local onde o produto será aplicado. Fatores como o ambiente (interno ou externo) e grandes variações de temperatura são cruciais nesse processo de decisão, uma vez que os produtos são formulados para atender às características específicas dessas condições.

O uso de aditivos no concreto traz diversas vantagens, como: melhoria nas propriedades mecânicas, já que o concreto pode ganhar maior resistência, tanto no estado fresco quanto endurecido, devido à otimização da mistura proporcionada pelos aditivos; redução do consumo de água: a utilização de plastificantes e superplastificantes permite a obtenção de concretos mais resistentes e duráveis com menor quantidade de água; maior durabilidade: a impermeabilização e a redução da retração aumentam a durabilidade do concreto em ambientes agressivos, além da facilidade de manuseio e aplicação: A trabalhabilidade é significativamente melhorada, facilitando a execução das obras e garantindo maior qualidade no acabamento final.

5.5 Adição de resíduos no concreto e a sustentabilidade

Sustentabilidade, como bem coloca Moura (2011), é um conceito que abrange a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade. Seu objetivo é organizar as atividades humanas de modo que a sociedade, suas economias e seus membros possam atender suas necessidades e alcançar seu potencial máximo no presente, enquanto preservam a biodiversidade e os ecossistemas naturais. Isso envolve planejar e agir de forma a garantir a eficiência necessária para a manutenção duradoura desses princípios.

Em termos simples, sustentabilidade significa proporcionar o melhor para as pessoas e o meio ambiente, tanto agora quanto no futuro. De acordo com o Relatório de Brundtland (1991), sustentabilidade é "suprir as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades".

Nesse contexto, é possível encontrar na literatura trabalhos que investigaram a adição de resíduos no concreto, e que a utilização desses materiais reciclados reflete um compromisso crescente com práticas sustentáveis na construção civil. A incorporação de resíduos, como fragmentos de concreto, cinzas volantes e escória de alto-forno, visa não apenas a redução do impacto ambiental, mas também a otimização dos recursos e a melhoria das propriedades do concreto. Estes estudos demonstram como a integração de subprodutos industriais e resíduos pode contribuir para a sustentabilidade, oferecendo soluções eficazes para o reaproveitamento

de materiais e a minimização de resíduos, alinhando-se com os princípios da economia circular e o desenvolvimento sustentável.

Com o intuito de tornar os blocos de concreto mais resistentes de maneira ecológica, de Rezende et al (2023) empregaram fibras de coco e resíduos de mineração da rocha quartzito, conhecida popularmente como "Pedra São Tomé". Os resultados mostraram que substituir parcialmente a areia por resíduos de mineração e adicionar fibras de coco pode aprimorar certas propriedades dos blocos de concreto, tornando o processo de produção mais eficiente e sustentável.

Reec (2018) explorou o potencial da substituição parcial dos agregados miúdos por cinza pesada proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar e dos agregados graúdos por resíduos de construção civil na produção de concretos. O estudo inclui a caracterização dos materiais e a análise dos efeitos dessas substituições em diferentes traços de concreto.

Junkes & Herth (2023) avaliaram a qualidade de blocos de concreto para pavimentação produzidos com a adição de resíduos reciclados da construção civil (concreto e gesso) e da indústria química (lodo de curtume). Os resultados mostraram que, embora os blocos de concreto fabricados com esses resíduos, substituindo o pó de pedra e a areia, não apresentassem ganhos significativos na resistência mecânica à compressão e à tração na flexão em comparação com blocos fabricados com matéria-prima padrão, eles ainda atendiam aos requisitos das normas técnicas brasileiras e internacionais, apesar da redução na resistência.

O estudo da adição de resíduo cerâmico no concreto (Mariano et al, 2021) avaliou a influência da adição de resíduos de caco de cerâmica como agregados nas propriedades mecânicas de diferentes traços de concreto com cimento Portland. Esses resíduos foram utilizados na substituição do agregado miúdo, a areia. Os resultados mostraram que a incorporação de caco de cerâmica aumentou a resistência mecânica do concreto produzido. Além disso, observou-se que o caco de cerâmica antecipou o início da pega do cimento, revelando-se uma alternativa viável e sustentável para o reaproveitamento de resíduos industriais em grande escala.

Embora a adição de resíduos no concreto seja uma prática promissora, alguns desafios ainda precisam ser enfrentados, como a variação nas propriedades dos resíduos, a adequação das normas técnicas e a necessidade de mais estudos sobre o desempenho a longo prazo dos concretos com resíduos. A sustentabilidade depende de um equilíbrio entre o desempenho técnico e os benefícios ambientais.

Para aprofundar a análise dos efeitos desse resíduo, os resultados obtidos foram comparados, também, com outro estudo (Alberto Junior, 2024), no qual as máscaras foram

apenas recortadas manualmente, sem nenhum tratamento de trituração. Essa comparação permite avaliar se o processo de fragmentação mecânica das máscaras — que preserva as fibras poliméricas de polipropileno em escala reduzida e melhora sua dispersão na matriz cimentícia — tem influência significativa nas propriedades mecânicas do concreto. Ao observar os resultados de ambos os estudos, será possível verificar se o tratamento prévio do resíduo contribui de fato para o ganho de desempenho, especialmente quanto às resistências à compressão e à tração, ou se a simples inclusão do material, independentemente do processamento, já promove alterações relevantes no compósito.

5.6 COVID – 19 e a geração de resíduos

Em 2022, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPA) publicou um artigo no qual enfatiza a enorme quantidade de resíduos de serviços de saúde para COVID-19 e expõem a necessidade urgente de melhorar sistemas de gerenciamento de resíduos. O relatório revela que mais de 140 milhões de kits de teste foram distribuídos para atender às necessidades urgentes de resposta à COVID-19, resultando em aproximadamente 2,6 mil toneladas de resíduos não infecciosos, predominantemente plásticos, e 731 mil litros de resíduos químicos — o que corresponde a cerca de um terço do volume de uma piscina olímpica. Além disso, a administração global de mais de 8 bilhões de doses de vacina gerou 144 mil toneladas de resíduos adicionais, incluindo seringas, agulhas e caixas de segurança. Enquanto a ONU e os países concentravam seus esforços na tarefa urgente de garantir a qualidade e o fornecimento de EPIs, menos atenção e recursos foram destinados ao manejo seguro e sustentável dos resíduos de saúde gerados pela COVID-19.

