



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA - PPGQ

**PAVERS SUSTENTÁVEIS DE PLÁSTICO E AREIA: ALTERNATIVA
ECOLÓGICA E DURÁVEL**

CLEILSON DO NASCIMENTO SOUZA

MANAUS/AM
ABRIL/2025

CLEILSON DO NASCIMENTO SOUZA

**PAVERS SUSTENTÁVEIS DE PLÁSTICO E AREIA: ALTERNATIVA
ECOLÓGICA E DURÁVEL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Química da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Química.

Linha de Pesquisa: Métodos Analíticos e Estudos Ambientais.

ORIENTADOR: DR. GENILSON PEREIRA SANTANA

MANAUS/AM

ABRIL/2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729p Souza, Cleilson do Nascimento
Pavers sustentáveis de plástico e areia: alternativa ecológica e durável /
Cleilson do Nascimento Souza. - 2025.
125 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Genilson Pereira Santana.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
de Pós-Graduação em Química, Manaus, 2025.

1. Compósito. 2. Pavers sustentáveis. 3. Polímeros. 4. Reciclagem. 5.
Resíduos plásticos. I. Santana, Genilson Pereira. II. Universidade Federal
do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Título

CLEILSON DO NASCIMENTO SOUZA

**PAVERS SUSTENTÁVEIS DE PLÁSTICO E AREIA: ALTERNATIVA
ECOLÓGICA E DURÁVEL**

Dissertação de Mestrado apresentada a banca examinadora do Programa de Pós-Graduação Química da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Química.

Linha de Pesquisa: Métodos Analíticos e Estudos Ambientais.

Defesa realizada em 19 de Abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Genilson Pereira Santana
Presidente

Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira
Membro Externo

Prof. Dr. Antônio Cláudio Kieling
Membro Externo

DEDICATÓRIA

A priori, ao “Eu Sou”.
Aos meus pais, Augustinho e Leonor.
Aos meus filhos e esposa, Augustho, Aurora e Amanda.
Ao meu orientador Genilson P. Santana.

AGRADECIMENTOS

Inegavelmente são muitas as pessoas a quem devo este singelo agradecimento, pois contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, todavia, grato sou, primeiramente a Deus, por ter me sustentado nos dias difíceis, devo muito a minha família, em especial, meu pai Augustinho (seu Pereira), que aprovou o Senhor recolhe-lo para si, semanas antes a minha defesa – “Obrigado meu pai”. A minha mãe, Leonor Nascimento, que sempre esteve ao meu lado e é minha super-heroína, aos meus irmãos e irmãs pelo companheirismo, incentivo e apoio. Não poderia deixar de agradecer minha esposa Amanda Calheiros, por manter meu mundo em ordem e sempre me incentivar a processar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Genilson Pereira Santana, que além de me orientar e direcionar da melhor forma até a conclusão do curso, me acolheu e foi mui compreensivo em diversos momentos, pude o conhecer para além do lado profissional, e posso afirmar que passei a estimá-lo, pelo que ele representa para sua família, seus colegas acadêmicos, alunos e orientandos, sua trajetória é motivo de orgulho e inspiração, além de ser um pesquisador pragmático, inovador e fora da caixa, tenho plena certeza de que tive um dos melhores, se não o melhor, orientador do PPGQ.

Aos meus colegas de mestrado e professores, que tive a honra de conhecer e contribuíram para minha formação acadêmica. Aos meus amigos e também colaboradores, que de alguma forma contribuíram nesta minha jornada: José Henrique, Klara Antunes, Felipe Gomes, Maria Eduarda (Duda), Robson Kakijima, Wyvirlanny, José Victor, Witalo, Esther, Marcus, Jonathas, Frankson, aos técnicos Judá e Tafarel, Dr. José Costa, Dr. Laerte M. Barros, Dr. Antônio Kieling, Dr. Raimundo Kennedy, entre outros.

Também sou grato as seguintes Instituições: a magnífica Universidade Federal do Amazonas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ, a Escola Superior de Tecnologia – EST/UEA, ao brioso Instituto Federal do Amazonas – IFAM/CMC.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

“O ambiente é uma composição dualísticas e indissociável da natureza e da sociedade, e esse sistema é o resultado da interação entre fatores físico-químicos, meteorológicos, biológicos, econômicos, políticos e culturais, que ocorrem no tempo e no espaço geográfico” (Suertegaray, 1999).

RESUMO

A crescente presença de resíduos plásticos em áreas urbanas, especialmente em rios e lagos, configura um grave problema ambiental. A situação é particularmente crítica na região Norte, onde o consumo e descarte de plástico são elevados. Em Manaus por exemplo, foram coletados de mais de 2.500 toneladas de plástico em junho de 2022, apresentou um aumento de 150% em relação a 2021, evidenciando a urgência de soluções eficazes para a gestão desses resíduos. Além disso, a durabilidade do plástico, uma propriedade vantajosa em muitos usos, torna-se um desafio ambiental quando descartado inadequadamente. Diante disso, a busca por alternativas para a destinação desses resíduos é fundamental, visando benefícios tecnológicos, econômicos e ambientais. Dessa forma, a reciclagem e reaproveitamento do plástico tornou-se uma solução promissora para este resíduo com durabilidade de mais de 100 anos. Nesse sentido, a utilização de resíduos plásticos na fabricação de pavers intertravados representa uma solução inovadora. Uma vez que, essa abordagem agrega valor a um material que causa sérios impactos ambientais, ao mesmo tempo em que confere aos pavers propriedades físico-químicas e mecânicas úteis para a construção civil, especialmente em obras de pavimentação. Assim, nesta dissertação a metodologia adotada consistiu na coleta, no tratamento, e no processamento de resíduos plásticos, para elaboração do compósito areia-polímero por meio de aquecimento, em proporções de 25% a 35% de plástico. Os resultados obtidos em teste mecânicos e de absorção de água, demonstraram que a compósito areia-polímero preserva características semelhantes aos pavers tradicionais além de possuir absorção dez vezes menor. Portanto, este estudo contribui para a compreensão do potencial da reutilização de resíduos plásticos na criação de materiais sustentáveis para a construção civil. Além disso, a proposta tem como inovação reduzir os efeitos nocivos do plástico no meio ambiente e, por isso, é uma alternativa viável e ecologicamente correta.

Palavras-chave: Compósito, Pavers sustentáveis, Polímeros, Reciclagem, Resíduos plásticos.

ABSTRACT

The growing presence of plastic waste in urban areas, especially in rivers and lakes, is a serious environmental problem. The situation is particularly critical in the North, where plastic consumption and disposal are high. In Manaus, for example, more than 2,500 tons of plastic were collected in June 2022, an increase of 150% compared to 2021, highlighting the urgent need for effective solutions to manage this waste. In addition, the durability of plastic, an advantageous property in many uses, becomes an environmental challenge when disposed of inappropriately. In view of this, the search for alternatives for disposing of this waste is fundamental, with a view to technological, economic and environmental benefits. In this way, recycling and reusing plastic has become a promising solution for this waste that lasts for more than 100 years. In this sense, the use of plastic waste in the manufacture of interlocking pavers represents an innovative solution. This approach adds value to a material that causes serious environmental impacts, while at the same time giving the pavers useful physical, chemical and mechanical properties for civil construction, especially in paving works. In this dissertation, the methodology adopted consisted of collecting, treating and processing plastic waste in order to make a sand-polymer composite by heating it in proportions of 25% to 35% plastic. The results obtained in mechanical and water absorption tests showed that the sand-polymer composite preserves characteristics similar to traditional pavers, as well as having ten times less absorption. This study therefore contributes to understanding the potential of reusing plastic waste to create sustainable materials for the construction industry. In addition, the proposal has the innovation of reducing the harmful effects of plastic on the environment and is therefore a viable and environmentally friendly alternative.

Keywords: Composite, Sustainable pavers, Polymers, Recycling, Plastic waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção global de plástico em diferentes anos.....	22
Figura 2: Fluxograma genérico de produção do plástico.....	23
Figura 3: O destino do polímero no mundo.....	24
Figura 4: Estimativa de crescimento na produção global de plásticos.....	24
Figura 5: Brasil, o quarto maior gerador de resíduos plásticos.....	26
Figura 6: Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	27
Figura 7: Percentual de resíduos sólidos descartados na cidade de Manaus.....	28
Figura 8: Remoção de resíduos sólidos, Igarapé do Franco Manaus.....	30
Figura 9: Sequência da indústria petroquímica de primeira geração.....	31
Figura 10: Plásticos Sintéticos e Naturais mais comuns.....	32
Figura 11: Classificação de diferentes polímeros.....	34
Figura 12: Modelo de cristalização segundo a Teoria da Miscela Franjada.....	35
Figura 13: Micrografia óptica (mostrando a Cruz de Malta) e modelo de um esferulito.....	36
Figura 14: Relação entre polímeros amorfos e cristalinos.....	36
Figura 15: Esquematização genérica de um material compósito.....	40
Figura 16: Classificação dos compósitos.....	41
Figura 17: Unidade básica dos tetraedros de sílica (SiO ₄) ⁴⁻	45
Figura 18: Arranjo estrutural da sílica cristalina e da sílica amorfa.....	45
Figura 19: Tipos de blocos intertravados.....	49
Figura 20: Modelos de assentamentos de pavers.....	49
Figura 21: Rodovias pavimentadas com pavers Guanacaste e Medellín.....	50
Figura 22: ODS 9 e 11, e princípios do ESG.....	52
Figura 23: Coleta de Resíduos plásticos, orla do Rio Miriti, Manacapuru/Am.....	56
Figura 24: Processamento dos Resíduos.....	56
Figura 25: Organograma: Ensaio de elaboração do compósito areia-polímero.....	57
Figura 26: Ensaio de elaboração do Compósito Areia-Polímero.....	58
Figura 27: Prensa Modelo estilo CEB.....	60
Figura 28: Blocos de tijolos Areia-Polímero prensados.....	61
Figura 29: Aspectos das arestas da peça de concreto.....	62
Figura 30: Moldes (A); (B) e (C), respectivamente.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 31: Dimensão interna do molde (A) utilizado para prensagem dos pavers.....	63
Figura 32: Dispositivo mecânico de prensagem alternativa desenho técnico.....	64
Figura 33: Dispositivo mecânico de prensagem alternativa, imagem realística.....	65
Figura 34: Determinação da resistência à compressão estimada.....	66
Figura 35: Coeficiente de Student.....	67
Figura 36: Prensa Instron 68FM-100 (a), prensa Contenco Pavites 100T (b).....	67
Figura 37: Determinação da Absorção de Água.....	68
Figura 38: Espectrômetro PANalytical, EPSILON 3 XL.....	69
Figura 39: Coleta e processamento dos resíduos.....	70
Figura 40: Pavers Intertravados de areia e plásticos produzidos e suas métricas.....	72
Figura 41: Amostras de pavers de Concreto (a) e Resíduo Plástico (b).....	76
Figura 42: Amostras após secagem (a) e pesagem (b).....	76
Figura 43: Amostras submersas em água após 24:00h (a) e conferição das massas (b).....	77
Figura 44: Amostras após corte, com compressão em andamento.....	80
Figura 45: Ponto de ruptura dos pavers de concreto após compressão.....	80
Figura 46: Pavers poliméricos submetidos ao teste de compressão.....	83
Figura 47: Teste resistência a compressão em andamento.....	85
Figura 48: Padrão de ruptura dos pavers de concreto após compressão.....	86
Figura 49: Padrão de ruptura dos pavers de areia e plásticos após compressão.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estudo bibliométrico realizado entre 2014 e 2024.....	18
Tabela 2: Tipos mais comuns de plásticos e suas utilizações.....	32
Tabela 3: Classificação dos solos por granulometria de acordo com a NBR 6502:1995.....	46
Tabela 4: Ensaio qualitativo de preparação do compósito areia-polímero.....	58
Tabela 5: Ensaio qualitativo e quantitativo de preparação do compósito areia-polímero.....	59
Tabela 6: Composição dos tijolos poliméricos.....	61
Tabela 7: Composição percentual dos elementos por FRX, amostra de concreto.....	72
Tabela 8: Composição percentual dos elementos por FRX, amostra areia-polímero.....	74
Tabela 9: Composição percentual das amostras de pavers areia-polímero.....	76
Tabela 10: Determinação de massa das amostras, após secagem em estufa.....	77
Tabela 11: Valores percentuais de absorção das amostras.....	77
Tabela 12: Resultados do teste de compressão das amostras com pavers tradicionais.....	81
Tabela 13: Resultados do teste de compressão das amostras com pavers de areia e plástico.....	83
Tabela 14: Composição percentual das amostras de pavers areia-polímero.....	85
Tabela 15: Caracterização da resistência a compressão, dos pavers cimentados.....	86
Tabela 16: Caracterização da resistência a compressão, dos pavers areia-polímero.....	87
Tabela 17: Dados estatísticos a partir das amostras poliméricas e cimentícias.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais produtores de plástico no Mundo.....	26
Quadro 2: Dados volumétricos dos Resíduos Sólidos no Município de Manacapuru.....	29
Quadro 3: Grau de cristalinidade de PET processado.....	37
Quadro 4: Propriedades gerais dos polímeros.....	38
Quadro 5: Cargas Aditivas.....	42
Quadro 6: Propriedades de uma amostra de betão polimérico.....	44
Quadro 7: Especificações químicas e físicas da tripoli.....	47
Quadro 8: Algumas vantagens da pavimentação intertravada.....	47
Quadro 9: Alguns parâmetros para a pavimentação intertravada de acordo com ABNT.....	50
Quadro 10: Relação entre quantidade de materiais e produção de pavers por traço.....	51
Quadro 11: Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.....	62
Quadro 12: Resistência característica à compressão.....	65
Quadro 13: Fator Multiplicativo P.....	66
Quadro 14: Relação custo-benefício, entre a produção do traço padrão por metro cúbico.....	91
Quadro 15: Relação custo-benefício, entre a produção do traço alternativo por metro cúbico.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Análise gravimétrico do volume de materiais coletados nos últimos 6 anos.....	29
Gráfico 2: Principais compostos identificados por FRX, amostra de concreto.....	73
Gráfico 3: Principais compostos identificados por FRX, amostra de areia-polímero.....	75
Gráfico 4: Relação entre absorção de água, pavers tradicionais e areia-polímeros.....	78
Gráfico 5: Relação entre resistência a compressão e deformação dos pavers de concreto.....	82
Gráfico 6: Relação entre resistência a compressão e deformação dos pavers de areia e plástico.....	84
Gráfico 7: Relação entre resistência e composição percentual amostras poliméricas.....	88
Gráfico 8: Comparação entre as resistências das amostras poliméricas e cimentícia em MPa.....	89
Gráfico 9: Desvio padrão das amostras de pavers poliméricos e concreto respectivamente.....	90

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 ESTUDO BIBLIOMÉTRICO.....	18
2.2 O PLÁSTICO NO MUNDO: DO GLOBAL AO LOCAL.....	21
2.3 O CONCEITO DE PLÁSTICO.....	30
2.4 PROPIEDADES E APLICAÇÕES DOS POLÍMEROS.....	31
2.5 NATUREZA DOS COMPÓSITOS.....	40
2.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AREIA.....	44
2.7 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA (PAVERS).....	47
3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	51
4. OBJETIVOS.....	55
4.1 OBJETIVOS GERAL.....	55
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	55
5. METODOLOGIA.....	55
5.1 COLETA E PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS.....	55
5.2 FORMULAÇÃO DO COMPÓSITO AREIA POLÍMERO.....	57
5.3 PRODUÇÃO DOS PAVERS DE AREIA E PLÁSTICO.....	59
5.4 PREPARAÇÃO DOS MOLDES.....	62
5.5 SISTEMA ALTERNATIVO DE PRENSAGEM.....	63
5.6 TESTES DE QUALIDADE DOS PAVERS.....	65
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
6.1 COLETA E PROCESSAMENTO.....	70
6.2 COMPÓSITO AREIA-POLÍMERO.....	71
6.3 MODULAÇÃO E PRENSAGEM.....	71
6.4 ANÁLISE ESPECTROMÉTRICA DAS AMOSTRAS.....	72
6.5 TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	75
6.6 TESTES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	79

6.7 VIABILIDADE DOS PAVERS DE PLÁSTICO E AREIA.....	91
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
8. REFERÊNCIAS.....	96
9. ANEXOS.....	100
10. APÊNDICES.....	114

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente urbanização mundial, o consumo e, conseqüentemente, a geração de resíduos sólidos tem aumentado ano após ano, com o plástico, emergindo como um dos componentes mais problemáticos. A onipresença desse material, aliada ao seu descarte incorreto, tem gerado agravos tanto a saúde humana, quanto ao meio ambiente, especialmente em centros urbanos densamente povoados. Na região Norte do país por exemplo, o consumo, a reciclagem e o descarte incorreto de resíduos plásticos, são desafios que necessitam de grande atenção, e que nos leva a refletir, com urgência, sobre a gestão de resíduos sólidos, na busca por alternativas viáveis e sustentáveis, que atenuem os impactos causados pelo descarte indevido, e novas formas reciclagem/reutilização do plástico. Propriedades como resistência do plástico diante do intemperismo, podem apresentar vantagens e desvantagens, mesmo sendo considerado um fardo ambiental quando descartado na natureza, persistindo por longos períodos e causando danos irreparáveis aos ecossistemas, esse polímero possui infinitas aplicações, que o torna tão versátil, porém pouco se fala sobre a sua reutilização na confecção de novos materiais, especialmente quando aplicados ao ramo da construção civil. Diante desse cenário, a busca por alternativas para a destinação final de resíduos plásticos tem se tornado um tema de grande relevância, pois a reciclagem, embora fundamental, ainda enfrenta grandes limitações em países como o Brasil, que reciclam aproximadamente 2,2% de seus resíduos sólidos urbanos, junto da necessidade de soluções inovadoras que agreguem valor a materiais residuais, e colabore para minimização de seus impactos ambientais.

A utilização de resíduos plásticos na fabricação de pavers intertravados surge como uma proposta promissora, unindo a necessidade de reduzir o grande volume desse resíduo, que se encontra depositado em áreas impróprias, principalmente em corpos aquáticos e aterros inadequados, além de favorecer novas técnicas quanto a reutilização do plástico, na busca de suprir a demanda por materiais de construção sustentáveis, principalmente os alternativos ao cimento/concreto convencional, produto este, que assim como o plástico, tem contribuído para um acentuado aumento, nos índices de poluição do planeta nos últimos anos. De modo geral, esta pesquisa busca explorar o potencial da agregação dos resíduos plásticos e areia de construção, para formular o compósito areia-polímero, com aplicações no desenvolvimento de pavers intertravados, a finalidade deste produto é ser aplicado no ramo pavimentação. A criação de pavers produzidos com resíduos plásticos pode representar um marco na busca por soluções para a gestão de resíduos sólidos, no âmbito de uma alocação mais eficiente para os resíduos plásticos, além de reduzir o descarte de plásticos, impulsionando a economia circular, diminuindo a dependência por matérias-primas virgens destinados a ao ramo da construção cívil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção abordaremos sobre os fundamentos teóricos que alicerçam a presente pesquisa, explorando conceitos, teorias e estudos relevantes para a compreensão do tema em questão.