5.7 Máscaras cirúrgicas e a pandemia da COVID – 19

As máscaras médicas aplicadas são principalmente compostas de polipropileno, um material micro plástico que contribui para a poluição ambiental. Durante o processo de intemperismo e manipulação, uma única máscara pretendida pode liberar aproximadamente 1,5 milhão de partículas micro plásticas. O polipropileno presente nessas máscaras leva mais de 25 anos para se decompor. Em janeiro de 2020, o Ministério da Ecologia e Meio Ambiente da China respondeu à poluição plástica publicando diretrizes que enfatizam que a produção eficiente, o uso e o descarte de produtos plásticos podem sobrecarregar ainda mais os recursos naturais e o meio ambiente.

De acordo com a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), estima-se que apenas 9% dos resíduos plásticos sejam reciclados, 12% em sejam cinerados e 79% se acumulem em aterros sanitários ou no meio ambiente. Prevê-se que, até 2050, aproximadamente 12.000 toneladas de resíduos plásticos entrarão no meio natural. Com o aumento da conscientização pública sobre a prevenção de vírus, o uso de máscaras aumentou significativamente, resultando em poluição substancial por partículas plásticas no meio ambiente.

A composição das máscaras consiste principalmente em fibras de polipropileno (PP), dispostas em três camadas: a camada externa é tratada para impermeabilização, a camada interna é tratada para hidrofiliabilidade, absorvendo a umidade do usuário, a camada intermediária é feita de tecido não tecido fundido, projetado para filtrar gotículas, partículas ou bactérias.

Atualmente, existe uma lacuna significativa na pesquisa sobre a aplicação de fibras de máscaras descartadas (DM) na engenharia civil. Embora existam estudos que exploram as propriedades mecânicas e a durabilidade de materiais compostos modificados com fibras de máscara descartadas (DMF) na engenharia civil, as instruções não foram consistentes em relação a diferentes aplicações. (JIANG et al, 2023)

Segundo a ABNT NBR 15052, o material de revestimento ideal deve ser um não tecido composto por, no mínimo, três camadas: o filtro, uma camada externa e uma interna, sendo indicado para aplicações odontológicas, médicas e hospitalares. Dessa forma, nem todo tipo de não tecido atende a esses requisitos.

Um estudo parecido com esse avaliou o impacto da adição de máscaras descartáveis ao concreto, com as mesmas sendo apenas recortadas manualmente, analisando propriedades no estado fresco e endurecido aos 7 e 28 dias. O concreto com adição apresentou resistências à compressão de 24,8 MPa e 28,8 MPa, e resistências à tração por compressão diametral de 2,6 MPa e 2,7 MPa, ligeiramente inferiores ao concreto referência, mas ainda dentro da resistência estimada, demonstrando viabilidade para aplicações futuras e reforçando o potencial sustentável dessa prática (Alberto Junior, 2024).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo foi estruturada em etapas sequenciais, abrangendo desde a obtenção do hidrocarvão a partir de máscaras cirúrgicas descartáveis até a moldagem e cura dos corpos de prova de concreto. Inicialmente, realizou-se a preparação do material residual por meio de reação hidrotérmica, seguida de moagem e caracterização. Posteriormente, foram selecionados e caracterizados os materiais convencionais do concreto (cimento, água, agregados miúdos e graúdos), incluindo a determinação de propriedades como granulometria, módulo de finura, diâmetro máximo e massa específica. Em seguida, procedeu-se à dosagem do concreto referência e do concreto com adição de 4% de hidrocarvão, considerando as etapas de mistura, moldagem, adensamento e cura. Por fim, realizaram-se ensaios no estado fresco (abatimento) e no estado endurecido (resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral) aos 7 e 28 dias, conforme normas da ABNT.

6.1 Obtenção do hidrocarvão

A obtenção do hidrocarvão a partir de máscaras cirúrgicas descartáveis seguiu cinco etapas básicas: coleta, preparação, reação hidrotérmica, resfriamento e filtragem, além da obtenção final.

6.1.1 Coleta de máscaras recicláveis

O primeiro passo consistiu na coleta de máscaras descartáveis utilizadas, preferencialmente feitas de polipropileno. As máscaras foram adquiridas no mercado local, novas, para garantir que foram previamente limpas e desinfetadas para remoção de possíveis contaminantes superficiais que pudessem interferir no processo experimental.

6.1.2 Preparação da amostra

Após a coleta, 1,5 g das máscaras foram pesadas, como mostrado na Figura 1a, e misturadas com 40 mL de água destilada. Essa mistura foi transferida para um mini reator de aço inoxidável, conforme Figura 1b, garantindo que o recipiente estivesse devidamente vedado para suportar as condições de temperatura e pressão. A carbonização hidrotérmica tem sido utilizada como rota eficaz para conversão de resíduos plásticos e biomassa em hidrocarbonos

funcionais, utilizando reatores fechados sob condições moderadas de temperatura e pressão (Zhang et al., 2021).

Figura 1 - (a) Pesagem das máscaras e (b) preparo dos reatores



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 2 - (a) Preparação da amostra e (b) Adicionando no mini reator



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.1.3 Reação hidrotérmica

O mini reator contendo a mistura foi colocado dentro de uma estufa de laboratório, previamente aquecida a uma temperatura de 180 °C. O reator permaneceu na estufa por um período de 5 horas, para garantir que a conversão hidrotérmica ocorra de forma completa.

6.1.4 Resfriamento e filtragem

Após o tempo de reação, o mini reator foi retirado da estufa e imerso em banho com água fria, como mostrado na Figura 3, para resfriamento controlado. O reator é então aberto cuidadosamente, e a mistura é filtrada para separar a água residual do produto sólido.

Figura 3 - Banho-maria nos reatores



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.1.5 Obtenção do Hidrocarvão

O sólido resultante da filtragem é o hidrocarvão, Figura 4a, que foi utilizado como material experimental nas etapas subsequentes. O hidrocarvão é seco e caracterizado conforme os parâmetros definidos para o estudo (Figura 4b). Após isso, foi realizada a moagem do hidrocarvão utilizando um moinho de facas, equipamento amplamente utilizado em laboratórios para a fragmentação de materiais sólidos secos. Esse processo teve como objetivo reduzir o tamanho das partículas obtidas após o tratamento térmico das máscaras, promovendo uma granulometria fina e homogênea, adequada à incorporação na matriz cimentícia.

Figura 4 - (a) Obtenção e (b) secagem do hidrocarvão



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.2 Características dos materiais

6.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP V ARI de alta resistência, apresentado na Figura 5a, que se destaca por sua elevada resistência inicial e final, oferecendo desempenho superior em comparação aos cimentos convencionais. Sua formulação proporcionou maior durabilidade e resistência a sulfatos, tornando-o ideal para ambientes agressivos, como obras de saneamento, sistemas de esgoto e áreas marinhas. Além disso, apresentou um tempo de pega semelhante ao do CP II E- 40, permitindo uma rápida desforma e agilizando o andamento de grandes construções. O cimento que vai ser utilizado é então pesado, de acordo com a necessidade do traço, Figura 5b.

Figura 5 - (a) Cimento utilizado no experimento e (b) Pesagem



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.2.2 Água

A água desempenha um papel essencial na formação do concreto, influenciando suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Sua pureza é crucial, pois impurezas como óleos, sais, álcalis ou materiais orgânicos podem comprometer a resistência e durabilidade do concreto. A relação água/cimento (w/c) também é determinante, já que uma baixa relação resulta em maior resistência, enquanto uma quantidade excessiva de água pode aumentar a porosidade e reduzir a resistência. Além disso, assim como menciona Oliveira (2020), a água tem a função de hidratar o cimento, permitindo que ele una os outros componentes, conferindo ao concreto suas propriedades de resistência e durabilidade. Ainda, a água também contribui para a trabalhabilidade do material, facilitando seu manuseio e aplicação. Portanto, o controle da qualidade e quantidade de água na mistura e na cura é fundamental para garantir a resistência e durabilidade do concreto.

6.2.3 Agregados Miúdos

Em relação às características dos agregados miúdos, foi utilizado areia lavada de rio, tomando todo um cuidado na seleção, já que o material pode ser reativo e causar processos de deterioração das estruturas. A areia lavada de rio oferece diversos benefícios na produção de

concreto e na construção. Por ser limpa e livre de impurezas, como argila, silte e materiais orgânicos, ela melhora a qualidade do concreto, aumentando sua resistência e durabilidade.

Sua granulometria adequada contribui para uma boa distribuição dos grãos, o que resulta em uma mistura mais homogênea e melhor trabalhabilidade. Além disso, a ausência de contaminantes previne reações indesejadas que poderiam comprometer o desempenho estrutural do concreto ao longo do tempo.

A areia lavada também proporciona uma melhor aderência entre o cimento e os agregados, o que favorece a coesão da mistura e aumenta a resistência mecânica do material. Na construção, seu uso garante maior estabilidade e integridade das obras, sendo amplamente empregada em projetos de diferentes escalas. A areia utilizada foi previamente peneirada, Figura 6a e pesada, como mostrada na Figura 6b.

Figura 6 - (a) Peneiramento e (b) Pesagem dos agregados miúdos



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.2.4 Agregados Graúdos

No que diz respeito aos agregados graúdos, neste presente trabalho, foi escolhido com seleção adequada o uso de pedra britada. A pedra britada trouxe diversos benefícios na produção do concreto e na construção em geral. Ela foi um agregado graúdo que contribuirá para a resistência mecânica do concreto, proporcionando uma estrutura mais sólida e durável. Devido à sua forma angular e rugosa, a pedra britada ofereceu melhor aderência ao cimento, resultando em uma mistura mais coesa e resistente. Além disso, sua variedade de tamanhos permitiu ajustar a granulometria da mistura, o que favoreceu a trabalhabilidade e reduziu a quantidade de vazios no concreto, aumentando sua densidade e diminuindo a necessidade de

cimento. Na construção, a pedra britada melhorará a resistência à compressão e a durabilidade das estruturas, sendo amplamente utilizada em obras de grande porte, como pavimentações, fundações e edificações. Sua alta resistência a cargas pesadas também contribuirá para a estabilidade das obras, tornando-a um material essencial para projetos de infraestrutura e construção civil. A pedra britada foi retirada de um ambiente em que a armazenava, no próprio local do experimento, Figura 7a. Após isso, foi feita a pesagem dos agregados graúdos de acordo com o necessário para o traço que foi utilizado, ilustrado na Figura 7b.

Figura 7 - (a) Captação e (b) Pesagem dos agregados graúdos



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.2.5 Ensaio de granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado de acordo com a NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, por peneiramento em série, utilizando peneiras com aberturas padronizadas. Para o agregado miúdo, foi utilizada a sequência de peneiras de 4,75 mm até 0,15 mm, enquanto para o agregado graúdo, foram utilizadas peneiras de 19 mm até 4,75 mm. As massas retidas foram pesadas individualmente e expressas em gramas (g), permitindo a construção da curva granulométrica e a determinação do módulo de finura (MF), conforme método prescrito pela norma.

6.2.6 Determinação do Módulo de Finura (MF)

O módulo de finura (MF) foi calculado conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 7211:2022 – Agregados para concreto – Especificação. O MF é obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras padronizadas e dividida por 100, sendo um indicador da graduação do agregado miúdo. Este parâmetro influencia diretamente a trabalhabilidade e a relação água/cimento da mistura.

6.2.7 Determinação do Diâmetro Máximo (D_{máx})

O diâmetro máximo do agregado graúdo foi obtido de acordo com os conceitos definidos na ABNT NBR 7211:2022, sendo entendido como a maior abertura de peneira que retém uma fração significativa da massa total (geralmente mais de 10%). Este parâmetro afeta diretamente o empacotamento do concreto e seu comportamento mecânico.

6.2.8 Determinação da Massa Específica

A massa específica do agregado miúdo foi determinada pelo método de Chapman, segundo a ABNT NBR 9776:1987 – Determinação da densidade real e absorção de água de agregados miúdos. O procedimento consiste na utilização de um frasco volumétrico e água destilada para calcular a massa específica por meio do volume de água deslocado.

Para o agregado graúdo, a massa específica foi determinada pelo método de deslocamento de volume em um recipiente com água, semelhante ao prescrito na ABNT NBR NM 52:2009 – Determinação da massa específica de agregados graúdos (massa específica aparente, massa específica real e absorção de água). Foi inicialmente utilizado 500 mL de água e a brita foi adicionada até o volume atingir 850 mL. Com a diferença de volume e a massa adicionada (obtida pela balança), foi possível calcular a densidade do material.

6.2 Dosagem do concreto referência e com adição do hidrocarvão

Para a dosagem do concreto, foi adotado o traço 1:1,95:2,51:0,5 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), com fck estimado em 30 MPa aos 28 dias. Esse traço foi

escolhido tendo em vista outros estudos que também o utilizaram, permitindo a comparação direta dos resultados obtidos neste trabalho com pesquisas anteriores que adotaram a mesma proporção de materiais. Foram preparadas duas amostras: uma de concreto sem adição do resíduo (concreto de referência - CR) e outra com adição do resíduo (CLC), exposto na Figura 8. Embora o traço seja mantido igual para ambas as amostras, no concreto CLC foi incorporado o hidrocarvão, em relação à massa de cimento. Segundo Siddique (2010), a incorporação de materiais carbonizados no concreto exige um equilíbrio cuidadoso, pois sua elevada área superficial e capacidade de absorção podem influenciar drasticamente a fluidez da mistura.