2.1 ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Iniciamente foi realizado um estudo bibliométrico nas bases de dados: Scielo, Elsevier, Google Acadêmice e Periódico Capes, nos últimos 10 anos, como apresentado na tabela 1, foram selecionadas as seguintes palavras chaves com caudas médias e longas e operadores booleanos: “Polymer Bonding of Sands our Polymer sand composite ”; “Sand polymer bricks our Sand polymer pavers” “Bricks polymer our Polymer Pavers” “Plastic cement replacement and Plastic Concrete Replacement” as mesmas palavras chaves foram buscadas no idioma português, foi delimitado a presença das palavras chaves no título e resumo dos artigos pesquisados. O objetivo deste estudo foi, realizar um levantamento do material bibliográfico citável e também obter um panorama de como a temática a respeito da utilização dos compósitos areia-polímeros, na elaboração de novos materiais, vem sendo abordada no meio acadêmico e comunidade científica, a partir dos artigos produzidos nos últimos anos.

Tabela 1: Estudo bibliométrico realizado entre 2014 e 2024, nas seguintes bases de dados

Palavras chaves	Base de dados			
	Scielo	Periódico Capes	Scopus	Google Acadêmico
Polymer Bonding of Sands our Polymer sand composite	0	170	288	65.300
Sand polymer bricks our Sand polymer pavers	0	40	2	16.200
Bricks polymer our Polymer Pavers	2	31	8	17.000
Plastic cement replacement and Plastic Concrete Replacement	3	704	211	75200
Total de Artigos	5	945	509	173700

Fonte: Autor

No decorrer deste estudo notou-se que a grande maioria dos trabalhos encontrados, abordavam sobre a utilização dos resíduos plásticos/polímeros apenas como agente agregante para diminuição da carga de cimento e outros materiais a base de concreto, mas não como um agente ligante, substituinte ao cimento, em processos que envolvem cimentação. Uma variedade de artigos descrevem, que os resíduos plásticos quando associados a areia e ao cimento, podem gerar benefícios quanto as suas propriedades mecânicas. Alguns poucos artigos abordam sobre a substituição do cimento por polímeros plásticos porém se detem a produção de argamassas para aplicações e uso específicos. Observou-se também uma baixa quantidade de produções nacionais a respeito do tema, sendo a maioria dos artigos encontrados, de origem internacional e ou publicados em língua inglesa.

Dentre a grande gama de artigos, foram utilizados filtros específicos para a seleção, como: a) Artigo abordou especificamente sobre o teor das palavras chaves, estando presente no título ou resumo e não no corpo do artigo; b) Apresentou fator de impacto satisfatório (mínimo 1 uma citação); c) Artigo publicado dentro do limite temporal; d) Artigo apresentou uma metodologia para elaboração de compósito areia polímero; e) Paper apresentou aplicações práticas para o compósito areia-polímero quanto a constituição de pavers ou blocos, etc, como forma de substituição do processo de cimentação. Aplicando-se esses filtros foram selecionados 14 artigos que atendiam no mínimo três dos cinco critérios de seleção. Esses artigos são apresentados de forma expandida no **Apêndice A**, desta dissertação.

De modo geral os artigos selecionados, exploravam sobre o uso de polímeros na estabilização de solos e na produção de materiais sustentáveis para construção civil. O trabalho de Garcia et al. (2015), investigou a resistência à tração e ao cisalhamento de areias uniformes cimentadas artificialmente com polímeros aquecidos, demonstrando que a resistência dos materiais depende do teor de cimento, do tamanho dos grãos e da mineralogia, superando outras areias cimentadas artificialmente. Valdez e Cortes (2014), desenvolveu um método inovador de cimentação de solos com polímeros finos aquecidos e resfriados, resultando em ligações interpartículas duráveis e dúcteis, além de uma recuperação de rigidez de até 80% após cura térmica. Zina et al., (2024), analisou o uso de aquecimento por micro-ondas para cimentação rápida e homogênea de solos misturados com partículas poliméricas, mostrando que esse método é 20 vezes mais eficiente do que o aquecimento externo convencional e que a resistência à tração pode ser parcialmente recuperada após ciclos de umedecimento-secagem. Liu et al., (2018), avaliou o uso de polímeros orgânicos como estabilizadores de solos, constatando que a resistência mecânica

aumenta com maior concentração de polímero e densidade seca da areia, enquanto Bai et al. (2021), verificou que a resistência e a ductilidade de misturas de areia com poliuretano aumentam com a temperatura e o teor de polímero, sendo influenciadas também pela densidade seca.

A durabilidade e o comportamento dos compósitos areia-polímero após exposição à água foram investigados por Liu et al. (2018), que verificou uma redução da resistência ao cisalhamento devido ao amolecimento das membranas poliméricas ligantes. Romero et al. (2018), analisou a capacidade de cura térmica in situ de solos cimentados com polímeros, concluindo que a rigidez pode ser recuperada em até 50% após a reinjeção de calor, embora a resistência à compressão diminua com ciclos repetidos. Dai et al. (2024), estudou a combinação de polímeros orgânicos com fibras recicladas de polipropileno para reforçar a areia, observando melhorias na resistência e na estabilidade estrutural, enquanto Liu et al. (2019), investigou o comportamento micromecânico da areia revestida com polímero hidrofóbico, constatando variações no coeficiente de atrito conforme a força normal aplicada.

No campo da fabricação de tijolos e concreto polimérico, Miranda et al. (2023), propuseram um método sustentável para a produção de tijolos de areia-polímero utilizando resíduos plásticos, resultando em materiais com baixa infiltração e resistência comparável a tijolos cerâmicos tradicionais. Edike et al. (2023), propôs a produção de tijolos poliméricos a partir de garrafas PET recicladas, identificando que proporções equilibradas de PET e areia garantem melhor resistência mecânica e menor sorvidade, enquanto Hameed e Hamza (2019), explorou o uso de resíduos de construção e demolição como agregados no concreto polimérico, demonstrando que a resistência aumenta com maior teor de polímero. Rashid (2020), investigou a reciclagem de sacos de grãos plásticos combinados com areia para criar materiais leves, com resistência comparável a tijolos de argila de baixa qualidade. Por fim, El-Sheikhy (2023), apresentou um novo material sustentável denominado CPNC-concrete e CPNC-mortar, desenvolvido sem o uso de cimento Portland e água, utilizando um nanocompósito de argila montmorilonita e polietileno de alta densidade como agente ligante. O material demonstrou alta resistência mecânica, ductilidade, microestrutura homogênea, ausência de fissuras e resistência à corrosão, além de ser adequado para impressão 3D e contribuir para a redução dos impactos ambientais associados à indústria do cimento.

2.2 O PLÁSTICO NO MUNDO: DO GLOBAL AO LOCAL

O que determina a utilização ou não de um material são as suas propriedades, mas também a relação custo/benefício, a estética, a eficiência, a durabilidade etc. Foi para atender às necessidades e exigências da sociedade moderna que se iniciou o que podemos chamar de “revolução dos materiais”. No início do século XX foram desenvolvidos novos tipos de materiais denominados plásticos, que aos poucos foram cada vez mais utilizados na fabricação dos mais variados objetos. Sua versatilidade é tamanha que, desde então, eles vêm provocando mudanças no consumo, e em conseqüência, no estilo de vida das pessoas. Um dos aspectos decisivos, responsáveis pela grande disseminação no uso do plástico, é o econômico, pois é possível confeccionar os mais diferentes artigos e objetos de plástico com custo reduzido, portanto mais acessíveis à população (PIATTI, 2005).

O plástico não é inerentemente nocivo. É uma invenção criada pelo homem que gerou benefícios significativos para a sociedade. Infelizmente, a maneira com a qual indústrias e governos lidaram com o plástico e a maneira com a qual a sociedade o converteu em uma conveniência descartável de uso único transformou esta inovação em um desastre ambiental mundial. Aproximadamente metade de todos os produtos plásticos que poluem o mundo hoje foram criados após 2000. Este problema tem apenas algumas décadas e, ainda assim, 75% de todo o plástico já produzido já foi descartado. (WWF, 2019).

De acordo com o Fundo Mundial para a Natureza, (2019), desde 2000, a indústria dos plásticos já produziu a mesma quantidade de plástico que em todos os anos anteriores somados. A produção de plástico virgem aumentou em 200 vezes desde 1950, e cresce a um índice de 4% ao ano desde 2000. Em 2016, ano mais recente do qual há dados disponíveis, a produção alcançou a marca de 396 milhões de toneladas métricas. Esse valor equivale a 53 quilos de plástico para cada pessoa no planeta. A produção de plástico em 2016 resultou em aproximadamente 2 bilhões de toneladas métricas de emissões de dióxido de carbono, o que equivale a quase 6% das emissões mundiais de dióxido de carbono por ano. Se toda a capacidade estimada para produção de plástico for construída, a produção atual poderá aumentar em 40% até 2030.

Segundo Miranda et al., (2018, apud Maia et al, 2021) “ a partir de 1945, os materiais produzidos a partir do plástico passaram a fazer parte do cotidiano de todos, independentemente de condição social, fazendo com que a utilização do aço cedesse lugar ao plástico. Com a ampla utilização e comercialização do plástico em todo o mundo, novas demandas surgiram, como produtos descartáveis, utensílios para o lazer, eletrodomésticos, entre outros. Em todos estes setores, os estudos e técnicas de melhoramento e aprimoramento dos compostos plásticos têm sido uma constante preocupação. Os plásticos estão presentes no cotidiano de todos, além de terem sido responsáveis por grandes avanços e benefícios para a sociedade moderna. Na indústria, por exemplo, geram milhões de empregos e estão presentes em diversos setores da economia. Desde sua descoberta, o plástico se tornou um material importante e tem diferentes aplicações em diversos setores: automobilístico, de embalagens, de eletrônicos, de informática, de saúde, de construção civil e de tecidos”.

Desde 1950, o crescimento médio anual da fabricação de plástico foi de 8,5 %. Estima-se que 4 % do petróleo global é usado para produzir plásticos e outros 4 % são usados para executar os processos de fabricação de plásticos. Com o aumento da população e padrões de vida mais elevados, o uso global projetado dessa matéria-prima aumentará de 90 Gt para 167 Gt até 2060 (ROY et al., 2021). Como apresentado na figura 1.

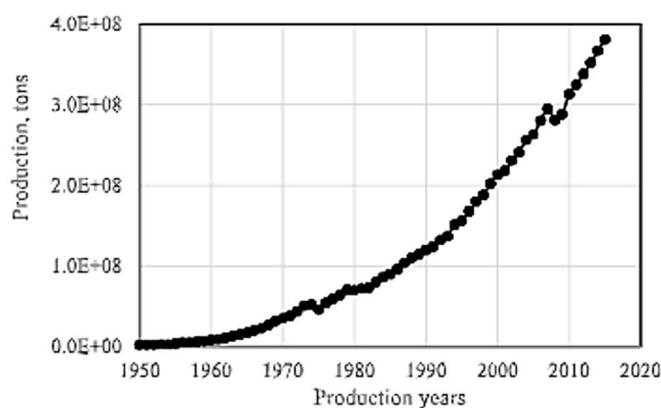


Figura 1: Produção global de plástico em diferentes anos.

Fonte: Roy et al. (2021)

Conforme podemos observar existe uma tendência anual de crescimento na produção dos plásticos, este dado relaciona-se diretamente a fatores como: a necessidade humana quanto ao desenvolvimento de novos materiais, cada vez mais sofisticados a base de polímeros; e também o

crescimento populacional nas últimas décadas, sendo este último, acentuado por processos de urbanização. O crescimento da demanda por esses materiais, acaba corroborando para o aumento da geração dos resíduos, uma vez que os produtos derivados dos plásticos, possuem uma maior aplicação como bens de consumo não duráveis, devido as características como o baixo custo, em comparação a bens duráveis, sendo geralmente consumidos ou utilizados logo após sua aquisição, e sua utilidade diminui rapidamente ao longo do tempo, dentro de uma cadeia econômica linear, esses fatores quando associados as dificuldades dos sistemas públicos de gestão e tratamento de resíduos sólidos, justificam os altos índices contaminação por resíduos plásticos, seja em nível local ou mundial. A figura 2, representa o ciclo dos plásticos na natureza.

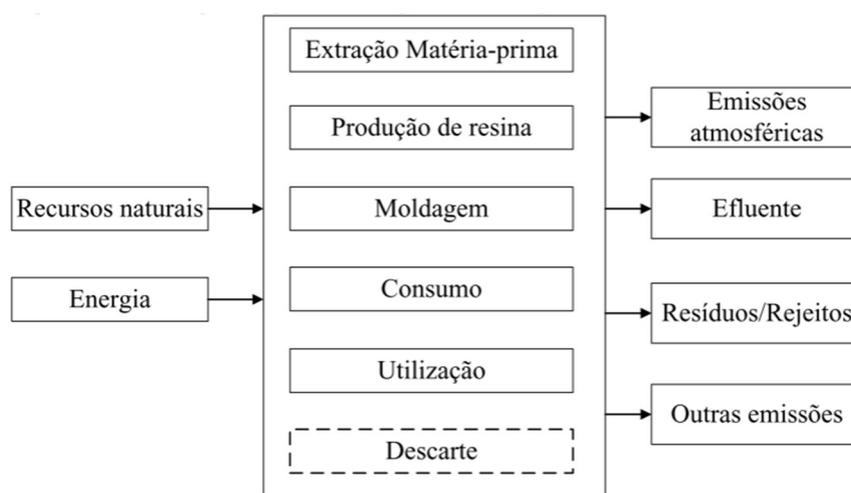


Figura 2: Fluxograma genérico de produção do plástico.

Fonte: Casagrande. (2018)

Estima-se que já foram produzidos mais de 9 bilhões de toneladas de plásticos, e dois terços já foram parar no lixo, enquanto um terço ainda continua sendo utilizado. Deste total somente 10% aproximadamente foram reciclados, ou reutilizados para novas funções ou aplicações. E o mais preocupante é que anualmente são jogados mais de 8 milhões de toneladas nos oceanos, trazendo uma série de consequências para a vida marítima, a pesca e ao turismo, fatos que ainda não temos os contornos definidos, contando somente com uma leitura superficial dos especialistas que já mostram que neste ritmo, em poucas décadas, teremos mais plásticos do que peixes nos oceanos. (Revista FAPESP, 2019, apud CONCEIÇÃO et al, 2019). Esse dado pode ser observado na figura 3.

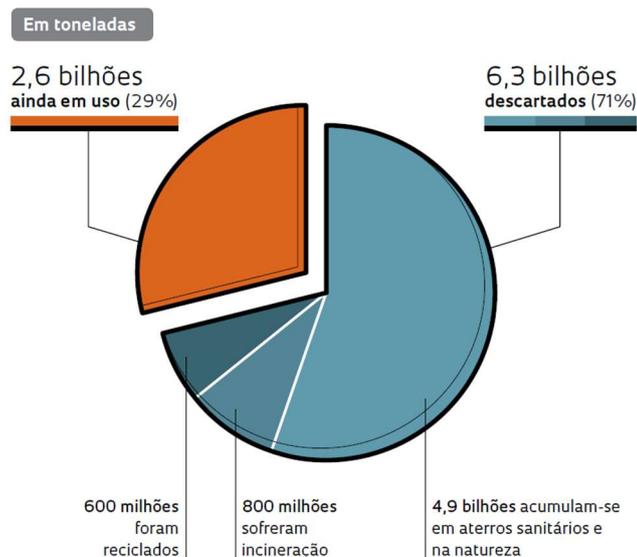


Figura 3: O destino do polímero no mundo.

Fonte: Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances. (2017)

Segundo a WWF, Science Advances, (2017), a produção global de plástico pode chegar a 550 milhões de toneladas em 2030, com um volume 40% superior ao nível atual, portanto percebe-se que passou da hora dos governos, entidades representativas do meio ambiental, empresas e organismos internacionais de prospectarem um plano de substituição desta matéria prima que poderá levar o planeta a um caos se não controlada sua produção e logística, e suas consequências para a vida no planeta Terra poderão ficar fora do controle. (CONCEIÇÃO et al, 2019). A figura a seguir apresenta uma projeção do crescimento da produção global do polímero.



Figura 4: Estimativa de crescimento na produção global de plásticos

Fonte: Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances. (2017)

Essa tendência preocupante, de acordo com dados da Revista FAPESP, (2019), ocorre dentre outros motivos devido as propriedades do plástico, como descreve José Ricardo Roriz Coelho, presidente da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (Abiplast):

Não é difícil entender as causas do vertiginoso crescimento da produção desses polímeros originários principalmente de materiais fósseis, como petróleo, gás e carvão. “O plástico é um material leve, resistente e durável, que traz inovações para o desenvolvimento da sociedade”.

Na **seção 2.4**, abordaremos de forma mais detalhada sobre as propriedades gerais do polímeros plásticos, apresentado os fundamentos físico-químicos que fazem desse material, o plástico, possuir uma vasta gama de aplicações.

O ciclo de vida dos plásticos não apresenta um ciclo de retorno global que torne responsáveis as partes afluentes por seus produtos após o ponto de venda. A redução dos custos de produção resultou em uma produção acelerada de plásticos virgens, alcançando a marca de 396 milhões de toneladas métricas em 2016, e na queda dos preços de venda. No entanto, os produtores de plástico não são responsabilizados pelos impactos negativos de sua produção, uma vez que o preço de mercado do plástico virgem não representa os custos totais de seu ciclo de vida para a natureza e para a sociedade. Nos Estados Unidos, China e Europa, a indústria petroquímica não é considerada suficientemente eletrointensiva e é isenta das regulamentações de carbono. Os fabricantes de produtos feitos a partir de plástico virgem, conhecidos como transformadores de plástico, limitaram sua responsabilidade pelos impactos de suas ações no que se refere aos resíduos e poluição plástica, fatores amplamente ignorados durante o design do produto. São insuficientes as iniciativas existentes que garantem que o lixo plástico seja tratado de forma adequada, e tampouco para que seja reutilizado na reciclagem ou reutilização. (WWF, 2019).

De acordo com ABIPLAST, (2015), a América Latina representa 4,4% do total global, e o Brasil possui quase metade dessa produção concentrada em PE, PP, PVC, PET e termoplásticos de engenharia. O Brasil é o quarto maior produtor de resíduos plástico do mundo (WWF, 2016), com 11,3 milhões de toneladas por ano, superados apenas pelos Estados Unidos, China e Índia, conforme quadro 1 e a figura 5. Deste total somente 1,28% foi reciclado, um dos menores índices do mundo, sendo que a média global gira em torno de 9%, segundo o Banco Mundial, dados do ano de 2018. Este quadro é mais relevante quando se refere ao Brasil, visto que mais de 40% dos resíduos domésticos do país são despejados em lixões a céu aberto, segundo o IBGE, (2017).

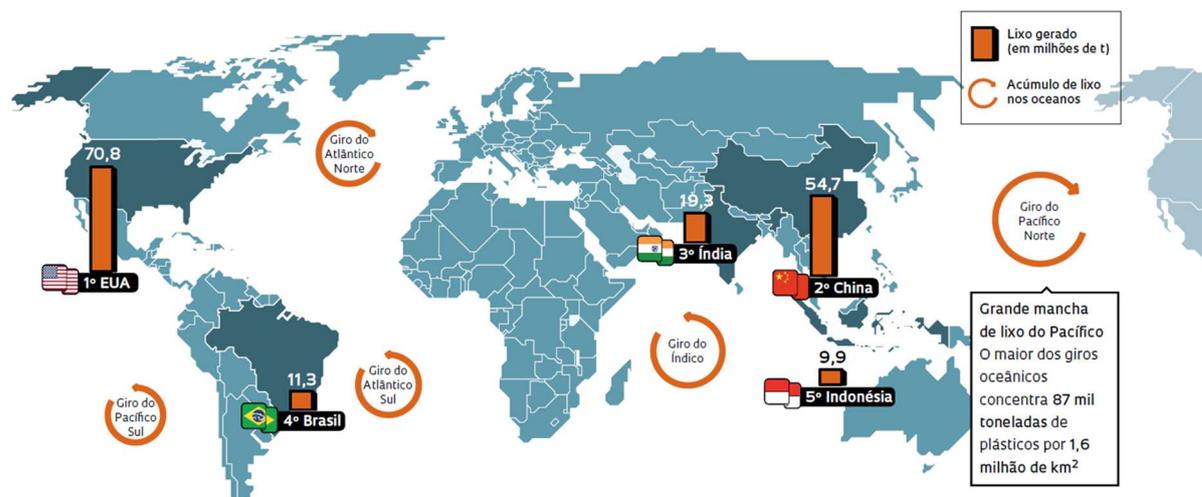


Figura 5: Brasil, o quarto maior gerador de resíduos plásticos.

Fonte: WWF, a partir de dados primários do relatório What a Waste 2.0 do Banco Mundial, Universidade Harvard e The Ocean Clean Up. (2016)

Sem infraestrutura adequada de saneamento básico, o país sofre com este tipo de poluição, visto que boa parte dos resíduos domésticos vão parar nas periferias das grandes cidades brasileiras, a onde o Estado não chega com seus investimentos em políticas públicas voltada ao Meio Ambiente saudável. (CONCEIÇÃO et al, 2019).

Quadro 1: Principais Produtores de Plástico no Mundo

País	Total de lixo plástico gerado	Total incinerado	Total reciclado	Relação produção e reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.200	0	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6696.763	207.354	1.423.139	21,25%

Fonte: Amorim. (2020)

Podemos associar o baixo índice da reciclagem de resíduos plásticos no Brasil com os dados sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos no país, avaliado por Mancini et al., (2021, apud SILVESTRIM et al, 2022), onde argumenta que “o Brasil recupera apenas 2,2% dos seus resíduos sólidos urbanos em unidades de triagem. Um valor muito abaixo de países desenvolvidos, por exemplo, em 2014 a Alemanha reciclou 67,3% entre compostagem e reciclagem de outros

componentes do resíduo sólido. Outra destinação que reaproveita os resíduos sólidos urbanos que é a energia, enquanto na Europa existiam 492 instalações de transformação de resíduos sólidos em energia em 2017, no Brasil se observa uma ausência total”.

O Aterro é a principal forma para disposição final de RSU, contudo 19,7% dos resíduos não foram coletados pela administração pública municipal e encerraram seu ciclo em cenários inadequados, sem gestão e controle, como mostra a Figura 6. (ABIPLAST, 2015).

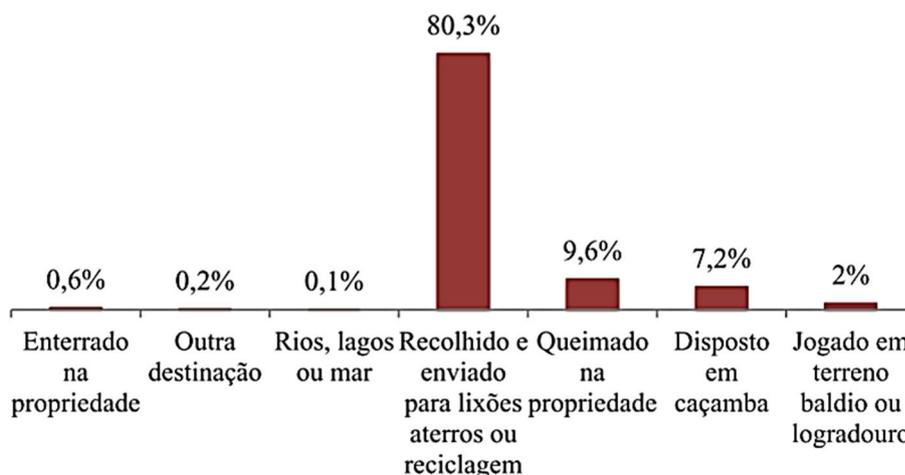


Figura 6: Destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Fonte: ABIPLAST. (2015)

Na região norte do país a situação é ainda mais preocupante, devido a vasta área territorial e as dificuldades enfrentadas quanto a reciclagem de seus resíduos, de acordo com SILVESTRIM et al, (2022), especificamente na cidade de Manaus, as entidades de catadores também desempenham papel na limpeza urbana local, que somente entre 2013 e 2020, captou 7,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos mensalmente e cresceu a uma taxa de 1% ao ano, assegurando assim, a coleta de um volume total de 8.938 toneladas de resíduos. Esse volume corresponde a uma a produção per capita de resíduos sólidos de aproximadamente 1,3 kg, sendo que apenas 2,2% dos resíduos gerados são reciclados. De acordo com Kieling et al, (2019), a geração de resíduos sólidos urbanos no planeta é em média 1,2 kg/pessoa/dia, no Brasil 1,06 kg e em Manaus 1,3 kg, acumulando na cidade, em 2015, 33.544 toneladas, sendo 13,4% plástico (4.495 toneladas) que acabaram descartadas no aterro sanitário, do km 19, da estrada AM-10. Na média geral do descarte de resíduos sólidos na cidade de Manaus, resíduo plástico figura logo após os resíduos sólidos orgânicos, possuindo um percentual de 87%, sendo que desse percentual a maioria do resíduo é composto por garrafas, sacolas, embalagens e potes plásticos respectivamente, como apresentado na figura 7.

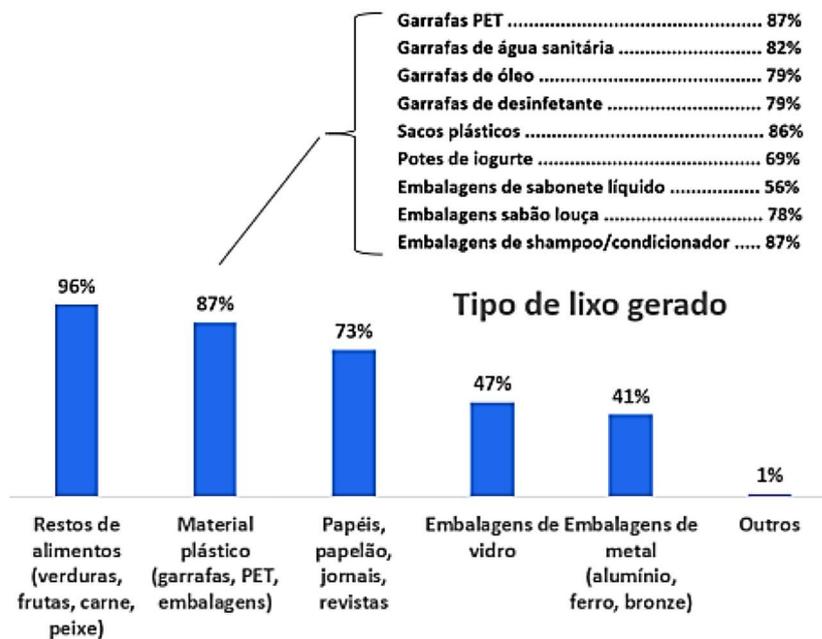


Figura 7: Percentual de resíduos sólidos descartados, por entrevistados na cidade de Manaus.

Fonte: Kieling et al. (2019)

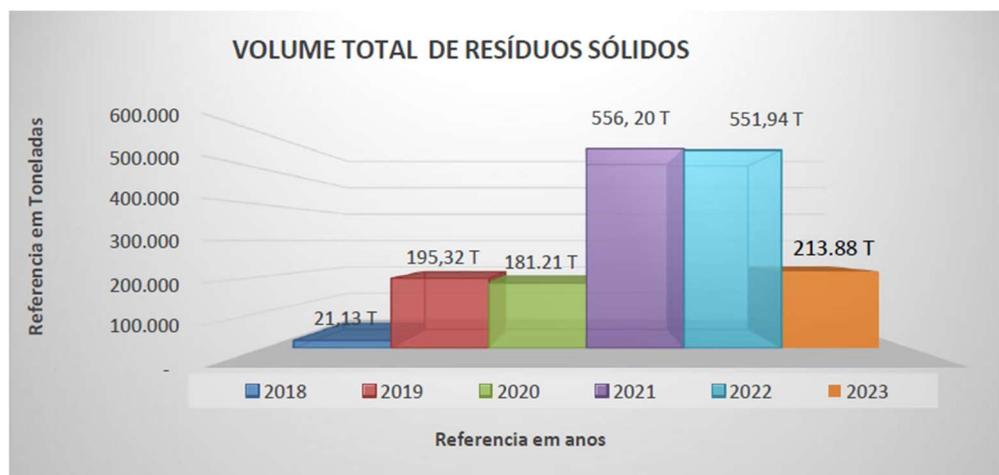
De acordo com o Kieling, (2019), a cidade Manaus chega a ultrapassar a média mundial e nacional quanto ao descarte de resíduos plásticos por pessoa diariamente, estando entre uma das capitais que mais descarta (portanto, consume), esse tipo de resíduo sólido e que nem sempre é coletado ou descartado de forma correta, acarretando em uma taxa crescente de poluição por esse resíduo, que por sua vez acabam se depositando nos rios, bacias, córregos e igarapés da cidade. A respeito da reciclagem do plástico na cidade de Manaus, Santos, (2017), argumenta:

Apesar de existirem uma variedade imensa de embalagens descartadas no ambiente, as de plástico e papelão se destacam de maneira mais visível. Em Manaus, não existe por parte da população uma consciência ambiental. Existe lixo acumulado e jogado nos igarapés do Educandos e São Raimundo, demandando na época de cheias ações da SEMULSP de retirada constante de lixo desses locais. A literatura aponta para um potencial de reaproveitamento de 15,03% do resíduo sólido sendo que os plásticos duros representam 5,62% para reciclagem.

Assim como em Manaus, os municípios que fazem parte de sua região Metropolitana, tem enfrentado problemas semelhantes, quanto aos impactos dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com Dres, (2023), no município de Manacapuru, esses resíduos vem ocasionando aos munícipes, sérios impactos como, prejuízos para o meio ambiente, nos corpos hídricos, super lotação de aterros sanitários, e na saúde da população.

No decorrer dos anos 2017 a 2018, após a estruturação do diagnóstico e manejo operacional dos resíduos sólidos urbanos de Manacapuru, a estimativa de coleta regular que engloba os resíduos comerciais e de limpeza urbana foi quantificada em torno de 2.564 toneladas de resíduos domiciliares, incluindo os de varrição que são enviados ao lixão, os quais chegam, aproximadamente, a uma média diária per capita de 0,848 kg/hab/dia. (DRES, 2023). Analisando os dados apresentados pelo Departamento de Resíduos Sólidos de Manacapuru – DRES, percebemos um significativo aumento de resíduos sólidos urbanos em especial o resíduo plástico, principalmente nos anos de transição da pandemia por Covid-19, representado no Gráfico 1 e no Quadro 2.

Gráfico 1: Análise gravimétrica do Volume de materiais coletados nos últimos 6 anos.



Fonte: DRES. (2023)

Quadro 2: Dados Volumétricos dos Resíduos Sólidos no Município de Manacapuru.

VOLUME TOTAL EM TONELADAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS REF: ÚLTIMOS 06 ANOS						
ANO	PAPEL	PLÁSTICO	FERRO	OUTROS METAIS	TOTAL ANUAL	PERCENTUAL
2018	9.155	3.756	7.157	1,069	21,137	1%
2019	143.289	35.557	15.726	0,757	195.329	11%
2020	127.053	36.906	16.550	0,701	181.210	11%
2021	320.894	127.077	86.642	21,596	556.209	32%
2022	362.179	158.506	30.605	0,655	551.945	32%
2023	143.578	57.474	12.628	0,208	213.888	12%
TOTAL	1.106.148	419.276	169.308	24,9855	1.719.718	100%
PERCENTUAL	64%	24%	10%	2%		100%

Fonte: DRES. (2023).

De modo geral não se pode negar as vantagens que os materiais plásticos trouxeram a sociedade moderna, porém com sua rápida ascensão vieram também os problemas, que vale ressaltar, não consiste apenas no material (plástico) em si, mas que principalmente, está nas mãos, daquele que extrai, processa, distribui e dá o destino final aos materiais plásticos, ou seja, o ser humano. Sabe-se hoje que os resíduos plásticos estão em quase todo lugar, inclusive dentro dos seres vivos na forma de microplásticos, afetando a saúde em muitos níveis, além disso esses resíduos tem sido um grande problema para os ecossistemas terrestres e aquáticos, afetando a biota e também a paisagem natural, tornando-se um agravo para regiões desamente povoadas, onde o descarte não possui o destino correto, como nos grandes centros urbanos, como exemplifica figura a seguir.



Figura 8: Remoção de resíduos sólidos, Igarapé do Franco Manaus.

Fonte: SEMULSP. (2022)

2.3 O CONCEITO DE PLÁSTICO

Segundo Miranda *et al.* (2018), a palavra plástico é proveniente do grego “*plastikos*” cujo significado é “flexível”. Logo, trata-se de todo material que pode ser trabalhado por pressão e calor para confecção de outros objetos. Dessa forma, os diversos objetos presentes no nosso cotidiano não são provenientes diretamente da natureza, mas passaram por uma série de transformações para sua confecção. (MAIA, 2021).

2.4 PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS POLIMÉROS

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição), assim um polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. (CALLISTER; RETHWISCH, 2009). De acordo com Canevarolo, (2002) de todos os produtos, o petróleo é a fonte mais importante para fabricação de plásticos. Por meio da destilação fracionada do óleo cru, várias frações podem ser obtidas, como pode ser visto na Figura 9. Ainda segundo estes autores, os polímeros incluem os materiais familiares de plástico, borracha e fibras, dependendo de sua estrutura química, número médio de meros por cadeia e tipo de ligação covalente. São caracterizados como compostos orgânicos quimicamente baseados em carbono, hidrogênio, e outros elementos não metálicos. Estes materiais têm tipicamente grandes estruturas moleculares, de baixa densidade, o que confere leveza ao produto final, e podem ser extremamente flexíveis. (CASAGRANDE, 2018).

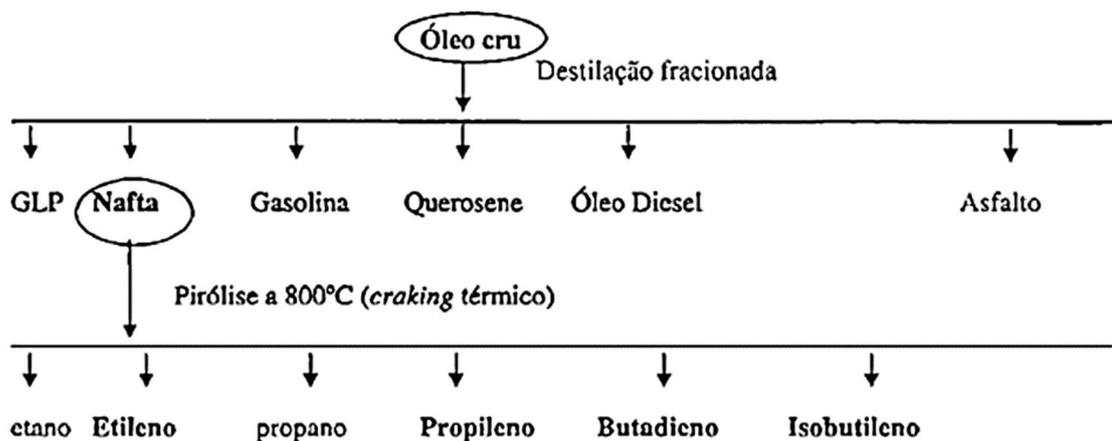


Figura 9: Sequência da indústria petroquímica de primeira geração.

Fonte: Canevarolo. (2002 apud Casagrande 2018)

A fração de interesse para polímeros é a Nafta que após craking térmico apropriado gera várias frações gasosas contendo moléculas saturadas e insaturadas que são separadas e aproveitadas para a síntese de polímeros. Os plásticos abrangem o maior número de materiais poliméricos, e com uma alta massa molar, servindo para aplicações de usos gerais com grande variedade de combinações de propriedades. O polietileno, polipropileno, cloreto de polivinila, poliestireno, fluorcarbonos, epóxis, fenólicos e poliésteres, podem ser classificados como plásticos de commodities. (CANEVAROLO JR., 2002). De acordo com Casagrande, (2018), os plásticos podem ser divididos em duas grandes categorias, chamadas de termoplásticos e termofixos (Figura 10). Esta classificação se dá de acordo com a resposta do material à aplicação de forças mecânicas em temperaturas elevadas, que varia conforme sua estrutura molecular dominante.