Figura 8 - Hidrocarvão triturado



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.3 Preparo e moldagem do concreto

O concreto foi preparado na betoneira, Figura 9a, conforme a ABNT NBR 7212:2021; Os materiais foram organizados próximos à betoneira, Figura 9b.

Figura 9 - (a) Betoneira e (b) Materiais utilizados no ensaio



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- a. Inicialmente, realizou-se a lavagem da betoneira com uma pequena quantidade de água, com o objetivo de evitar que parte da água de amassamento fosse absorvida pelas paredes do equipamento, o que comprometeria a relação água/cimento (a/c).

Figura 10 - Hidratação da betoneira



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- b. Em seguida, adicionou-se aproximadamente 50% da água total de amassamento, garantindo a umidificação das paredes internas e o início da hidratação dos materiais.
- c. Logo após, foi introduzida toda a brita, permitindo que ela fosse umedecida parcialmente, favorecendo uma melhor aderência dos

demais materiais.

- d. Na sequência, incorporou-se a areia à mistura, promovendo a formação de uma base granulométrica uniforme. Adicionou-se o cimento, possibilitando a formação de uma argamassa envolvente sobre os agregados.
- e. Por fim, o processo foi concluído com a adição da outra metade da água de amassamento, a qual foi incorporada gradualmente até que se obtivesse uma mistura com consistência homogênea e adequada para a moldagem dos corpos de prova, como foi evidenciado nas Figuras 11a e 11b.

Figura 11 - (a) Adição de todos os materiais e (b) mistura



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- f. A mistura permaneceu na betoneira por aproximadamente 5 minutos, tempo suficiente para garantir uma homogeneização completa dos materiais. Após esse processo, a consistência do concreto foi avaliada visualmente, de modo que apresentasse uma boa trabalhabilidade, sem segregação dos materiais. No fim, foi separado o concreto referência em uma padiola, exibido na Figura 12, e feita a adição do hidrocarvão (4% em relação a massa do cimento) na outra metade de concreto

produzido, Figura 13.

Figura 12 - Concreto padrão



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 13 - Concreto com adição de hidrocarvão



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- g. Moldado e adensado de acordo com a ABNT NBR 5738:2016; Para a moldagem dos corpos de prova, os moldes cilíndricos foram previamente separados e limpos, mostrado na Figura 14a, e devidamente lubrificados com desmoldante, Figura 14b, a fim de facilitar a retirada posterior.

Figura 14 - (a) Corpos de prova utilizados e (b) Aplicação do desmoldante



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- h. O adensamento de cada camada foi realizado com o auxílio de um vibrador mecânico de imersão, assegurando a eliminação de vazios e proporcionando uma compactação adequada do concreto, retratado nas Figuras 15a e 15b. Após o preenchimento total dos moldes, a superfície dos corpos de prova foi nivelada com auxílio de uma colher de pedreiro.

Figura 15 - (a) Moldagem dos corpos de prova e (b) Adensamento com vibrador mecânico



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

- i. Para cada tipo de concreto, foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm, exibidos na Figura 16a e 16b, os mesmos permaneceram em ambiente protegido, durante as primeiras 24 horas. Vale ressaltar que os corpos de provas referência foram identificados (demarcados), assim como os com adição do hidrocarvão.

Figura 16a e 16b - Corpos de provas moldados e separados



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

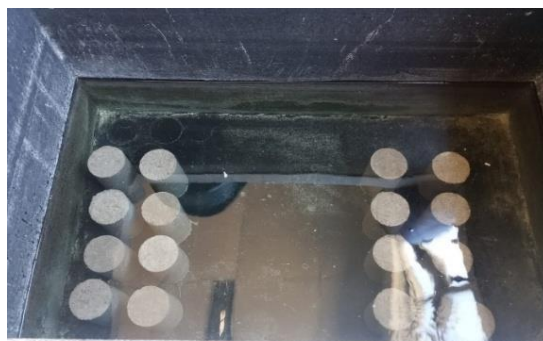
- j. Após esse período, foram desmoldados, Figura 17, e transferidos para um tanque de cura úmida, Figura 18, onde permaneceram submersos em água potável até os respectivos períodos de ensaio (7 e 28 dias).

Figura 17 - Corpos de prova desmoldados e identificados



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Figura 18 - Cura úmida dos corpos de prova em tanque com água



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.4 Testes experimentais

6.4.1 *Slump Test*

Após a preparação do concreto, foi determinada sua consistência no estado fresco por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), conforme a norma ABNT NBR 16889:2020, conforme ilustrado na Figura 19. O ensaio consistiu no preenchimento do molde cônico em três camadas de igual altura, aplicando-se 25 golpes uniformemente distribuídos em cada uma delas, utilizando um soquete metálico. Após o preenchimento completo, realizou-se o rasamento da superfície com uma régua metálica e, em seguida, a remoção vertical do molde, sem qualquer movimentação lateral. A medida do abatimento foi obtida como a diferença entre a altura original do molde e a altura final atingida pelo concreto após o colapso, apresentado na Figura 19.

Esse ensaio teve como objetivo avaliar a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco, por meio do seu assentamento vertical, permitindo verificar se a mistura apresentava fluidez adequada para o processo de moldagem e adensamento.

Figura 19 - Abatimento do concreto



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

6.4.2 Propriedades mecânicas

Para a avaliação das propriedades mecânicas do concreto, foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial e de resistência à tração por compressão diametral, conforme as normas ABNT NBR 5739:2018 e ABNT NBR 7222:2011, respectivamente. Os ensaios foram conduzidos em uma prensa hidráulica da marca Zhejiang Geotechnical Instrument Manufacturing Co., Ltd, com capacidade de carga de até 100 tf.

No ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova cilíndricos foram previamente retirados do tanque de cura e tiveram suas superfícies regularizadas, a fim de garantir uma boa uniformidade no contato entre o concreto e os pratos da prensa. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados axialmente entre os pratos da máquina, permitindo a aplicação da carga de forma centrada e uniforme até a ruptura.