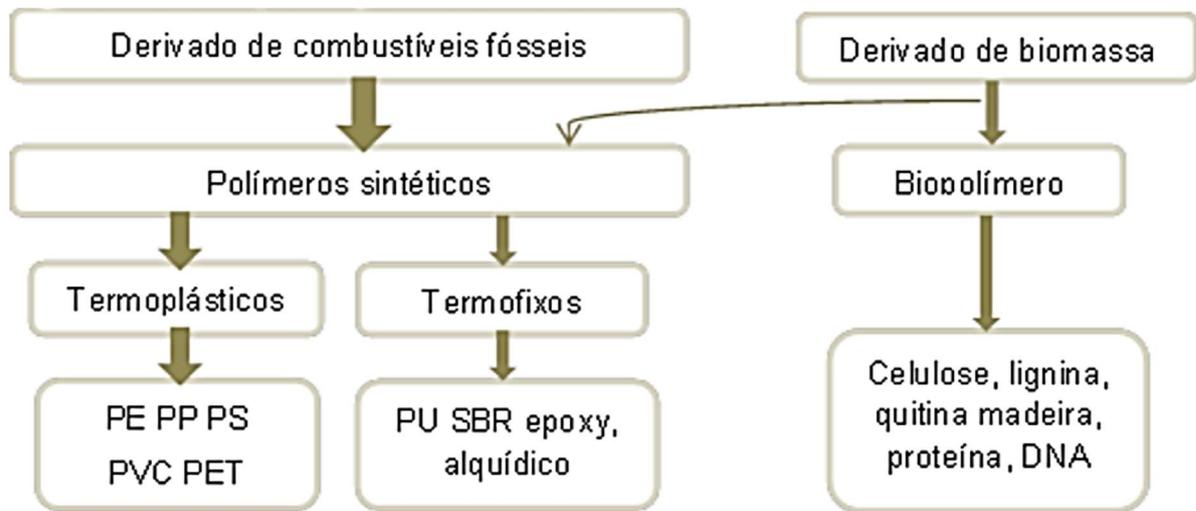


Figura 10: Plásticos Sintéticos e Naturais mais comuns.

Fonte: GESAMP. (2015, apud Casagrande 2018)

Na tabela 2, são apresentados os polímeros mais comuns (também chamados de plásticos de comodites), e suas aplicações mediante suas propriedades.

Tabela 2: Tipos mais comuns de plásticos e suas utilizações.

<i>Plásticos</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Principais usos</i>
Poli (tereftalato de etileno (Polyethylene Terephthalate – PET)		Resistente e com boas propriedades isolantes contra gases e umidade. Utilizado em fibras para roupas, carpetes, e principalmente em garrafas e recipientes de alimentos, cintas e plásticos de engenharia para partes com moldagem precisa.
Polietileno de alta densidade (High Density Polyethylene – HDPE)		Usado para embalagens devido a excelente resistência química e de umidade em alimentos que não necessitam de barreira de oxigênio ou CO2, uso geral para embalagem de cosméticos, produtos químicos industriais, bebidas, filmes, entre outros.
Poli (cloreto de vinila) (Polyvinyl Chloride – PVC)		Excelente transparência, resistência elétrica e química e boa resistência a intempéries, sua aplicação se concentra em mercados de construção, que inclui tubos e acessórios, revestimentos, pisos rígidos e janelas.
Polietileno de baixa densidade (Low Density Polyethylene - LDPE)		Tem como característica tenacidade, flexibilidade e transparência, com baixo ponto de fusão por isso é usado para vedações a quente, bem como em pelícuais flexíveis e garrafas, é amplamente usado em fios e cabos por possuir propriedade elétrica estável.
Polipropileno (Polypropylene – PP)		Tem excelente resistência química e é comum em emgalagens flexíveis e rígidas, recipientes, frascos de medicamentos, devido ponto de fusão elevado, torna-se ideal para líquidos quentes, também usados para tecidos, carpetes e produtos automotivos;
Poliestireno (Polystyrene – PS)		É versátil e pode ser rígido ou poroso quando expandido, geralmente usado quando a transparência é importante, como embalagem de medicamentos e alimentos, material de laboratório e em certos usos eletrônicos, o poliestireno expandido se aplica em bandejas de carnes, peixes, queijos, caixas de ovos, por sua leveza, rigidez e excelente isolamento térmico.

Fonte: Adaptado, Casagrande. (2018)

Um termoplástico, também chamado de plástico termoamolecente, é um plástico que se torna flexível ou moldável acima de uma temperatura específica e retorna ao estado sólido após o resfriamento. A maioria dos termoplásticos tem alto peso molecular. As cadeias de polimoléculas se associam entre si por meio de forças intermoleculares, o que permite que os termoplásticos sejam remodelados porque as interações intermoleculares aumentam após o resfriamento e restauram as propriedades em massa. Dessa forma, os termoplásticos diferem dos polímeros termoendurecíveis, que formam ligações químicas irreversíveis durante o processo de cura. Os termoendurecíveis geralmente não derretem, mas quebram e não se reformam após o resfriamento. Acima de sua temperatura de transição vítrea, (T_g), e abaixo de seu ponto de fusão (T_m), as propriedades físicas de um termoplástico mudam drasticamente sem uma mudança de fase associada. (PIA, 2024)

Os materiais termofixos ou termoestáveis se amoldam por aquecimento, mas depois de certo tempo adquirem uma estrutura peculiar (ligações cruzadas) na qual endurecem rapidamente e se convertem em materiais rígidos que, se aquecidos em excesso, se carbonizam antes de recuperar a maleabilidade (degradação de sua estrutura química). (PASSATORE , 2013).

Dentro dessa faixa de temperatura, a maioria dos termoplásticos é emborrachada devido à alternância de regiões amorfas rígidas cristalinas e elásticas, aproximando-se de bobinas aleatórias. Alguns termoplásticos não cristalizam completamente acima da temperatura de transição vítrea (T_g), retendo algumas ou todas as suas características amorfas. Plásticos amorfos e semi-amorfos são menos resistentes a ataques químicos e rachaduras por estresse ambiental porque não têm estrutura cristalina. A fragilidade pode ser reduzida pela adição de plastificantes, que aumentam a mobilidade de segmentos de cadeia amorfa para reduzir efetivamente a (T_g). (PIA, 2024).

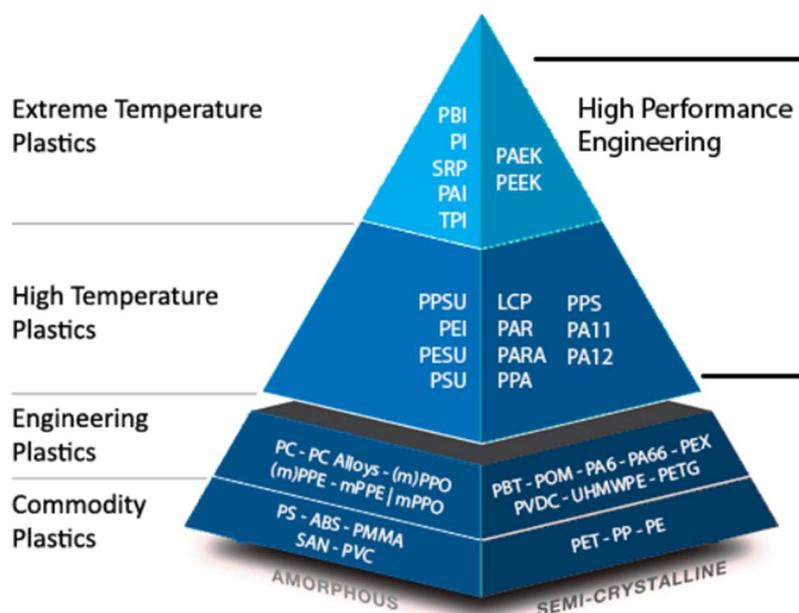


Figura 11: Classificação de diferentes polímeros, quanto ao desempenho mecânico e abrasivo.

Fonte: PIA, (2024)

De acordo com Polymers International Austrália (2024), os polímeros podem ser caracterizados quanto ao seu estado molecular, apresentado forma **semi-cristalina**: os polímeros semi-cristalinos têm uma estrutura molecular altamente ordenada com pontos de fusão nítidos. eles não amolecem gradualmente com um aumento de temperatura; em vez disso, os materiais semi-cristalinos permanecem sólidos até que uma determinada quantidade de calor seja absorvida e depois mude rapidamente em um líquido de baixa viscosidade. Esses materiais são anisotrópicos em fluxo, diminuindo menos na direção do fluxo versus transversal para o fluxo. Eles têm excelente resistência química. Já os polímeros **amorfo**s, possuem uma estrutura molecular ordenada aleatoriamente que não possui um ponto de fusão nítido; em vez disso, os materiais amorfos suavizam gradualmente à medida que a temperatura aumenta. Esses materiais mudam de viscosidade quando aquecidos, mas raramente são tão fáceis quanto os materiais semi-cristalinos. Como resultado, os materiais amorfos normalmente exibem menor encolhimento de moldes e menos tendência a deformar do que os materiais semi-cristalinos.

A estrutura do estado sólido em polímeros consiste no modo como as cadeias moleculares estão empacotadas formando a massa sólida. Este pode ser desordenado, formando a fase amorfa; ou ordenado, regular e repetitivo, definindo a fase cristalina. Assim, a cristalinidade em polímeros consiste no alinhamento de segmentos de cadeias em um arranjo tridimensionalmente perfeito. (CANEVAROLO, 2002).

Segundo Canevarolo (2002), a maioria das propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros semicristalinos dependem do grau de cristalinidade e da morfologia das regiões cristalinas. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional, resistência química, resistência à abrasão, temperatura de fusão (T_m), temperatura de transição vítrea (T_g), etc. Por outro lado, reduzem-se as propriedades de resistência ao impacto, alongação na ruptura, claridade óptica, etc. De acordo com o autor o processo de semi-cristalização pode ocorrer na forma de dois modelos, sendo o primeiro **Modelo da miscela Franjada**, nesse modelo, os polímeros semicristalinos são constituídos por duas fases distintas: cristalitos pequenos, de aproximadamente 100 Å, dispersos numa matriz amorfa, conforme mostrado nas figuras 12 e 14. O segundo é o **Modelo das cadeias dobradas, Lamelas ou Cristal Único**, neste modelo formam-se monocristais poliméricos, crescidos a partir do resfriamento de soluções diluídas, esses cristais podem ser vistos por microscopia eletrônica como placas finas, chamadas “lamelas”, de espessura entre 100 e 200 Å.

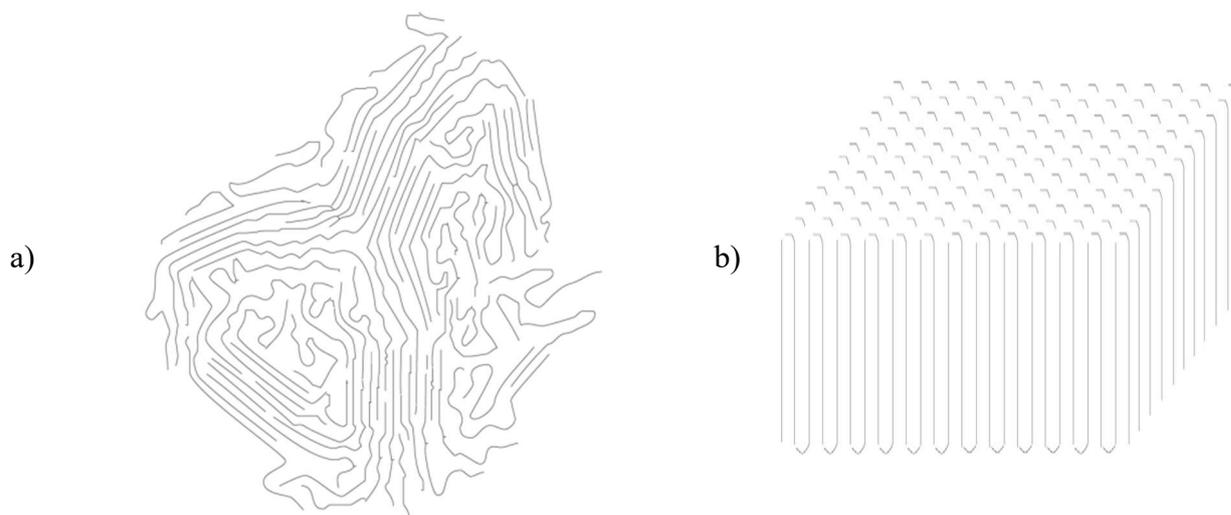


Figura 12: (a) Modelo de cristalização segundo a Teoria da Miscela Franjada. Cadeias se arranjam de forma regular, umas ao lado das outras, em algumas regiões dentro da massa polimérica, (b) Modelo de cristalização segundo a Teoria das Cadeias Dobradas. A cadeia polimérica dobra-se sobre si mesma formando uma fina fita chamada de lamela.

Fonte: Canevarolo. (2002)

De acordo com o autor, quando um polímero cristalizável fundido é resfriado, a cristalização se inicia em núcleos individuais e se desenvolve radialmente, formando os **esferulitos**, que são uma variação das dobras poliméricas. Estas estruturas possuem diferentes tamanhos e graus de perfeição, sendo tão importantes quanto as estruturas de grãos em materiais policristalinos, pois sua morfologia interfere diretamente nas propriedades do material, os esferulitos são representados na figura abaixo.

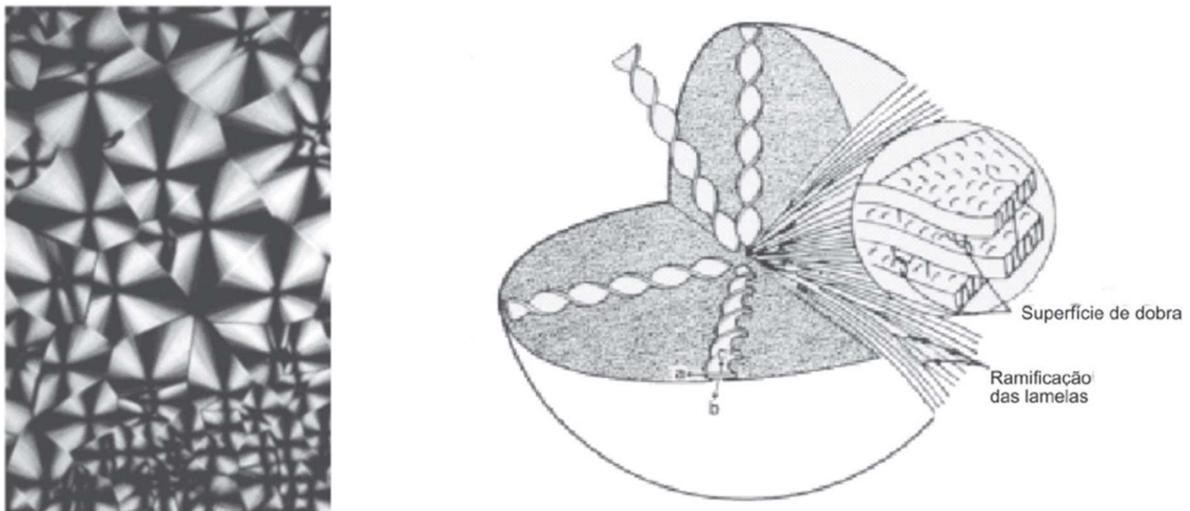


Figura 13: Micrografia óptica (mostrando a Cruz de Malta) e modelo de um esferulito. No detalhe têm-se lamelas cristalinas com fase amorfa (não mostrada) entre elas.

Fonte: Canevarolo. (2002).

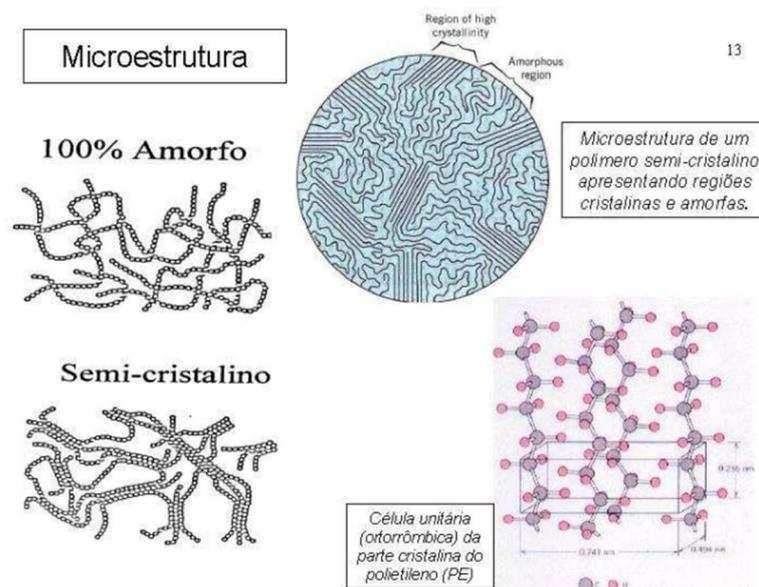


Figura 14: Relação entre polímeros amorfos e cristalinos.

Fonte: Passatore. (2013)

O Modelo de Lamelas prevê que todas as cadeias da fase cristalina dobram sobre si mesmas formando um cristal único, e o Modelo de Miscela Franjada não espera tal comportamento. Estes dois modelos são casos extremos, em que um espera que todas as cadeias formem dobras e outro que nenhuma o forme. Na prática, o esperado é uma situação intermediária entre os dois, com a co-existência de cadeias dobradas e cadeias que saem do cristal indo para a fase amorfa e ao retornarem ao cristal o fazem em posições mais afastadas. (CANEVAROLO JR, 2002).

A partir de um experimento de densitometria, como apresentado na tabela 2, o autor, afirma que o grau de cristalinidade do PET varia muito, dependendo do tipo de aplicação (para garrafa descartável ou para fiação) e da posição na garrafa. Como a garrafa descartável de PET foi desenvolvida para substituir a de vidro, ela deve ser transparente. Ao mesmo tempo, deve ser resistente o suficiente para suportar a pressão interna comum ao armazenamento de bebidas gaseificadas. Também por questões econômicas é necessário produzir garrafas com a parede o mais fina possível. Para conseguir a maior resistência mecânica possível de um polímero, é necessário utilizá-lo na forma parcialmente cristalizada.

Quadro 3 – Grau de cristalinidade de PET processado.

PET	Posição	Densidade (g/cm ³)	Volume específico (cm ³ /g)	Grau de cristalinidade (%)
Garrafa descartável (2 litros)	Gargalo	1,341	0,746	5
	Corpo	1,366	0,732	30
Grãos para fiação	Grãos	1,402	0,713	60

Fonte: Canevarolo.(2002)

Os polímeros são constituídos de moléculas formadas pelo encadeamento de milhares ou milhões de átomos. Por serem muito longas, estas cadeias se entrelaçam formando um emaranhado que interage fortemente. Esta é uma das razões da grande resistência mecânica dos polímeros, o que possibilita que sejam utilizados na confecção de muitos objetos, tais como móveis, peças automotivas e peças para construção civil. Se as cadeias de macromoléculas estiverem não apenas entrelaçadas, mas unidas através de ligações químicas, as chamadas ligações cruzadas, a resistência mecânica é aumentada, permitindo a confecção de peças e objetos bastante resistentes. Estes polímeros conseguem suportar condições relativamente drásticas de uso, como choques, atritos ou tração. Outras vantagens da presença de muitas ligações cruzadas entre as cadeias de

macromoléculas são a estabilidade e resistência térmica. São propriedades como resistência mecânica, resistência térmica, estabilidade frente a substâncias químicas, resistência elétrica, permeabilidade a gases etc. que irão determinar como o polímero vai ser utilizado. (PASSATORE, 2013).

A respeito das propriedades físico-químicas e mecânicas dos polímeros, o quadro 4, correlaciona as propriedades gerais dos polímeros com a utilidade a aplicação das mesmas em diferentes materiais e usos.

Quadro 4: Propriedades gerais dos polímeros.

PROPRIEDADES GERAIS	APLICAÇÃO PRÁTICA DE USO
Densidade	<i>Os polímeros apresentam uma densidade relativamente baixa se comparados a outros materiais. A faixa de variação de densidade destes materiais estende-se de aproximadamente 0,9 g/cm³ até 2,3 g/cm³. Mais leves que metais ou cerâmica. Exemplo: o PE é 3 vezes mais leve que o alumínio e 8 vezes mais leve que o aço. Motivação para uso na indústria de transportes, embalagens, equipamentos esportivos, etc.</i>
Condutibilidade térmica	<i>A condutibilidade térmica dos polímeros situa-se na faixa de 0,15 a 0,5 W/mK. Um motivo para baixa condutibilidade térmica destes materiais é a falta de elétrons livres no material. Uma desvantagem da péssima condutibilidade térmica aparece no processamento dos polímeros. O calor necessário para o processamento só pode ser introduzido lentamente, e no final do processamento, também é novamente de difícil remoção. A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais.</i>
Condutibilidade elétrica	<i>Em geral os polímeros conduzem muito mal a energia elétrica. Eles têm elevada resistência e com isso baixa condutibilidade em comparação a outros materiais. A resistência elétrica dos polímeros é dependente da temperatura e diminui com o aumento da temperatura. A razão para a baixa condutibilidade elétrica é a mesma para a térmica, a falta de elétrons livres. Observando esta propriedade os polímeros são altamente indicados para aplicações onde se requeira isolamento elétrico.</i>
Permeabilidade a luz	<i>Os termoplásticos amorfos, como o PC, PMMA, PVC bem como a resina UP, não se diferenciam consideravelmente em sua transparência do vidro que chega a 90%, isto corresponde a um nível de transmissão de 0,9. Porém uma desvantagem dos polímeros é que influencias do meio ambiente, como por exemplo, atmosfera ou variação de temperatura, pode causar turbidez e com isso, piora a transparência.</i>

<p>Resistência à corrosão</p>	<p><i>As ligações químicas presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação metálica). Isso, contudo, não quer dizer que os plásticos sejam completamente invulneráveis ao problema.</i></p>
<p>Porosidade</p>	<p><i>O espaço entre as macromoléculas do polímero é relativamente grande. Isso confere baixa densidade ao polímero, o que é uma vantagem em certos aspectos. Esse largo espaçamento entre moléculas faz com que a difusão de gases através dos plásticos seja alta. Em outras palavras: esses materiais apresentam alta permeabilidade a gases, que varia conforme o tipo de plástico. A principal consequência deste fato é a limitação dos plásticos como material de embalagem, aparente no prazo de validade mais curto de bebidas acondicionadas em garrafas de PET.</i></p>
<p>Propriedades mecânicas importantes</p>	<p><i>a) Alta resistência ao impacto. Tal propriedade, associada à transparência, permite substituição do vidro em várias aplicações.</i></p> <p><i>b) Alta flexibilidade, variável ao longo de faixa bastante ampla, conforme o tipo de polímero e os aditivos usados na sua formulação</i></p> <p><i>c) Baixas Temperaturas de Processamento - Conformação de peças requer aquecimento entre T_{amb} e 250 °C. Alguns plásticos especiais requerem até 400°C. Disso decorre baixo consumo de energia para conformação e requer equipamentos mais simples e não tão caros quanto para metais ou cerâmica.</i></p> <p><i>Obs: As propriedades mecânicas podem ser alteradas com a adição de aditivos:</i></p>

Fonte: Adaptado, Passatore. (2013)

O autor argumenta também que os polímeros podem ser utilizados como compósitos, possuindo uma vasta gama de aplicação, na maioria das vezes são associados a tintas e vernizes, adesivos, compósitos de matriz polimérica etc. A técnica usada para o processamento de um polímero depende basicamente: do material ser termoplástico ou termofixo; da temperatura na qual ele amolece, no caso de material termoplástico; da estabilidade química (resistência à degradação oxidativa e à diminuição da massa molar das moléculas); da geometria e das dimensões do produto final. Os materiais poliméricos normalmente são processados em temperaturas elevadas (acima de 100 °C) e geralmente com a aplicação de pressão. Os termoplásticos amorfos são processados acima da temperatura de transição vítrea e os semicristalinos acima da temperatura de fusão. Em ambos os casos a aplicação de pressão deve ser mantida durante o resfriamento da peça para que a mesma retenha sua forma.

Outra vantagem que os polímeros podem apresentar, é a capacidade de realizar misturas entre si, formando as blendas poliméricas, como explica Santos et al., (1999), as blendas poliméricas são importantes materiais que se destacam pela ampla faixa de razão custo/benefício. Suas propriedades físicas e químicas podem ser alteradas para uma vasta gama de aplicações, proporcionando desempenho desejável para o produto final. O desenvolvimento de uma blenda polimérica é muitas vezes uma excelente alternativa para o setor de seleção de materiais poliméricas. O processamento de blendas poliméricas consiste basicamente de duas etapas principais: a de mistura ou preparação e a de moldagem ou conformação. Ambas etapas influenciam nas propriedades finais da blenda polimérica. A fusão desses polímeros, geralmente é realizada para mesclar as propriedades físico-químicas e também mecânicas de diferentes plásticos.

Assim, quando a blenda é moldada no estado fundido pode perder algumas das características obtidas durante o processo de mistura por extrusão. Aspectos importantes como: degradação térmica, propriedades reológicas, orientação molecular sob fluxo, e solidificação dos componentes poliméricos podem proporcionar mudanças morfológicas significativas. Portanto, é desejável que a blenda mantenha sua estabilidade morfológica após o processo de moldagem para proporcionar propriedades finais desejadas.

2.5 NATUREZA DOS COMPÓSITOS

De acordo com Moreira (2009), compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e em que um dos materiais garante a ligação - matriz – e o outro a resistência – reforço, esse reforço, em geral, apresenta-se sob a forma de partículas, fibras curtas ou fibras longas (com diâmetros compreendidos entre 0.003 e 0.03 mm), como exemplifica a figura a seguir:

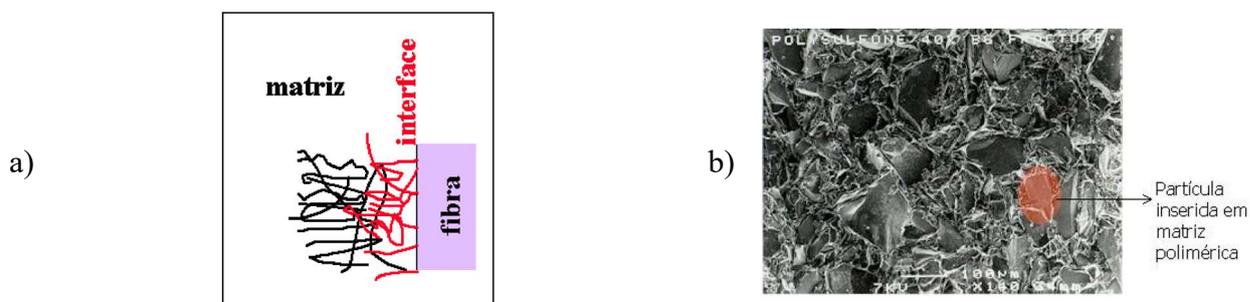


Figura 15: a) Esquematização genérica de um material compósito. b) Microscopia (através de microscópio electrónico de alta resolução) da estrutura de um material compósito.

Fonte: Moreira. (2009)

A respeito dos compósitos a autora afirma que os mesmo podem possuir variadas formas, dependendo do material escolhido como o “reforço”, essa classificação é mostrada no esquema a seguir:

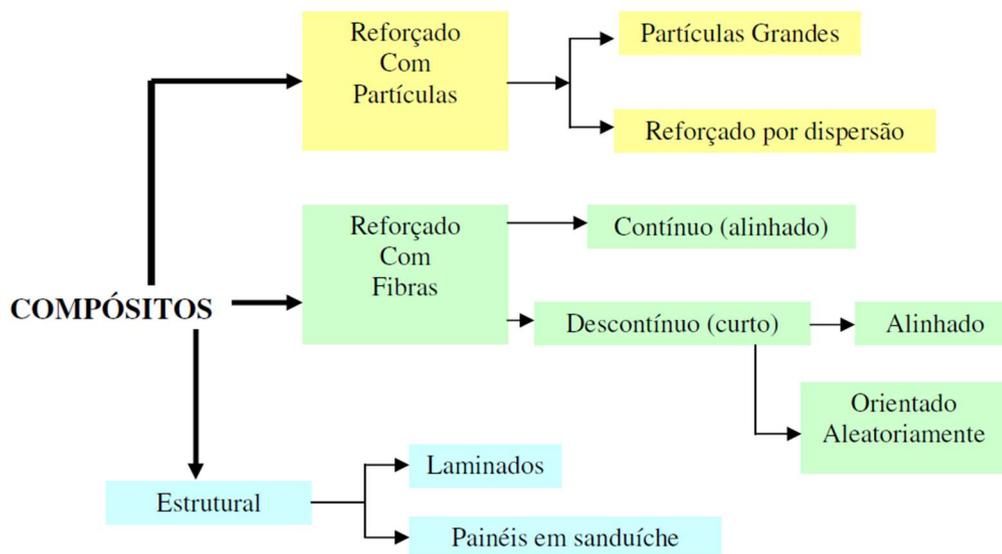


Figura 16: Classificação dos compósitos.
Fonte: Moreira. (2009)

Na produção de um artefato de plástico ou de borracha a escolha da formulação do compósito é fundamental. Os aditivos mais usados para polímeros são as cargas, plastificantes, antioxidantes, agentes de vulcanização, corantes, retardantes de chama, agentes antiestática, lubrificantes, modificadores de impacto e agentes de expansão. Dependendo da finalidade para qual o produto é desenvolvido, são empregados determinados aditivos. (PASSATORE , 2013).

As cargas ou enchimentos como descreve Passatore (2013), são aditivos adicionados aos plásticos para otimizar as propriedades a um custo mínimo, possuindo finalidades específicas. As cargas podem ser divididas em cargas diluentes ou de reforço. As cargas de reforço, como o negro de fumo e as fibras de vidro ou carbono, melhoram a resistência mecânica das peças fabricadas. As características físicas e químicas das cargas podem variar dependendo de sua composição química. Alguns requisitos são necessários a uma carga como: baixo custo, estabilidade térmica, disponibilidade, baixa densidade, ser neutra, fácil de manusear, baixa absorção de óleo e água, não absorver o polímero ou impedir o seu escoamento. No quadro 5, são apresentadas as principais cargas utilizadas como aditivos de reforço alguns polímeros.

Quadro 5: Cargas Aditivas.

	Tipo de Carga	Exemplos
Carga Orgânica	Celulósicos	Madeiras e fibras (algodão, juta, rayon, etc)
	Fibras sintéticas	Poliéster, poliacrilonitrila, poliamidas aromáticas, nylon, poli(álcool vinílico)
	Carbônicas	Negro de fumo e grafite
Carga Inorgânica	Silicatos	Mineral (asbesto, mica, talco) e sintético (silicato de cálcio ou de alumínio)
	Com base na sílica	Mineral (areia, terras diatomáceas, quartzo) e sintético
	Vidro	Esferas, flocos e fibras
	Carbonato de cálcio	
	Metálicas	
	Óxidos metálicos	Óxidos de zinco, óxido de magnésio e óxido de chumbo
	Filamentos de boro	

Fonte: Passatore. (2013)

O principal objetivo de se produzirem compósitos é o de combinar diversos materiais para produzir um único com propriedades superiores às dos componentes isolados, pelo que a combinação dos materiais constituintes é decidida a partir da aplicação específica que se pretende dar ao material compósito. A concepção deste tipo de materiais é milenar: existem referências escritas sobre a utilização de argila reforçada com palha em tijolos no Antigo Egito. No século XIX já se utilizavam barras de ferro para reforçar alvenarias, abrindo-se assim o caminho para o desenvolvimento do betão armado; nos anos 40 do século XX generalizou-se a utilização de plásticos reforçados em componentes eléctricos e a partir de 1960 desenvolveram-se as fibras de carbono que foram a partir de 1968 aplicadas em aviões. (MOREIRA, 2009).

Nessa perspectiva a criação de compósitos que associem areia de construção a polímeros como o plástico, é uma proposta audaciosa, quanto a descoberta de novas propriedades que esse material pode oferecer, principalmente quando associados a fabricação de pavers intertravados.

Segundo Moreira (2009), outras vantagens dos materiais compósitos são a resistência a temperaturas extremas, à corrosão e ao desgaste que podem conduzir a custos mais baixos do ciclo de vida do produto. Apesar de não serem classificados de compósitos avançados, **os betões poliméricos** surgem como materiais compósitos com um potencial de crescimento muito elevado nos próximos anos.

A utilização de polímeros em betões, remonta a 1923 quando pela primeira vez foi patenteado um betão para pavimentos contendo látex natural, sendo que o cimento portland era utilizado como filler. Somente em 1924 é que seria emitida a primeira patente sobre betões de ligantes hidráulicos modificados com polímeros. (OHAMA, 1998, & PACHECO-TORGAL, 2009).

O betão polimérico ou betão de resina é um material compósito onde uma resina termoendurecida liga inertes naturais, como por exemplo a areia de sílica. As vantagens dos betões de resina, comparativamente aos betões de cimento, são a alta resistência, elevada duração, permeabilidade muito baixa e tempos de cura rápidos. Quando é usada areia fina como massa mineral o compósito referido designa-se por argamassa polimérica. Outras massas ou partículas incluem brita, gravilha, limalha de pedra, calcário e sílica (sílica moída ou sílica em pó), granito, quartzo, argila, etc. (FERREIRA, 2001).

Quanto ao processo de produção de betões poliméricos Ferreira (2001), consiste na mistura de um monómero ou um pré-polímero, isto é, produto resultante da polimerização parcial de um monómero), um endurecedor e um catalizador, com os finos, podendo outros ingredientes ser acrescentados à mistura, incluindo plastificantes e retardantes de fogo.

Os compósitos em betão polimérico têm realmente boa resistência ao ataque químico e a outros agentes corrosivos, muito baixas propriedades de absorção de água, boa resistência a abrasão e marcada resistência à congelação e descongelação. Dada a grande resistência do betão polimérico em comparação com o betão de cimento Portland, poder-se-á obter ganhos em termos da quantidade de material, colocando o betão polimérico numa base competitiva com o betão de cimentos em certas aplicações especiais. A resistência química e as propriedades físicas são geralmente determinadas pela natureza do polímero de ligação em maior extensão, do que pelo tipo e quantidade de finos usados no agregado. Retomando o assunto, as propriedades da matriz polimérica são altamente dependentes do tempo e da temperatura à qual é exposta. A sua resposta à deformação é altamente variável, dependendo da sua formulação; o módulo de elasticidade ronda entre 20 a cerca de 50 GPa, e a sua deformação à fratura por tração é geralmente de 1%. A deformação por contração varia com o tipo de polímero usado e o resultado obtido é específico de cada aplicação. (FERREIRA, 2001). Algumas dessas propriedades são apresentadas no quadro 6.

Quadro 6: Propriedades de uma amostra de betão polimérico.

Propriedade	Valor
Resistência à flexão	38.7MPa
Resistência à compressão	82 MPa
Módulo de elasticidade à compressão	11.5 GPa

Fonte: Ferreira. (2001)

2.6 CARACTERIAZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AREIA

Na **seção 2.4**, foram abordadas as propriedades dos polímeros, neste tópico abordaremos um pouco sobre a sílica e os silicatos, que são os componentes químicos majoritários nos mais variados tipos de solos, dentre estes o solo arenoso.

A crosta terrestre é composta de 27,7% de silício. Nela, somente o átomo de oxigênio é mais abundante. O silício é um sólido duro, de cor cinza escuro, apresentando certo brilho metálico. Do latim, silex ou silicis, que quer dizer “pedra dura”, o silício só ocorre se combinado. O composto químico mais abundante na crosta terrestre combinado com o oxigênio é a sílica (SiO_2 - dióxido de silício); já com o oxigênio e outros elementos formam os chamados silicatos (como por exemplo, de alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio ou ferro). (GOMES et al., 2018)

Segundo Gomes et al., (2018), a designação “sílica” é utilizada como uma conveniente abreviação para dióxido de silício, seja na forma cristalina, amorfa, e hidratada, ou na forma hidroxilada, também designada como “silanol”, “siloxanol” ou “silicol”. A sílica apresenta-se em unidades tetraédricas (SiO_4), constituídas de 1 átomo de silício rodeado por 4 átomos de oxigênio o que lhes dá uma carga total possível de -4. Essa estrutura permite a formação de uma rede cristalina tridimensional através do compartilhamento dos oxigênios com grupos vizinhos (Figuras 17 e 18).

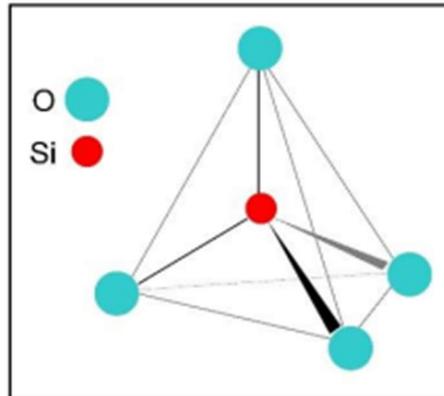


Figura 17: Unidade básica dos tetraedros de sílica (SiO_4)⁴⁻.
Fonte: Gomes, L. S. et al, 2018.

A sílica ocorre, na natureza, em duas formas: amorfa e cristalina. A amorfa é representada pela diatomita que consiste de uma matéria prima mineral de origem sedimentar, constituída a partir do acúmulo de carapaças de algas diatomáceas que se fossilizaram ao longo de períodos geológicos, pela deposição da sílica sobre sua estrutura. A sílica cristalina pode ser encontrada, relativamente pura, na forma de cristal de rocha, veio de quartzo, areia não consolidada e consolidada como arenito e quartzito. Encontra-se ainda em outras formas, tais como: ágata, calcedônia, perlita, tripoli, sílex etc. (FRANÇA & LUZ, 2002; HANSON, 1995).