O cálculo foi feito tendo como referência a norma ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, que, resumidamente, expõe que a resistência à compressão de um corpo de prova cilíndrico é obtida pela seguinte equação:

$$f_{cj} = \frac{F}{A}$$

Onde:

- f_{cj} : tensão de compressão (MPa)
- F : carga máxima aplicada pela prensa (N)
- A : área da base do corpo de prova (mm²) $\longrightarrow A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova foram inicialmente medidos e, em seguida, posicionados na posição horizontal sobre os pratos da prensa, de modo que a carga fosse aplicada ao longo do diâmetro longitudinal dos corpos, conforme prescrito pela norma. Esse ensaio tem por objetivo induzir a ruptura por tração a partir da aplicação de uma força compressiva diametral.

O cálculo foi feito tendo como referência a norma ABNT NBR 7222:2011 – Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos., que, de maneira resumida, expõe que a resistência à tração de um corpo de prova cilíndrico é obtida pela seguinte equação:

$$f_{td} = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Onde:

- F_{td} : tensão de tração por compressão diametral (MPa)
- F : carga máxima aplicada (N)
- d : diâmetro do corpo de prova (mm)
- l : altura (ou comprimento) do corpo de prova (mm)

Os testes de resistência à compressão foram realizados em corpos de prova com 7 e 28 dias de idade. Da mesma forma, o ensaio de tração por compressão diametral também foi aplicado em corpos de prova moldados para as idades de 7 e 28 dias, permitindo a comparação da evolução da resistência mecânica ao longo do tempo.

Para a realização do ensaio, foram obtidas as medidas de todos os corpos de prova produzidos, tanto os padrões, quanto os com adição de hidrocarvão. O instrumento utilizado foi o paquímetro digital e foram medidos os diâmetros e alturas dos corpos de prova, retratado na Figura 20. Foram obtidos dois valores, fazendo a média dos mesmos, para que fosse possível obter uma precisão de medidas que se estende por todo o corpo de prova.

Figura 20 - Medição dos corpos de prova



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização dos materiais

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados graúdos e miúdos utilizados na composição do concreto.

Tabela 1 - Caracterização dos materiais

Características	Agregados miúdos	Agregados graúdos
Massa específica (g/cm ³)	2,56	2,62
Diâmetro máximo característico (mm)	2,36	19
Módulo de finura	2,5	2,87

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Observa-se que os agregados miúdos possuem uma massa específica de 2,56 g/cm³, enquanto os graúdos apresentam valor ligeiramente superior, 2,62 g/cm³. Esses valores estão dentro da faixa recomendada para agregados naturais segundo a ABNT NBR 7211:2023, o que indica adequada qualidade dos materiais para o uso em concreto.

Em relação ao diâmetro máximo (D_{máx}), os agregados graúdos possuem um valor de 19 mm, conforme esperado para britas do tipo 1 (ABNT NBR NM 248:2003), e os miúdos, 2,36 mm, que corresponde à peneira limite para classificação entre areia grossa e média, segundo a mesma norma.

O módulo de finura (MF) foi de 2,50 para os miúdos e 2,87 para os graúdos, estando ambos em conformidade com os intervalos típicos para cada tipo de material, conforme recomendações da ABNT NBR 7211:2023.

Esses resultados são fundamentais para o processo de dosagem do concreto, uma vez que influenciam diretamente na trabalhabilidade, na compacidade da mistura e no consumo de cimento. Dessa forma, a correta caracterização dos agregados garante maior controle e previsibilidade no desempenho mecânico e na durabilidade do concreto produzido.

7.2 Slump Test

Durante a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test), realizado conforme a ABNT NBR 16889:2020, observou-se que o concreto não apresentou qualquer deformação após a retirada do molde, caracterizando um abatimento nulo (slump zero). Esse resultado indica que o concreto possuía uma consistência muito seca ou extremamente rígida, o que pode estar relacionado a um baixo fator água/cimento, à granulometria inadequada dos agregados ou à presença de materiais porosos, como o hidrocarvão, que tendem a absorver parte da água disponível na mistura, reduzindo sua trabalhabilidade.

De acordo com a ABNT NBR 16889 (2020), o abatimento nulo pode ocorrer em concretos de consistência seca, os quais, embora não apresentem fluidez, podem ser viáveis em determinadas aplicações específicas, como pavimentos rígidos, blocos de concreto, barragens ou peças moldadas sob forte vibração. Nestes casos, é essencial que o adensamento seja realizado de forma eficiente, geralmente por meio de vibradores mecânicos de imersão, a fim de garantir a eliminação dos vazios e a homogeneização da massa.

Segundo Helene e Terzian (1992), a trabalhabilidade do concreto não está associada apenas à sua fluidez, mas sim à capacidade de ser moldado e adensado adequadamente sem segregações ou perda de homogeneidade. Assim, mesmo concretos com slump zero podem apresentar bom desempenho, desde que o processo de moldagem seja corretamente conduzido.

Portanto, a ausência de abatimento não indica, necessariamente, inadequação do concreto, mas sim uma característica da sua consistência, que deve ser compatível com a aplicação pretendida e devidamente compensada no processo executivo.

7.3 Resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão teve como objetivo avaliar a capacidade do concreto em resistir a esforços de compressão em seu estado endurecido. Foram obtidos resultados para os concretos referências e com adição de hidrocarvão para os testes de 7 e 28 dias de cura. A partir da carga máxima suportada no momento da falha, é possível calcular a resistência à compressão do concreto, conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 5739:2018 e são apresentados na Tabela 2.

A Tabela 2 mostra que o concreto de referência (CR) e o concreto com adição de hidrocarvão (CH) exibiram valores comparáveis de resistência à compressão nos dias 7 e 28 de cura. Aos 7 dias, o CR alcançou 19,5 MPa, ao passo que o CH registrou 19,0 MPa,

evidenciando uma diferença mínima de apenas 0,5 MPa. Esse resultado indica que o concreto manteve seu desempenho inicial mesmo com a adição do resíduo.

No 28º dia, que é o prazo determinado pela norma para avaliar o fck (resistência característica à compressão do concreto), o concreto de referência alcançou 22,9 MPa, enquanto o concreto com hidrocarvão exibiu 22,0 MPa. A diferença foi novamente sutil, de apenas 0,9 MPa, o que reforça a possibilidade de se usar o hidrocarvão como aditivo ao concreto sem afetar significativamente sua resistência mecânica.

Esses resultados indicam que o desempenho do concreto permanece estável, mesmo quando parte dele é substituída por um resíduo sólido urbano. Assim, é possível concluir que a adição de hidrocarvão em concretos pode ser vantajosa, pois mantém a resistência à compressão em níveis adequados e contribui para práticas sustentáveis na construção civil.