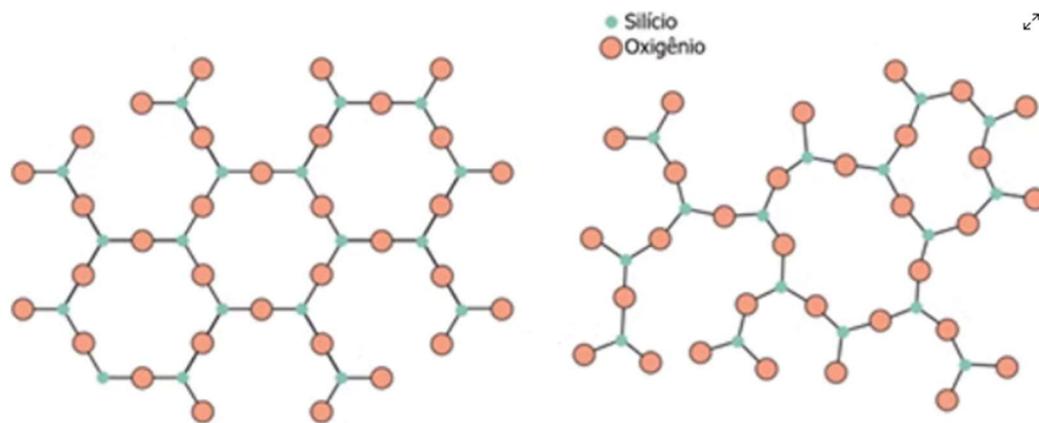


Figura 18: Arranjo estrutural da sílica cristalina e da sílica amorfa
Fonte: CALLISTER, 2016.

Areia é um material com granulometria típica entre 0,5 e 0,1 mm resultante de desagregação natural ou cominuição de rochas, mais ou menos cimentadas. Os termos areia industrial, areia de quartzo, areia quartzosa ou mesmo areia de sílica (sand do inglês), são atribuídos geralmente a areias que apresentam alto teor de sílica, SiO_2 , na forma de quartzo, e são materiais extremamente importantes em vários segmentos industriais: na fabricação de vidros e na indústria

de fundição (em moldes), seus principais usos; bem como na indústria cerâmica, na fabricação de refratários e de cimento; na indústria química, fabricação de ácidos e de fertilizantes; no fraturamento hidráulico para recuperação secundária de petróleo e gás; como carga e extensores em tintas e plásticos etc.; e também em aplicações não industriais como horticultura e locais de lazer. (DAVIS & TEPORDEI, 1985; FERREIRA, 1997; BGS, 2004). A granulometria da areia de acordo com a NBR 6502/95, pode ser observada tabela 3.

Tabela 3: Classificação dos solos por granulometria de acordo com a NBR 6502:1995.

Tipo de solo	Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa	Pedregulho
Diâmetro dos grãos (mm)	< 0,002	0,002 a 0,06	0,06 a 0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 2,0	> 2,0

Fonte: NBR 6502:1995.

As areias industriais são constituídas essencialmente de quartzo, tendo como impurezas óxidos de ferro, minerais pesados e argilas. As areias industriais variam bastante, em termos de propriedades físicas e composição química. São matérias primas minerais de origem secundária e aquelas de melhor qualidade industrial foram produzidas a partir de sedimentos arenosos, arenitos e quartzitos que sofreram concentração através de vários ciclos de deposição e erosão. (LUZ & LINS, 2008).

De acordo com Azevedo e Ruiz (1990), as areias industriais recebem suas denominações em função de suas aplicações na indústria, determinadas pelas suas características e propriedades, tais como teor de sílica, pureza, composição química, teor de óxidos de ferro, álcalis, matéria orgânica, perda ao fogo, umidade, distribuição granulométrica, forma dos grãos e teor de argila. As principais especificações técnicas, químicas, para os diferentes usos industriais da areia referem-se aos teores de: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO_2 , MgO , CaO , TiO_2 e ZrO_2 . Quando se trata de usos específicos, os teores de Cr_2O_3 , Na_2O e K_2O devem também ser considerados. (FERREIRA E DAITX, 2000).

Segundo Harben (1995), em borrachas e plásticos, a areia de quartzo é utilizada na fabricação de sílica amorfa usada na fabricação de borracha. A branquura (whiteness), o baixo índice de absorção de óleo e a moabilidade para granulometrias específicas permitem que areia de quartzo seja usada como carga na indústria de plástico e borracha. A composição química da areia utilizada como carga nesses polímeros, encontra-se disposta no quadro 7.

Quadro 7: Especificações químicas e físicas da tripoli, areia usada nas indústrias de tinta, plástico e borracha.

Composto	%	Propriedade	Valor
SiO ₂	99,5 ± 0,5	Peso específico (g/cm ³)	2,65
Fe ₂ O ₃	0,025	Índice de refração	1,54 - 1,66
Al ₂ O ₃	0,009	Resistência específica (ohms)	25.700
TiO ₂	0,005	Alvura GE (%)	84 – 91
CaO	0,15	pH	7
		Ponto de fusão (°C)	1 722

Fonte: Hanson (1995, adaptado LUZ & LINS, 2008.)

2.7 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA (PAVERS)

A pavimentação intertravada ou (*pavers*), são pequenas peças de concreto maciças pré-moldadas destinadas à pavimentação intertravada. O intertravamento é a capacidade que as peças adquirem de resistirem a movimentos individuais (vertical, horizontal, rotação ou giração) em relação a suas vizinhas. Este tipo pavimentação é amplamente utilizado nos países de primeiro mundo e vem sendo cada vez mais implementado no Brasil, principalmente em praças, passeios, ruas, avenidas, estacionamentos, pátios industriais, etc. Este tipo de pavimentação é originada da Europa, sendo introduzida no Brasil em meados da década de 70. (SOUZA, 2017). No quadro 8, são apresentadas algumas vantagens dos pavers, quanto ao processo de pavimentação.

Quadro 8: Algumas Vantagens da pavimentação intertravada.

Mão de Obra	<i>No processo construtivo e estocagem não exige uma mão-de-obra especializada, devido a facilidade do seu assentamento.</i>
Uso e Aplicação	<i>As peças chegam aos locais da aplicação prontas para serem aplicadas, sem a necessidade de produtos químicos, ou equipamentos especializados para isso.</i>
Armazenamento	<i>A estocagem pode ser feita por longos períodos de tempo, podendo até mesmo ser estocado ao tempo.</i>
Vida Útil	<i>Tem vida útil de 25 anos, se a resistência atender a demanda da pavimentação.</i>
Conforto Térmico	<i>Apresenta um conforto térmico melhor que a pavimentação asfáltica.</i>
Manutenção	<i>Baixo custo da manutenção, já que só basta substituir uma peça com defeito e sem a necessidade de equipamentos especiais para o mesmo.</i>
Estética	<i>Vantagem estética é a variedade de cores em que podem ser produzidos, podendo assim, serem implantados na sinalização horizontal das vias.</i>

Fonte: Adaptado, Souza (2017).

Apesar das grandes vantagens, os pavers em sua grande maioria tem como componente principal para produção o cimento, material este, que assim como os resíduos plásticos tem provocado sérios impactos ambientais, quanto ao consumo de matéria prima, elevado consumo energético e provoca altas emissões de carbono para sua produção. O cimento é formado pela reação térmica da mistura de dois componentes básicos: calcário (carbonato de cálcio) e argila (silicatos de alumínio e ferro). É a partir destas matérias-primas que são extraídos os óxidos necessários para sua hidratação. O carbonato de cálcio (CaCO_3) aquecido em alta temperatura forma a cal (CaO) e libera CO_2 para atmosfera. Já da argila são extraídos os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . (CASTRO, 2021). Como destaca Ali et al., (2011), a indústria de cimento é um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), especificamente emissão de CO_2 .

Isso se deve às calcinações das matérias-primas para a produção de cimento e queimação de combustíveis necessários para manter altas temperaturas em um forno. A tendência crescente de emissões atmosféricas é um fator determinante para projetar e desenvolver políticas para superar os desafios enfrentados pelas mudanças climáticas. Cerca de um terço das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) liberados para a atmosfera estão associados ao uso de energia. Em vários setores industriais relataram que a indústria emitiu cerca de 2370 TG CO_2 . Isso representa cerca de 43% do CO_2 global emissões. (ALI et al., 2011). Abordamos na **seção 3.0**, algumas possibilidades para atenuar essa problemática, quanto a produção de novos materiais alternativos ao emprego do cimento.

Segundo Souza (2017), os pavers precisam atender as normatizações da ABNT NBR 9781 (2013), que limita seu comprimento, largura e altura, tendo em vista isto, a qualidade e dimensões das peças são uniformes e sua produção obedece a rigorosos controles de qualidade. Ainda a respeito de suas características físicas, a ABNT NBR 9781 (2013), limita seu comprimento nominal em 250 mm e uma largura mínima de 97 mm na área que será aplicada a carga para o ensaio a compressão, o que permite larguras inferiores a 100 mm, mas que possua área plana que não possua rebaixos e nem juntas falsas para que possa ser inscrito um círculo de 85 mm de diâmetro. A peça tem que ter no mínimo 60 mm de espessura e expressa em múltiplos de 20, lembrando que todas as dimensões devem respeitar a tolerância máxima de 3 mm. Como observado na figura 19.

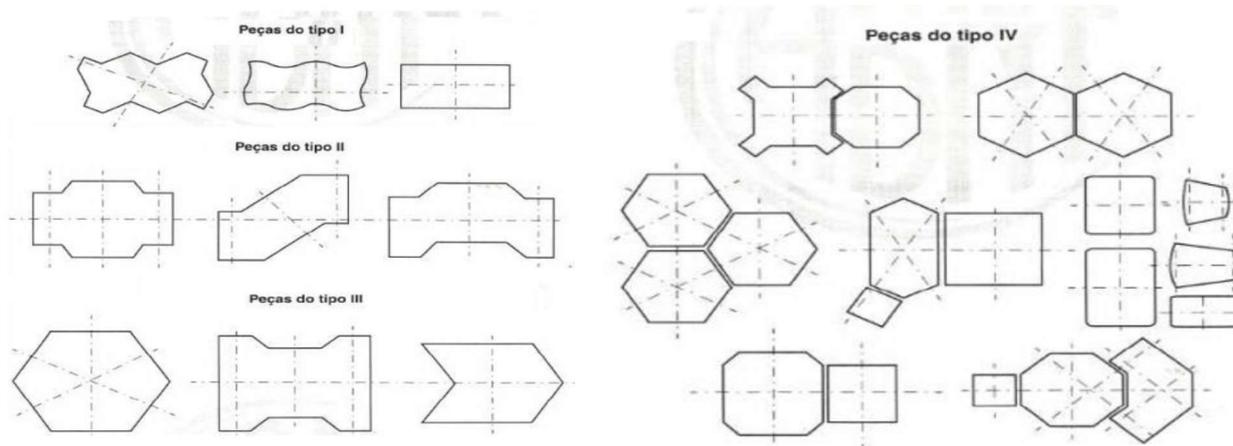


Figura 19: Tipos de blocos intertravados
Fonte: ABNT NBR 9781 (2013)

De acordo com Cruz (2003), não há consenso entre os pesquisadores sobre a influência do formato dos pavers na durabilidade dos pavimentos intertravados. Por outro lado, há concordância com relação ao fato de que o arranjo influencia no desempenho dos pavimentos, uma vez que o sentido do tráfego de veículos é decisivo no estudo da tendência de deslocamento dos blocos. (NABESHIMA et al., 2011). Na figura a seguir, são apresentadas formas tradicionais de assentamento de pavers, com formatos retangulares: espinha de peixe, fileiras e trama.

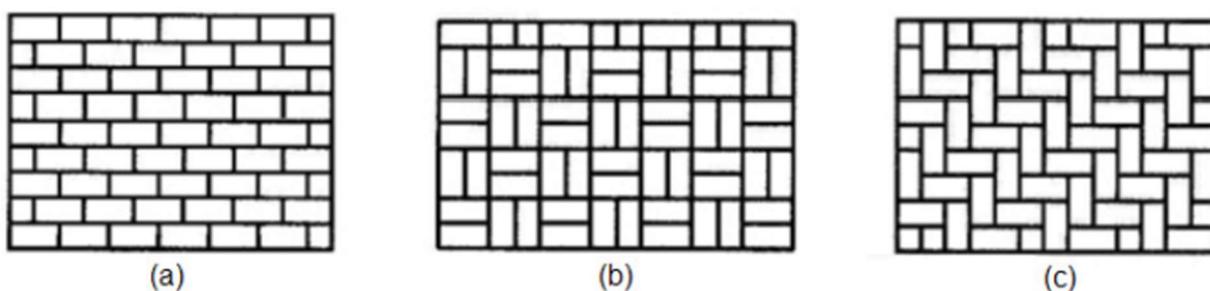


Figura 20: Modelos de assentamentos de pavers: (a) fileiras; (b) trama; e (c) espinha-de-peixe
Fonte: Cruz (2003, apud Nabeshima et al., 2011).

De acordo com Muller (2005), as irregularidades nos pavimentos intertravados podem ter origem quando: o processo construtivo é mal executado; o tráfego de veículos é maior do que aquele para o qual o pavimento foi projetado; quando as variações climáticas interferem nas propriedades dos materiais utilizados. (NABESHIMA et al., 2011).

Os pavimentos de blocos intertravados podem apresentar problemas superficiais, que não exigem reforço estrutural, como a quebra de peças e falhas no rejuntamento (CARVALHO, 1998). Nestes casos, exige-se apenas a troca das peças e a reexecução do rejuntamento. (NABESHIMA et al., 2011). Esse tipo de pavimentação tem sido bastante utilizado em países Europeus e tem crescido entre países da América Latina, como mostra a figura 21.



Figura 21: Rodovias pavimentadas com pavers Guanacaste e Medellín.
Fonte: Adaptado, Nabeshima et al., (2011).

A respeito das normas técnicas de peças de concreto para pavimentação no Brasil segundo Nabeshima et al., (2011), as peças de concreto utilizadas na pavimentação são regulamentadas por duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): a NBR 9780, de 1987, que determina os padrões de resistência à compressão, e a NBR 9781, de 2013, que traz as especificações exigíveis para aceitação das peças. O quadro 9, apresenta as densidades superficiais (pesos por metro quadrado) e as aplicações aos quais podem ser destinados os pavers comerciais, com espessuras de 6, 8 e 10 cm, e resistências à compressão de 35 e 50 MPa.

Quadro 9: Alguns parâmetros para a pavimentação intertravada de acordo com ABNT 9781/13.

Resistência à compressão					
35 MPa			50 MPa		
Espessura	Peso (kg/m ²)	Aplicação	Espessura	Peso (kg/m ²)	Aplicação
6 cm	120	Tráfego leve (pedestres em calçadas e automóveis em ruas internas de condomínios).	-	-	-
8 cm	162	Tráfego médio (caminhões de até três eixos em leito carroçável).	8 cm	175	Tráfego médio (caminhões de até três eixos em leito carroçável).
10 cm	202,50	Tráfego pesado (carretas e veículos especiais em pátios de descarga, postos de gasolina e terminais portuários).	10 cm	215	Tráfego pesado (carretas e veículos especiais em pátios de descarga, postos de gasolina e terminais portuários)

Fonte: Adaptado, Nabeshima et al., (2011).

Na fabricação em larga escala de pavers, alguns materiais são essenciais para sua produção, utiliza-se genericamente: cimento, pedrisco (granulometria entre 6 a 5 mm), pó de pedra (granulometria abaixo de 5 mm), areia (granulometria abaixo de 2 mm), além de água. Em um traço padrão, para produção de pavers tradicionais, estima-se as seguintes quantidades de materiais conforme especifica o quadro 10.

Quadro 10: Relação entre quantidade de materiais e produção de pavers por traço.

Traço Padrão	Areia	Pedrisco	Pó de Pedra	Cimento	Pavers com Dimensões (20x10x6 cm).			
					Volume total do Traço em m ³	Quantidade de pavers por m ³	Quantidade de pavers por m ²	Valor médio do paver por m ²
3x1	1/4	1/4	1/4	1/4				
Quantidade de materiais em Litros	300 L	300 L	300 L	300 L	1 m ³	833 unidades	50 unidades	R\$: 40,00

Obs: Neste traço o volume de água pode variar de 150L a 190 L.; Na composição do traço ainda podem ser adicionados aditivos de cimentação.; O período de cura médio de um paver, pode levar de 7 a 28 dias após sua fabricação.

Fonte: Autor

Como podemos perceber no quadro apresentado anteriormente a produção de pavers tradicionais, necessita de uma grande quantidade de matéria prima, sendo algumas delas ultra processadas como o caso do cimento, e também partículas com granulometrias específicas, geralmente obtidas na indústria de pedreiras, que trabalham geralmente com saldo energético e ambiental negativos.

3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Diante desta perspectiva surge a necessidade de se desenvolver novos materiais, principalmente os alternativos as atividades que empregam o processo de cimentação, uma vez que essas atividades crescem ano após ano (semelhante a demanda de produção dos plásticos), seja em virtude da demanda por empreendimentos imobiliários, pavimentação de rodovias, entre outras aplicações. Um possibilidade viável e alternativa, pode ser a utilização polímeros plásticos residuais, para criação de um “cimento alternativo”, aplicado na fabricação de pavimentação intertravada (pavers), uma ideia que pode contribuir para realização de metas de desenvolvimento para o desenvolvimento sustentável como por exemplo: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS e também de princípios como: Environmental, Social, and Governance - (ESG), como observado na figura a seguir.



Figura 22: ODS 9 e 11, e princípios do ESG.
Fonte: Mundo Isopor; ONU, 2025.

Atualmente, também existe uma grande necessidade de pesquisas científicas voltadas a essa área, uma vez poucos trabalhos acadêmicos (como aponta os estudos apresentados na **seção 2.1**), abordam sobre os benefícios ou mesmo as desvantagens, da incorporação de resíduos plásticos como componente ligante alternativo ao cimento tradicional, a extensa maioria de artigos sobre o tema, aborda simplesmente os benefícios da incorporação de certos tipos resíduos plásticos na forma de agregados miúdos ao cimento, para confecção de argamassas, concretos, com aplicações na fabricação de blocos, pavers e até mesmos tijolos.

Em alguns poucos trabalhos como o de Veldes & Cortes (2014), onde abordam sobre técnicas típicas de estabilização do solo baseadas em cimentação envolvem o uso de agentes de cimentação mineral (por exemplo, cimento Portland, carbonato de cálcio). Embora fortes, esses agentes são quebradiços e podem se dissolver em ambientes ácidos. Em sua pesquisa, esses autores propõem um novo método de cimentação, que de acordo com os mesmos, consiste em:

A areia com finos de polímero adicional é aquecida e resfriada. O solo se transforma em um aglomerado ligado (cimentado) com ligações interpartículas duráveis, resistentes a ácidos e dúcteis. Os resultados mostram que a resistência à compressão não confinada da areia ligada a polímeros é uma ordem de magnitude maior que a da areia cimentada mineral a 2% de aglutinante. A recuperação mecânica pós-falha através da "cicatrização" induzida pelo calor do aglomerado do polímero do solo é avaliada através de medições de rigidez de pequenas deformações. Os dados mostram 80% de recuperação de rigidez, estável após o primeiro ciclo de cicatrização induzida pelo calor. (VELDES & CORTES (2004)

Ainda nessa abordagem alguns pesquisadores estão realizando aplicações práticas com essa nova forma de cimentação a base de polímeros como relata Miranda et al, (2017): “Uma nova técnica de fabricação de tijolos é descrita, pela qual o solo mineral natural e as partículas de polímeros termoplásticas adicionais são misturadas, aquecidas e deixadas esfriar, para permitir a ligação polimérica dos grãos do solo. Os resultados experimentais indicam que a gradação do solo

desempenha um papel significativo na força de compressão dos tijolos fabricados. Isso ocorre porque a gradação controla o tecido em solos granulares altamente compactos. Um tecido que apresenta recheio de poros por grãos progressivamente menores resulta em uma maior probabilidade de localização de polímeros adicionais em contatos intergranulares e, portanto, de alta resistência. Um forno de convecção convencional e um forno solar foram utilizados independentemente para implementar o tratamento térmico; A comparação revela o uso potencial deste último para construção de tijolos de baixo custo em locais remotos e ambientes não tradicionais, como a Lua. ”

No trabalho desenvolvido por Miranda et al., (2023), os autores apresentam uma metodologia simples e eficiente para a produção de uma mistura areia-polímero, com possíveis aplicações na fabricação de tijolos, como descrevem os autores:

Considere uma mistura seca de grânulos de plástico e grãos de areia, num balde. Os grânulos de plástico derretem com o aquecimento e endurecem com o arrefecimento. A inspeção do compósito endurecido pode revelar um conjunto interligado de grãos de areia com polímero nos seus poros (ou seja, vazios) ou uma matriz de polímero com grãos de areia suspensos e não interligados. De facto, a microestrutura de um compósito deste tipo depende da fração da mistura (ou seja, do teor de polímero) e é afetada pelas condições de fundição. No exemplo apresentado, a mistura é simplesmente aquecida dentro de um balde. Cada mistura foi fabricada da seguinte maneira. Uma massa predeterminada de areia é primeiro seco misturado manualmente com uma massa predeterminada de GP, de modo que um teor de polímero desejado, $PCG = 10\%$ ou $PCG = 20\%$, seja atingido. A mistura é deixada esfriar no molde sob uma tensão sustentada de aproximadamente 600 kPa usando uma prensa hidráulica. Este estágio de compressão promove melhorias no composto através de melhor adesão nos grãos e expulsão de ar. São necessários apenas 5 minutos para que a mistura esfrie em um corpo sólido.

Neste trabalho os autores argumentam, que obtiveram bons resultados com os tijolos preparados com um teor de polímero (neste estudo foi usado um único polímero sendo o polipropileno) de 20%, que produziram o enchimento de vazio quase completo quando misturado com as areias utilizadas, os pontos fortes e os níveis de infiltração de água que são mais favoráveis ou pelo menos comparáveis do que os atribuídos a tijolos de barro comuns. Além disso houve benefícios em propriedades como resistência, e ainda, a energia incorporada calculada para o primeiro é de aproximadamente um terço deste último; e o tempo de produção do primeiro (minutos) é substancialmente menor que o deste último (horas).

Segundo Hameed & Hamza, 2019, a reciclagem de materiais para produzir materiais úteis é um assunto muito importante para a pesquisa científica em nosso mundo agora, porque os recursos naturais de diminuição fazem um buraco ou risco no futuro do mundo. Em sua pesquisa produziram uma espécie de “concreto polimérico” (PC), que possui altas características mecânicas e físicas. De acordo com os mesmos, o PC foi preparado usando o desperdício de agregados de demolições e materiais de construção com baixo custo em comparação como concreto de cimento, nesses tipos de resíduos de construção e demolição foram utilizados como reposição de agregados (ou seja, desperdício de detritos de cimento/concreto, resíduos de ladrilhos de cerâmica e desperdício de blocos de construção), bem como areia natural. Foi usado no processo, uma resina de poliéster insaturada como substituição de cimento.

Para Hameed & Hamza, 2019, as porcentagens de peso da resina foram alteradas em (20, 25 e 30) % para fabricar esse concreto polimérico. Os testes físicos realizados, como densidade e testes mecânicos, como resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração e martelo de Schmidt, comprovaram que todas as propriedades mecânicas de todas as argamassas preparadas foram aumentadas com o aumento da porcentagem de peso de polímero adicionada enquanto a densidade diminuiu. Isso nos encoraja a usar esse tipo de argamassa de polímero em diferentes aplicações como pré-moldado ou partições com alta resistência.

Segundo Edike et al. (2023), é possível produzir tijolos poliméricos a partir de garrafas PET recicladas, partindo de uma avaliação da quantidade do polímero que garanta uma boa consistência afim de preservar a resistência mecânica e uma baixa absorção de água dos blocos.

A partir desses estudos, comprovamos a viabilidade da utilização de resíduos plásticos, como uma alternativa eficaz para criação de um compósito areia-polímero, com aplicações práticas no desenvolvimento de pavers intertravados, tornando-se uma alternativa sustentáveis em relação a pavers tradicionais concretados, que demandam uma grande quantidade de matéria prima.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver pavers intertravados a partir do compósito areia-polímero, utilizando resíduos plásticos por mistura a quente.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar e processar os resíduos plásticos, sendo estes retirados de áreas de descarte inadequadas, principalmente corpos aquáticos.
- Avaliar a melhor composição percentual para elaboração do compósito areia-polímero.
- Elaborar moldes no formato de pavers intertravados dentro das especificações da ABNT NBR 9781/13
- Avaliar a qualidade dos pavers produzidos com bases na normatização da ABNT NBR 9781/13

5. METODOLOGIA

Nesta seção, serão descritas todas as etapas procedimentais que nortearam a pesquisa, abordaremos de forma sucinta e objetiva, sobre os materiais e métodos utilizados. Podemos dividir esta seção, em seis etapas, sendo elas: 1ª Etapa: Coleta e Processamento dos Resíduos (**seção 5.1**); 2ª Etapa: Formulação do Compósito Areia-Polímero (**seção 5.2**); 3ª Etapa: Produção dos Pavers de Areia e Plástico (**seção 5.3**); 4ª Etapa: Preparação dos Moldes (**seção 5.4**); 5ª Etapa: Sistema Alternativo de Prensagem (**seção 5.5**) e 6ª Etapa: Testes de Qualidade dos Pavers (**seção 5.6**).

5.1 COLETA E PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS

Os resíduos plásticos utilizados para a produção do pavers, foram inicialmente coletados no município de Manacapuru/AM, em parceria com o Departamento de Resíduos Sólidos do município, em áreas com grande incidência de descarte inadequado, sendo uma delas nas proximidades da orla do Rio Miriti, bairro da Liberdade, essa coleta ocorreu em meio a ações de conscientização sobre o uso e descarte do plástico, em alusão ao dia Mundial da Reciclagem 17 de maio, de 2023. Na ocasião foram recolhidos do leito do rio, aproximadamente 190 kg de resíduos plásticos, uma parte foi recolhida para utilização na fabricação do pavers (resíduos plásticos de menor tamanho), e outra parte foi destinada a associação de catadores de materiais recicláveis no município (resíduos maiores, e de maior peso). Foram encontrados materiais como: pneus, garrafas plásticas (em maior quantidade), sacolas, materiais a base de pvc, bonecas plásticas, isopor, mesas e cadeiras plásticas, etc, como apresentados nas figuras 23.



Figura 23: Coleta de Resíduos plásticos, orla do Rio Miriti, Manacapuru/Am.
Fonte: Autor

Após a coleta, os resíduos foram submetidos ao processo de secagem, mediante radiação solar, sendo vasados para eliminação de água, lama, areia e outros componentes residuais. Posteriormente foram tratados por meio de uma breve lavagem, em solução aquosa contendo água sanitária, para proporcionar desinfecção do material, garantindo a segurança biológica para o manuseio e processamento do plástico. Os plásticos foram processados de forma manual, em flocos pequenos, com dimensões que variavam de 10 a 30 mm, possuindo composição residual variada, flocos eram constituídos por diferentes tipos de plásticos como: pet na maior parte das vezes, polipropileno, poliestireno, pvc, etc, sendo a maioria dos plásticos aqueles classificados como os plásticos de commodities. Essa etapa pode ser observada na figura 24.



Figura 24: Processamento dos Resíduos.
Fonte: Autor

5.2 FORMULAÇÃO DO COMPÓSITO AREIA-POLÍMERO

Tomando como referencial os trabalhos de Hameed & Hamza, (2019) e Miranda et al., (2023), que sugerem um teor percentual entre (20 a 30)%, de polímero para a composição em massa do “concreto polimérico”, iniciamos os testes qualitativos para a confecção da massa polimérica (compósito areia-polímero), esses testes consistiam na realização do amolecimento dos resíduos com a adição da areia, em um “cadinho de alumínio” com auxílio de espátula, usando forno por convecção (150 °C a 250 °C), após o aquecimento, os flocos de plástico agregavam-se a areia previamente seca e peneirada (peneiras 5 e 2 mm) formando o compósito areia-polímero, as amostras foram submetidas a uma leve compressão manual, seguida de resfriamento a temperatura ambiente, algumas etapas são apresentadas nas figuras 25 e 26. Foram avaliadas três proporções em ($m_{\text{Polímero}}/m_{\text{Areia}}$): 20%; 30% e 50%; conforme apresentado na tabela 4. Para mensuração das massas foi utilizado uma Mini Balança Digital (1,0 g/10kg - NMBC10).

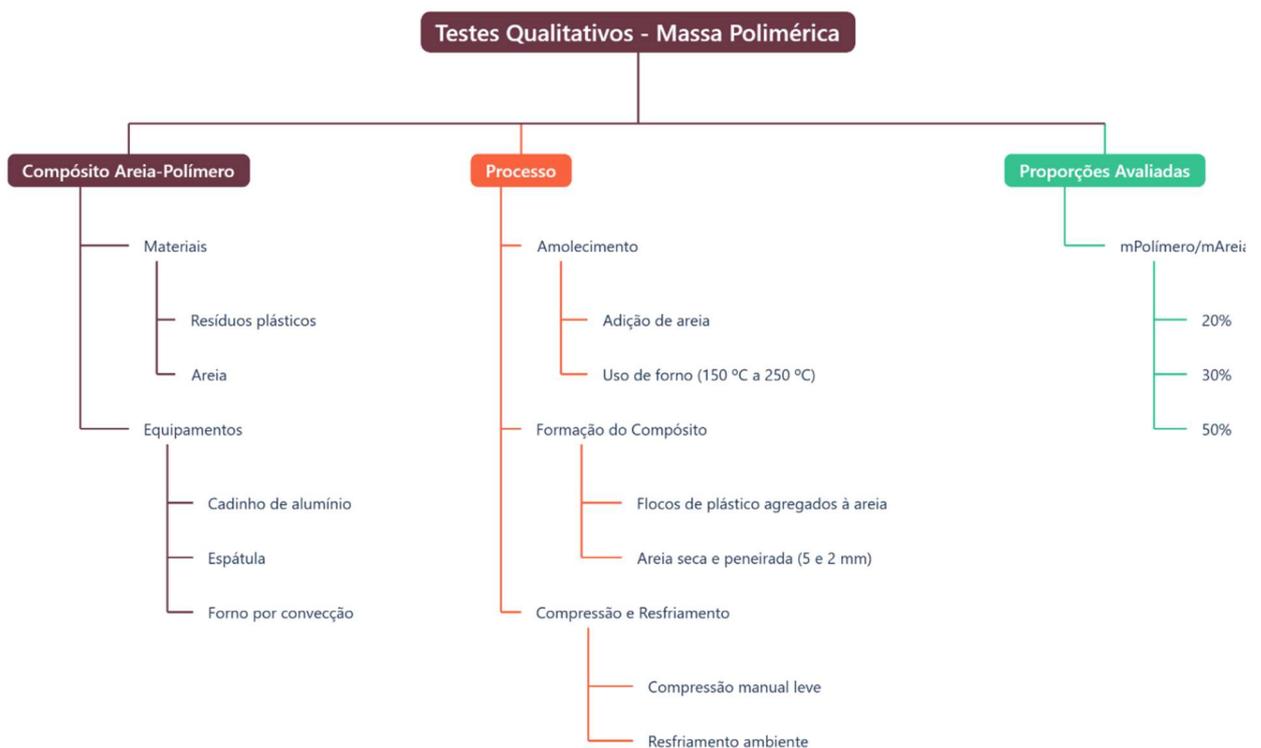


Figura 25: Organograma: Ensaio de elaboração do compósito areia-polímero.

Fonte: Autor



Figura 26: Ensaio de elaboração do Compósito Areia-Polímero.

Fonte: Autor

Um diferencial da preparação do compósito areia-polímero desenvolvida nesta pesquisa, em relação aos compósitos apresentados por Hameed & Hamza e Miranda, se dá pela presença de uma grande variedades de polímeros (resíduos plásticos), que ao se associarem podem formar uma “blenda”, possuindo a capacidade de agregar características físico-químicas e mecânicas dos diferentes componentes plásticos em um único material, como discutido na **seção 2.4**.

Tabela 4: Ensaio qualitativo de preparação do compósito areia-polímero.

AMOSTRAS	PARÂMETROS QUALITATIVOS	AVALIAÇÃO VISUAL
AMOSTRA 1 50%	<i>*Derretimento: Curto*</i> <i>Textura: Heterogênea</i> <i>Resistência Aparente: Baixa</i>	
AMOSTRA 2 30%	<i>*Derretimento: Médio**</i> <i>Textura: Homogênea e Compacta</i> <i>Resistência Aparente: Elevada</i>	
AMOSTRA 3 20%	<i>*Derretimento: Longo***</i> <i>Textura: Homogênea e Porosa</i> <i>Resistência Aparente: Elevada</i>	

Obs: **Derretimento: intervalo de tempo após a homogeneização da mistura sob aquecimento, pode variar dependendo da quantidade de massa na mistura. *Curto: 10 minutos. ** Médio: 20 minutos. *** Longo: 30 minutos.*

Fonte: Autor

Com base no ensaio anterior foram produzidas duas outras amostras, dentro do percentual de 20% a 35% (M_p/M_a), apresentadas na tabela 5. A amostra com porcentagem 50%, foi desqualificada por apresentar textura heterogênea quanto a sua composição, acreditamos que isso se deu pelo elevado volume do polímero, em relação a massa de areia, uma vez que o plástico por possuir densidade menor acabou ocupando maior volume para a mesma proporção de areia, o polímero é quem deveria agir como uma espécie “filer” entre os grãos de areia, e no caso da amostra 1, na tabela 4, o efeito foi contrário.

Tabela 5: Ensaio qualitativo e quantitativo de preparação do compósito areia-polímero.

AMOSTRAS	PARÂMETROS QUANTITATIVOS	PARÂMETROS QUALITATIVOS	AValiação VISUAL
BASEADO NA AMOSTRA 2 30%-35%	Percentual em $M_p/M_a = 34,8\%$	*Derretimento: Médio Textura: Homogênea Compacta Resistência Aparente: Elevada	
BASEADO NA AMOSTRA 3 20%-25%	Percentual em $M_p/M_a = 24,6\%$	**Derretimento: Longo Textura: Homogênea Porosa Resistência Aparente: Elevada	

Obs: *Derretimento Médio: 20 minutos. **Derretimento Longo: 30 minutos.

Fonte: Autor

Após a realização dos ensaios para composição do compósito areia-polímero, determinou-se analisando os parâmetros qualitativos e quantitativos, que o percentual ideal para formulação do compósito estaria entre 25% a 35%, em relação (M_p/M_a), com variação aceitável de $\pm 5\%$. Esse dado converge de certa forma com as porcentagens apresentadas por Hameed & Hamza, (2019) e Miranda et al., (2023), a pesar de ambas pesquisas tomarem como base polímeros unitários. Baseado nesse percentual os pavers forão desenvolvidos e suas propriedades serão avaliadas e discutidas na seção 6.

5.3 PRODUÇÃO DOS PAVERS DE AREIA E PLÁSTICO

De acordo com a metodologia apresentada na **seção 5.2**, os pavers a base de plástico e areia, inicialmente foram produzidos, aumentando-se a carga dos materiais, porém mantendo-se uma linearidade quanto ao percentual próximo ao estabelecido, 25% a 35% M_p/M_a . Para fabricação dos primeiros protótipos, foram utilizados os materiais e equipamentos listados no **Apêndice E**.

Esses “protótipos”, foram elaborados nas dependências do departamento de Engenharia de Materiais e Solos, na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, utilizando-se dos equipamentos que lá haviam disponíveis, para realização da modelagem e compressão dos blocos, foi utilizado a prensa manual, modelo Vimaq Prensas (figura 27), esse modelo de prensa é geralmente usado para a confecção de tijolos solo-cimento, e portanto não atendiam as especificações para produção de pavers, porém ainda assim foram realizados testes moldagem e prensagem, as vantagens desse tipo de prensa ocorre, com o processo de moldagem sendo realizado em conjunto com a compressão do material.



Figura 27: Prensa Modelo estilo CEB.

Fonte: Vimaq Prensas, 2024.

Nesta prensa foram realizados a confecção de dois blocos, no formato de tijolos de encaixe, como mostrado na figura 28. Esses tijolos produzidos possuem a mesma composição quanto ao teor de polímeros e areia que os pavers, e também apresentaram boa rigidez e uma baixa absorção de água, além provar que o compósito pode ser modelado de forma versátil, ou seja, assumir formatos variados dependendo do molde ao qual realiza-se a compactação. A análise da composição dos “tijolos” é apresentada na tabela 6. Um dado interessante a respeito dos blocos produzidos, é de que neste formato, poderiam ser fabricados aproximadamente de 2000 tijolos, a cada uma tonelada de resíduos plásticos.



Figura 28: Blocos de Tijolos Areia-Polímero prensados.

Fonte: Autor

Tabela 6: Composição dos tijolos poliméricos.