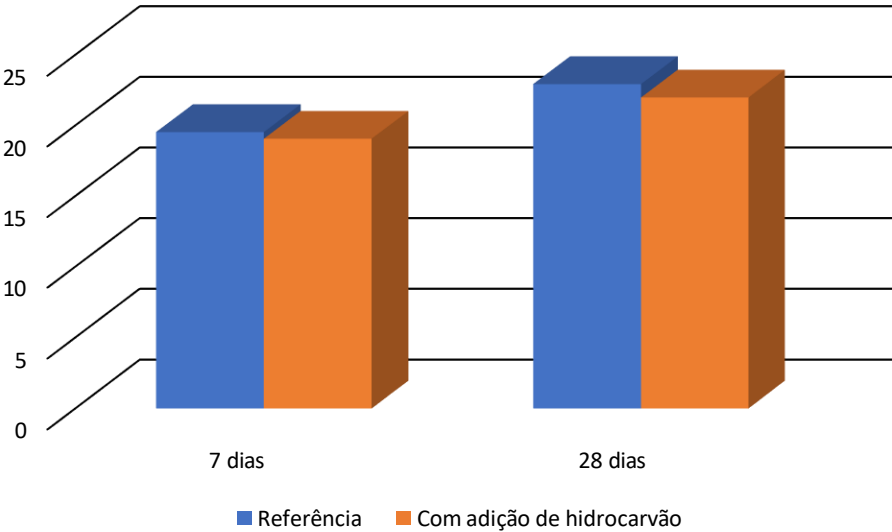
Tabela 2 - Resultados dos testes de resistência a compressão

Resistência a compressão (MPa)		
Tipo de concreto	7 dias	28 dias
Concreto referência (CR)	19,5	22,9
Concreto com adição de hidrocarvão (CH)	19,0	22,0

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A Figura 21 mostra, de forma visual, como se comportou cada tipo de concreto no teste de resistência a compressão, fazendo um comparativo para que seja possível visualizar a discrepância entres as duas, por mais que pequena.

Figura 21 - Comparativo dos resultados de compressão



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

7.4 Resistência à tração

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o corpo de prova cilíndrico foi posicionado horizontalmente, de modo que a carga fosse aplicada verticalmente ao longo de seu diâmetro. Essa aplicação de carga induz tensões de tração no plano diametral do corpo de prova, resultando na formação de uma fissura longitudinal, característica desse tipo de ensaio.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral realizados aos 7 e 28 dias para os dois tipos de concreto analisados — concreto de referência (CR) e concreto com adição de hidrocarvão (CH) — estão expostos na Tabela 3. Ao completar 7 dias, o CR atingiu uma resistência média de 2,495 MPa, com desvio padrão de 0,274 MPa. Por outro lado, o CH exibiu uma resistência de 2,037 MPa, com um desvio padrão menor, 0,0351 MPa. Essa variação de cerca de 0,46 MPa indica que o concreto com hidrocarvão, apesar de ter exibido uma resistência menor, apresentou maior precisão entre os corpos de prova analisados.

Aos 28 dias, a resistência à tração do concreto de referência aumentou para 2,863 Mpa. O concreto com hidrocarvão também apresentou uma melhoria, alcançando 2,663 Mpa. A diferença de desempenho entre os dois tipos de concreto foi de apenas 0,2 MPa, o que indica que, com o tempo de cura, o CH tende a se comportar de maneira semelhante ao CR, apesar de apresentar uma leve desvantagem nos valores médios.

De maneira geral, os dados indicam que a incorporação de hidrocarvão ao concreto não afeta de forma significativa sua resistência à tração. Ademais, a pequena variação nos resultados após 7 dias evidencia a estabilidade da mistura que contém o resíduo. Esses resultados sugerem que o uso de máscaras processadas como aditivo ao concreto pode ser uma opção viável do ponto de vista técnico, especialmente em aplicações não estruturais, além de contribuir para a reutilização de resíduos sólidos urbanos.

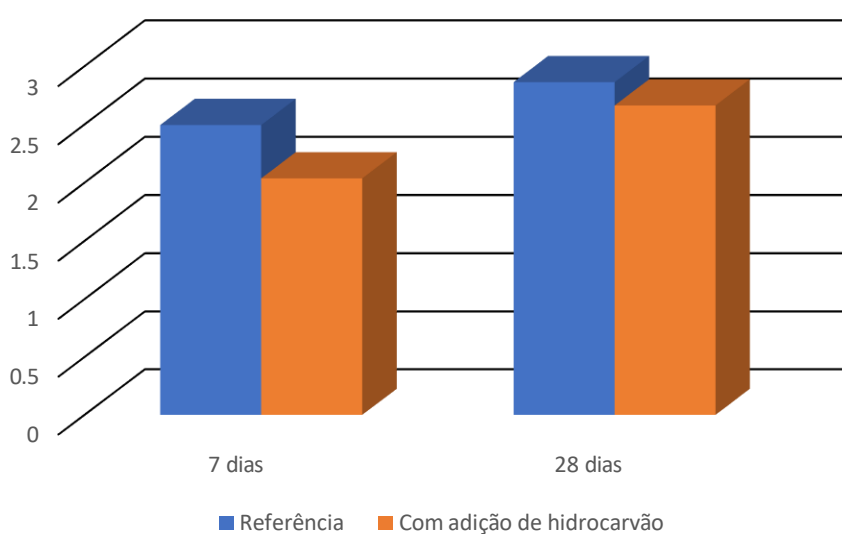
Tabela 3 - Resultados dos testes de resistência a tração

Tipo de concreto	Resistência a tração (Mpa)	
	7 dias	28 dias
Concreto referência (CR)	2,495 ± 0,274	2,863 ± 0,0479
Concreto com adição de hidrocarvão (CH)	2,037 ± 0,0351	2,663 ± 0,183

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Seguindo a mesma ideia da Figura 21, a Figura 22 ilustra de forma visual o comportamento de cada tipo de concreto no ensaio de resistência à tração, permitindo uma comparação direta entre os resultados obtidos. Apesar da diferença entre os concretos ser sutil, o gráfico evidencia a pequena discrepância de desempenho entre o concreto de referência e o concreto com adição de hidrocarvão, facilitando a interpretação dos dados obtidos nos testes.

Figura 22 - Comparativo dos resultados de tração



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre os resultados de resistência à compressão de diferentes concretos produzidos com resíduos alternativos. Observa-se que o concreto de referência (CR) atingiu 19,53 MPa aos 7 dias e 22,93 MPa aos 28 dias, valores semelhantes aos obtidos pelo concreto com hidrocarvão (CMD), que apresentou 19,06 MPa e 21,98 MPa, respectivamente. Essa pequena diferença reforça que a adição do resíduo não compromete significativamente a resistência mecânica do concreto.

Por outro lado, o concreto com adição de máscaras (Junior, 2024) obteve valores superiores, com 24,8 MPa aos 7 dias e 29,5 MPa aos 28 dias, superando inclusive o concreto de referência. Já o concreto com Luffa cylindrica (Almeida, 2023) também apresentou desempenho elevado, com 28,6 MPa e 33,4 MPa, destacando-se entre todos. Em contrapartida, o concreto com bagaço de sorgo (Sabino, 2024) demonstrou valores bastante inferiores, especialmente aos 7 dias (0,38 MPa), evidenciando sua baixa eficácia do ponto de vista estrutural. Portanto, o concreto com hidrocarvão se mostra viável em termos de resistência à

compressão, posicionando-se como alternativa sustentável intermediária entre os materiais estudados.

Tabela 4 - Comparativo dos ensaios de resistência à compressão (MPa)

Tipo de Concreto	Referência	7 Dias	28 Dias
CR – Concreto Referência	Este trabalho	19,53	22,93
CMD – Concreto com hidrocarvão	Este trabalho	19,06	21,98
Concreto com adição de mascaras	Junior (2024)	24,8	29,5
Concreto com Luffa cylindrica	Almeida (2023)	28,6	33,4
Concreto com bagaço de sorgo	Sabino (2024)	0,38	4,3

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Na Tabela 5, são apresentados os valores de resistência à tração por compressão diametral dos mesmos tipos de concreto. O concreto de referência (CR) atingiu 2,50 MPa aos 7 dias e 2,86 MPa aos 28 dias, seguido de perto pelo concreto com hidrocarvão (CMD), que registrou 2,04 MPa e 2,66 MPa, respectivamente. Embora os valores do CH sejam ligeiramente inferiores, permanecem próximos do desempenho do CR, indicando que o uso do resíduo não compromete de forma acentuada essa propriedade.

O concreto com adição de máscaras (Junior, 2024) e o concreto com Luffa cylindrica (Almeida, 2023) apresentaram desempenho superior, com destaque para o segundo, que alcançou 3,2 MPa aos 7 dias, maior valor entre todos. Já o concreto com bagaço de sorgo (Sabino, 2024) apresentou desempenho extremamente baixo, com falha aos 7 dias e apenas 0,37 MPa aos 28 dias, novamente evidenciando sua limitação técnica. Assim, embora o concreto com hidrocarvão não apresente os melhores valores, mostra-se uma opção tecnicamente aceitável e com vantagens ambientais significativas.

Tabela 5 - Comparativo dos ensaios de resistência à tração (MPa)

Tipo de Concreto	Referência	7 Dias	28 Dias
CR – Concreto Referência	Este trabalho	2,50	2,86
CMD – Concreto com hidrocarvão	Este trabalho	2,04	2,66
Concreto com adição de mascaras	Junior (2024)	2,6	2,7
Concreto com Luffa cylindrica	Almeida (2023)	3,2	2,8
Concreto com bagaço de sorgo	Sabino (2024)	-	0,37

Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A análise comparativa dos resultados obtidos no presente estudo, evidenciados nas Tabelas 4 e 5, demonstra que o concreto com adição de máscaras descartáveis na forma de

hidrocarvão apresentou desempenhos mecânicos próximos ao concreto referência tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração por compressão diametral.

Esses resultados indicam que a adição de máscaras descartáveis tratadas como hidrocarvão não compromete significativamente o desempenho estrutural do concreto, ao mesmo tempo em que oferece benefícios ambientais relevantes ao contribuir para a redução de resíduos hospitalares e industriais. Assim, a proposta apresenta-se como uma perspectiva viável para aplicações não estruturais ou de menor exigência mecânica, e reforça o potencial de reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos na construção civil.

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos nos testes mecânicos de curto prazo, é essencial destacar que a adição de hidrocarvão ao concreto exige uma análise mais profunda sobre os efeitos químicos a longo prazo. De acordo com Mehta & Monteiro (2014) e Siddique (2008), resíduos carbonáceos e poliméricos podem interferir negativamente na hidratação do cimento, alterar o pH da matriz e comprometer a durabilidade da estrutura. Portanto, a avaliação de lixiviação, estabilidade térmica e análise de microestrutura são etapas fundamentais para a validação do uso desses materiais em escala estrutural e durável.

8 CONCLUSÃO

A crescente demanda por soluções sustentáveis na construção civil impulsiona o desenvolvimento de alternativas que conciliem desempenho técnico e responsabilidade ambiental. Os resultados demonstraram que, apesar de o concreto com adição de hidrocarvão apresentar desempenho mecânico ligeiramente inferior em alguns parâmetros quando comparado ao concreto de referência, as diferenças não foram significativamente comprometedoras, especialmente considerando os benefícios ambientais associados ao reaproveitamento de resíduos.

Além dos aspectos técnicos, destaca-se a relevância ambiental da proposta, que contribui para a mitigação de impactos gerados pelo descarte inadequado de resíduos plásticos, como as máscaras cirúrgicas, cuja decomposição é lenta e prejudicial ao meio ambiente. A reutilização desse material na forma de hidrocarvão mostra-se uma alternativa promissora para sua destinação final, alinhando-se aos princípios da economia circular e ao conceito de sustentabilidade aplicada à engenharia.

Portanto, conclui-se que a incorporação de hidrocarvão oriundo de máscaras descartáveis no concreto apresenta-se como uma perspectiva promissora para uso em aplicações não estruturais ou em elementos com menor exigência mecânica. Para estudos futuros, recomenda-se ampliar o número de amostras, investigar diferentes teores de adição e analisar outras propriedades, como durabilidade, permeabilidade e comportamento a longo prazo, a fim de consolidar a aplicabilidade prática desse material inovador no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15052:2004. Execução de revestimento de argamassa com função decorativa em exteriores e interiores – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605:2017. Sistemas de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768:2011. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:2015/2016. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739:2018. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212:2021. Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222:2011. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522:2008. Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:2022. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52:2009. Agregados graúdos – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776:1987. Agregados miúdos – Determinação da densidade real e absorção de água – Método de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889:2020. Concreto fresco – Determinação do abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

BRANDÃO, A. M. Módulo de Elasticidade do Concreto: Influências e Importância. Revista Construtora Online, 2018. Disponível em: <https://www.revistaconstrutoraonline.com.br>. Acesso em: 12 set. 2024.

CIMENTOS LIZ. Cimento Portland CP V-ARI RS. Cimentos Liz, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.cimentosliz.com.br/cimento/detalhar/0000AAAAA0A5A1A510000>. Acesso em: 12 set. 2024.

CONSTRUÇÃO, M. Sustentabilidade na construção civil: entenda a importância e como aplicar. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/sustentabilidade-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 17 ago. 2024.

DIPROTEC. Aditivos retardadores. Diprotec, Joinville, 2025. Disponível em: <https://www.diprotec.com.br/produto/aditivos-retardadores>. Acesso em: 22 out. 2024.

GEUNA, A.; ALVAREZ, M.; SATTI, A. J. Adsorbent composites of montmorillonite and chitosan of different molecular weight, obtained by gamma irradiation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 1, p. 107080, 2022.

HELENE, P. R. L.; PEREIRA, J. C. Durabilidade do Concreto: Teoria e Prática. São Paulo: Pini, 2007.

JOFEGE. Tipos de concretos e suas aplicações. Jofege, Itatiba, 24 nov. 2021. Disponível em: <https://www.jofege.com.br/tipos-de-concretos-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 17 out. 2024.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, 2000.

JUNKES, Valderice Herth. Produção de blocos de concreto com adição de resíduos da construção civil e indústria química. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30605>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MALHOTRA, V. M. Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology. 2. ed. New Jersey: Noyes Publications, 1994.

MARIANO, R. M.; DE SOUZA BARCELLOS, J.; DE MEDEIROS, A. V. (2021). A adição de resíduo cerâmico em concreto. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, 6(2), 1–9. Disponível em: <https://revistas.ufpel.edu.br/index.php/rbes/article/view/244>

MEDEIROS, Marcelo H. F.; ANDRADE, Jairo J. O.; HELENE, Paulo. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 773–808. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MOURA, Emanuel Cabral de. Análise das estratégias de desenvolvimento sustentável do Banco do Brasil. 2011. Disponível em: [\[dspace.bc.uepb.edu.br\]](https://dspace.bc.uepb.edu.br/). Acesso em: 12 set. 2024.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

OLIVEIRA, Ana Martha Carneiro Pires de. Consumo de água na produção de concreto usinado: quantificação e principais fatores de influência. São Leopoldo, 2020. Disponível em: <https://repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9493>. Acesso em: 19 out. 2024.

ORÇAFASCIO. Descubra os 16 tipos de concreto e como escolher o ideal para sua construção. Orçafascio – Papo de Engenheiro, 2025. Disponível em: <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/tipos-de-concreto>. Acesso em: 17 out. 2024.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Mais de 1,2 milhões de toneladas de resíduos dos serviços de saúde para COVID-19 expõem a necessidade urgente de melhorar o manejo, 1 fev. 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/1-2-2022-toneladas-residuos-servicos-saude-para-covid-19-expoem-necessidade-urgente>. Acesso em: 14 out. 2024.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Estruturas de concreto – Capítulo 2. Março de 2004.

PIRÂMIDESC. Impermeabilização do concreto: por que é tão importante? Pirâmidesc, Joinville, 25 out. 2021. Disponível em: <https://piramidesc.com.br/bloco-de-concreto/impermeabilizacao-do-concreto/>. Acesso em: 22 out. 2024.

PUENTE, Beatriz. Pandemia: mais de 12 bilhões de máscaras já foram descartadas no Brasil. CNN Brasil, Rio de Janeiro, 5 jul. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/pandemia-mais-de-12-bilhoes-de-mascaras-ja-foram-descartadas-no-brasil/>. Acesso em: 19 out. 2024.

RECICLA SAMPA. Apenas 9% do plástico produzido no mundo é reciclado. Recicla Sampa, São Paulo, 26 fev. 2022. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/apenas-9--do-plastico-produzido-no-mundo-e-reciclado>. Acesso em: 14 março. 2025.

REZENDE, Claudinei. Pesquisa utiliza resíduos de mineração e fibras de coco para reforçar blocos de concreto. Ciência UFLA, Lavras, 22 nov. 2023. Disponível em: <https://ciencia.ufla.br/reportagens/tecnologia-e-inovacao/964-pesquisa-utiliza-residuos-de-mineracao-e-fibras-de-coco-para-reforcar-blocos-de-concreto>. Acesso em: 26 out. 2024.

SENAI CETIQT. O que são as máscaras semifaciais filtrantes PFF2 e N95? SENAI CETIQT, Rio de Janeiro, 6 jul. 2020. Disponível em: <https://senaicetiq.com/ufas/2-o-que-sao-as-mascaras-semifaciais-filtrantes-pff2-e-n95/>. Acesso em: 17 out. 2024.

SUN, Xinpo; JIANG, Zhe-Yuan; XU, Ao; FU, Xian-Lei; CHE, Chi; et al. Recycle of discarded masks in civil engineering: Current status and future opportunities with silane coupling agent modified discarded masks. Construction and Building Materials, v. 405, art. 133266, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133266>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SIDDIQUE, R. Wear Resistance of High-Volume Fly Ash Concrete. Leonardo **Journal of Sciences**, 17, 21-36. 2010 - references - scientific research publishing. Disponível em: <<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1991569>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

TECNO-MOR. Qual a importância da trabalhabilidade do concreto? Tecnomor, Joinville, 27 out. 2023. Disponível em: <https://tecnomor.com.br/trabalhabilidade-do-concreto-qual-a-importancia/>. Acesso em: 17 out. 2024.

TECNO-SIL. Aditivos para concreto: principais tipos e para que servem. Tecnosil, Joinville, 2025. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/aditivos-para-concreto-principais-tipos-e-para-que-servem-2/>. Acesso em: 23 out. 2024.

LOPES, João Pedro; RUDNICK, Thainá; MARTINS, Carlos Humberto. Utilização de resíduos industriais para produção de concreto sustentável. Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC), Goiânia, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/49261>. Acesso em: 14 out. 2024.

WIN, Thwe Thwe; JONGVIVATSAKUL, Pitcha; JIRAWATTANASOMKUL, Tidarut; PRASITTISOPIN, Lapyote; LIKITLERSUANG, Suched. Uso de fibras de polipropileno extraídas de máscaras cirúrgicas descartadas no cimento argamassa. Construction and Building Materials, v. 391, art. 131845, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131845>. Acesso em: 10 jun. 2025.

YANG, Xu; WANG, Xiao-Yong. Hydration-strength-durability-workability of biochar-cement binary blends. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 103064, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103064>. Acesso em: 14 jun. 2025.