AMOSTRAS	PARÂMETROS QUANTITATIVOS	PARÂMETROS QUALITATIVOS	AVALIAÇÃO VISUAL
Dimensões			21cmx10cmx5cm
Tijolo 1	Percentual em $M_P/M_A = 31,3\%$	*Derretimento: Médio Textura: Homogênea Compacta Resistência Aparente: Elevada	
Dimensões			21cmx10cmx5cm
Tijolo 2	Percentual em $M_P/M_A = 38,5\%$	*Derretimento: Médio Textura: Homogênea Compacta Resistência Aparente: Elevada	

Obs: *Derretimento Médio: 20 minutos, após a homogeneização da mistura.

Fonte: Autor

Com o objetivo de produzir pavers que atendessem as especificações da ABNT NBR 9781, quanto a padronização e formato dos mesmo, buscamos desenvolver os moldes que serão apresentados na **seção 5.4**, e ainda um sistema de prensagem mecânica para compactação do compósito ao molde, a fim de garantir uma compressão razoável ao paver, esse sistema é explicado na **seção 5.5**.

5.4 PREPARAÇÃO DOS MOLDES

Os Moldes foram elaborados de acordo com as especificações da ABNT NBR 9781/13, que determina os parâmetros quanto ao formato e modulações de pavers a base de concreto. Tomando como medida padrão, os pavers de acordo com a ABNT NBR 9781/13, devem possuir as seguintes medidas para peças retangulares: 10 cm×20 cm×6 cm – (largura x comprimento x espessura) figura 29, sendo admitida uma tolerância de 3 mm, como apresentado no quadro 11, nessa proporção os pavers são utilizados geralmente para tráfego leve.

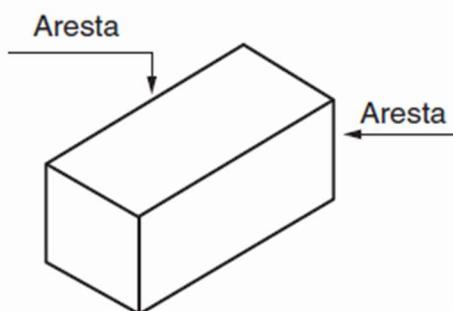


Figura 29: Aspectos das arestas da peça de concreto.
Fonte: ABNT NBR 9781, 2013.

Quadro 11: Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.

Dimensões em milímetros

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

Fonte: ABNT NBR 9781, 2013

Foram confeccionados três moldes vazados, utilizando chapas metálicas de ferro, com espessura de 4 mm cada, os moldes possuíam formato retangular, semelhante aos pavers, com as seguintes dimensões internas, respectivamente iguais a: 1ª Molde (A) – (10 cm×20 cm×7 cm); 2ª Molde (B) – (7 cm×15 cm×5 cm); 3ª Molde (C) – (6 cm×10 cm×4 cm) - (largura x comprimento x espessura). Os moldes elaborados foram aumentados em 10 mm de espessura, que o padrão dos pavers, para desconto durante a compressão, momento em que as chapas superiores e inferiores (tampa dos moldes espessura 10 mm e base de prensagem) atingissem o máximo de compressão na prensagem dos blocos. Quanto a utilização dos moldes, o molde (A), foi selecionado para fabricação dos pavers, e os outros moldes (B e C), para realização de ensaios de menores proporções. Os moldes e os pavers obtidos, são mostrados nas figuras 30 e 31.

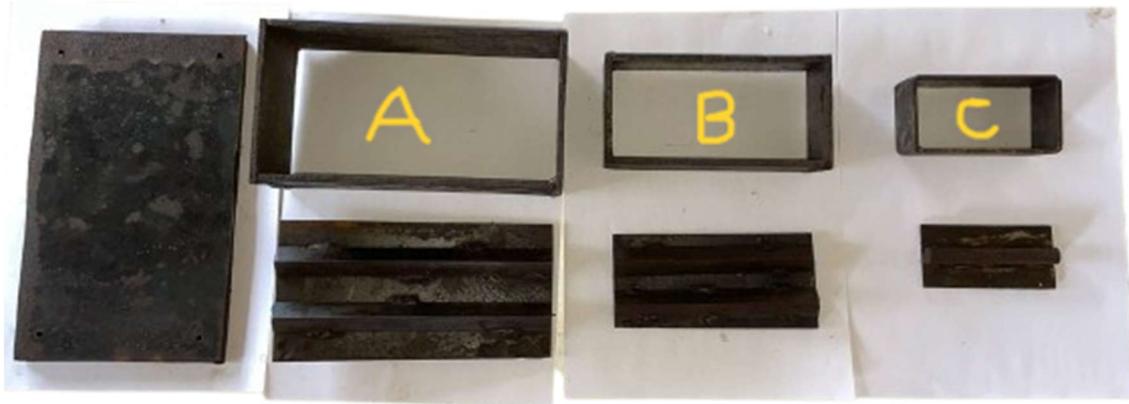


Figura 30: Moldes (A); (B) e (C), respectivamente.
Fonte: Autor



Figura 31: Dimensão interna do molde (A) utilizado para prensagem dos pavers.
Fonte: Autor

5.5 SISTEMA ALTERNATIVO DE PRENSAGEM

Devido a dificuldade encontrada, quanto a padronização dos pavers, elaboramos os moldes com dimensões apropriadas no formato de blocos vazados, necessitando assim, os moldes de um mecanismo que exercesse uma força gradual para a compressão do compósito no momento de sua compactação ao molde, com esse objetivo propusemos a elaboração de uma “prensa alternativa” com materiais alternativos, porém que fossem resistentes, foram utilizado para elaboração da prensa, madeiras rígidas e ferragens de grosso calibre, a fim de garantir sustentação a prensa, esse sistema e encontra-se representadas na figura 32.

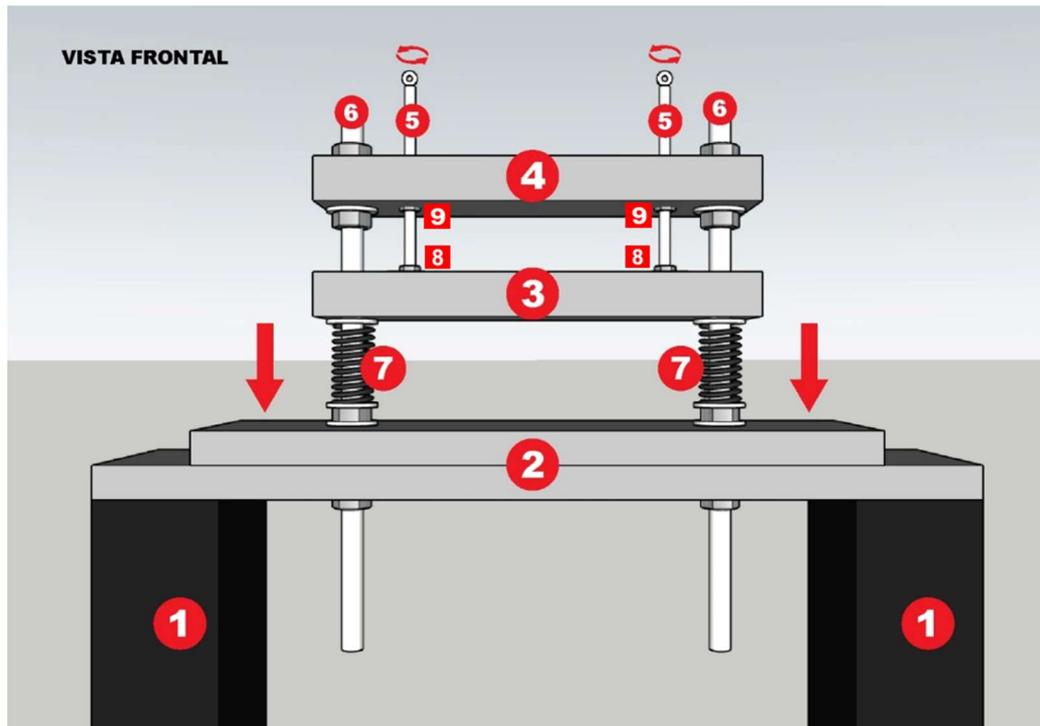


Figura 32: Dispositivo mecânico de prensagem alternativa desenho técnico.
Fonte: Autor

O funcionamento da prensa, inicia com a rotação das Vigas de Acocho (5), exercendo uma força vetical sobre os Copos Coletores (8), fixados a Haste de Prensagem Móvel (3) que por sua vez, realizava o movimento de compressão sobre objetos que estejam acima da Base de Prensagem (2). Após a prensagem, com o afrouxamento das Vigas de Acocho (5), as Molas de Amortecimento (7), realizam movimento contrário ao de compressão da Haste de Prensagem Móvel (3), suavizando o retorno da mesma. Os Esteios de fixação (1) foram fincados ao solo a uma profundidade de 60 cm, para garantir estabilidade no momento da prensagem dos blocos, de igual modo a Haste de Prensagem Fixa (4); Base de Prensagem (2) e Vigas de Sustentação (6). Na Haste de Prensagem Fixa (4) foram embutidas Porcas de Conteção (9), como mecanismos de rotação e travamento das Vigas de Acocho (5). Esse sistema é representado de forma realística na figura 33, e suas especificações são descritas no **Apêndice B**.



Figura 33: Dispositivo mecânico de prensagem alternativa, imagem realística.
Fonte: Autor

5.6 TESTES DE QUALIDADE DOS PAVERS

Quanto a avaliação da qualidade dos paveres de concreto, a ABNT NBR 9781/13, estabelece como padrão os seguintes testes ao material: 1ª Resistência a compressão (f_{pk}); 2ª Absorção de água; 3ª; Resistência à abrasão, sendo este último facultativo, desses testes foram realizados resistência a compressão e absorção, seus resultados representam parâmetros que asseguram a manutenção de propriedades mecânicas mínimas, que os pavers tradicionais devem possuir para sua utilização comercial. Com isso buscamos submeter os pavers fabricados a partir dos resíduos plásticos aos mesmos testes para de avaliação da qualidade.

5.61 - Determinação da Resistência Característica à Compressão

De acordo com a ABNT NBR 9781/13, a resistência característica à compressão deve ser determinada conforme a metodologia disposta em sua normativa e deve atender às especificações do quadro 12.

Quadro 12: Resistência característica à compressão.

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781 de 2013.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p, função da altura da peça, conforme o quadro 13. (ABNT NBR 9781. 2013)

Quadro 13: Fator Multiplicativo P.

Espessura nominal da peça mm	<i>p</i>
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: ABNT NBR 9781 de 2013.

Admite-se que as resistências à compressão obedecem à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela equação e pelo coeficiente de student, figuras 34 e 35.

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Figura 34: Determinação da resistência à compressão estimada.

Fonte: ABNT NBR 9781 de 2013.

Onde;

- f_p* é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);
- f_{pi}* é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);
- f_{pk,est}* é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);
- n* é o número de peças da amostra;
- s* é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);
- t* é o coeficiente de Student, fornecido na Tabela 3, em função do tamanho da amostra.

n	t
6	0,92
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,87
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Figura 35: Coeficiente de Student.
Fonte: ABNT NBR 9781 de 2013.

Para a realização dos testes de resistência a compressão, foram utilizadas duas prensas, sendo uma delas, computadorizada, modelo Instron Series Universal Testing Systems 68FM-100 (carga máxima 100 kN), e uma Máquina Hidráulica de Ensaio Universal modelo Contenco Pavitest 100 T. Ambas ilustradas alegoricamente na figura 36.

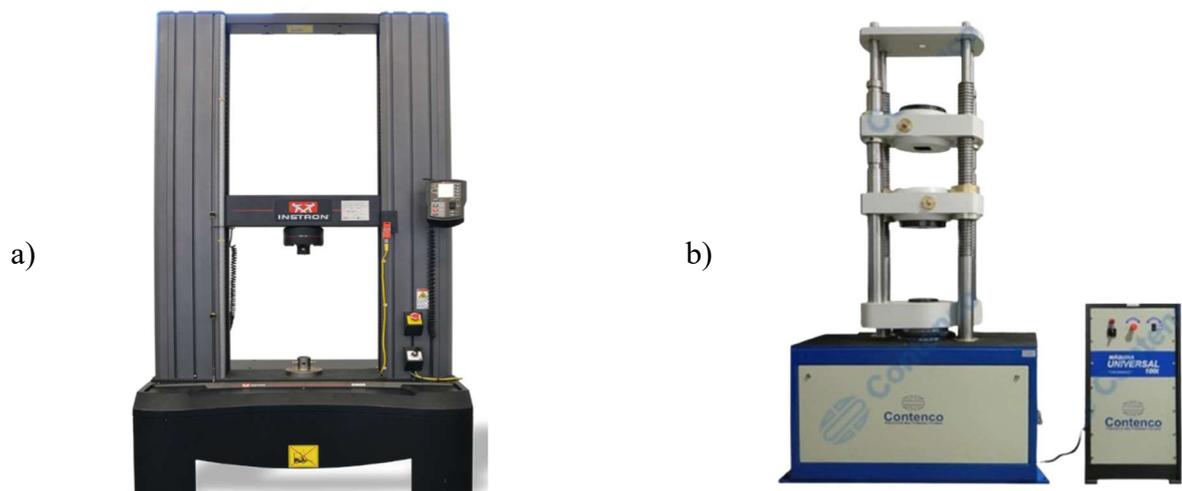


Figura 36: Prensa Instron 68FM-100 (a), prensa Contenco Pavites 100T (b).

Fonte: Inston.com; Contenco.com.br. (2025)

5.62 - Determinação da Absorção de Água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco. A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %, a partir de ensaios realizados. (ABNT NBR 9781. 2013)

O valor da absorção de água de cada corpo de prova deve ser calculado utilizando-se a equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Figura 37: Determinação da Absorção de Água.
Fonte: ABNT NBR 9781 de 2013.

Onde;

A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);
*m*₁ é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);
*m*₂ é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

De acordo com a ABNT NBR 9781/13, antes de qualquer um dos testes é necessário a calibração dos equipamentos e também inspeção visual dos moldes, tomando nota de todas as propriedades dos mesmos. O procedimento detalhado para realização dos testes de resistência a compressão, absorção e abrasão são apresentados nos **ANEXOS I, II e III**, respectivamente.

5.63 – Análise por Espectrometria por Fluorescência De Raios X – FRX

Como objetivo de realizar a análise química do compósito areia-polímero, foi realizado a Espectrometria por Fluorescência de Raios – X (FRX), essa análise tem como pressuposto realizar uma caracterização química do material, por meio da determinação química da amostra, a técnica possuía uma grande aplicação em áreas como: mineração; geologia; arqueologia, química, engenharias e até mesmo na medicina.

Segundo a ABNT NBR 14656 de 2001, que normatiza a análise de FRX, para o Cimento Portland e suas matérias primas (**ANEXO IV**), descreve a técnica como:

A espectrometria de raios X, é uma técnica que correlaciona a intensidade dos raios X característicos de um determinado elemento químico com seu teor na amostra. Aproveita as características ondulatórias da radiação fazendo uso de uma estrutura cristalina para discriminar os diversos comprimentos de onda presentes no feixe de raios X. Quantifica a intensidade da radiação selecionada para cada elemento químico através de detectores.

O FRX, foi realizado em duas amostras sendo a primeira, a amostra de um paver tradicional feito à base de concreto (semelhante aos apresentados na figura 41, item (a), **seção 6.6**), e a segunda a partir de uma amostra do compósito areia-polímero, (a amostra escolhida para realização desta análise, foi aquela apresentada na tabela 5, amostra 3, **seção 5.2**). O objetivo desta análise foi realizar um comparativo quanto a composição química entre os dois materiais, avaliando as proporções de minerais, além de determinar as características químicas da areia utilizada para a formação do compósito. Para a realização da análise de espectrometria por Fluorescência de Raios – X (FRX), foi utilizado, o aparelho, Espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL, esse modelo encontra-se ilustrado na figura 38, os parâmetros de execução padronizado, foram:

- Tensão máxima de 50 kV
- Corrente máxima de 3 mA
- Gás Hélio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²)



Figura 38: Espectrômetro PANalytical, EPSILON 3 XL.

Fonte: DKSH, 2025.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, discutiremos sobre os principais achados da pesquisa, analisando por tópicos os resultados, mediante os objetivos propostos, buscaremos de forma crítica e didática correlacionar os dados obtidos, com estudos prévios e destacando suas implicações teóricas e práticas.

6.1 COLETA E PROCESSAMENTO

Com base no levantamento de dados realizado junto ao Departamento de Resíduos Sólidos Municipal – DRES em Manacapuru/Am e Associações de Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Manacapuru (Coltepla), foram identificadas três zonas da cidade com as maiores incidências de contaminação por resíduos sólidos, nos últimos 3 anos, e destacaram-se três bairros, que encontram-se localizados próximo as orlas dos rios Solimões e Miriti, sendo estes os bairros: Centro da Cidade; seguidos pelos bairros da Liberdade e Correnteza; dentre esses o bairro da Liberdade foi o que apresentou o maior número de pontos de coleta viciados (lixo jogado ao ar livre), e eventualmente o que mais descartava os resíduos de forma inadequada nas proximidades do rio Miriti, rio este, que é utilizado como fonte de abastecimento de água a população. Devido a esse fato nosso foco de coleta concentrou-se neste bairro, realizando a coleta dos resíduos plásticos em campanhas e mutirões de limpeza e conscientização, sendo retirados do leito dos Rio Miriti, como já apresentado na **seção 5.1**, o objetivo da retirada do resíduo dessas áreas, consistiu em apresentar uma proposta ecológica como solução para a diminuição acúmulo de resíduos plásticos principalmente em corpos aquáticos e passar uma mensagem a população e leitores, de que é possível reverter o problema atual da contaminação do plástico, problema este que afeta o mundo inteiro, buscando transformar o lixo (resíduo plástico) em um produto sustentável. Dos resíduos coletados, foram selecionados cerca de 65 kg, de material plástico, para tratamento e processamento, aplicados na realização dos ensaios e produção dos pavers.



Figura 39: Coleta e processamento dos resíduos. **Fonte:** Autor.

6.2 COMPÓSITO AREIA-POLÍMERO

Com base na literatura e também nos ensaios realizados para a elaboração do compósito areia-polímero, chegou-se a um percentual ideal de 25% a 35% de resíduos plásticos, que podiam ser agregados em relação massa total de areia, em alguns testes esse percentual chegou a exceder os 35%, estando próximo dos 40% (a exemplo do **tijolo 2** apresentado na **tabela 6, seção 5.3**), e ainda assim, preservou as características desejadas no compósito, como homogeneidade e boa resistência e compactação além de uma baixa sorvidade.

Um fato observado nesta etapa, quanto a elaboração do compósito areia-polímero, de até 40%, em relação as porcentagens limites observadas em trabalhos de Miranda et al. (2023), Edike et al. (2023), Hameed e Hamza (2019), que foram de 20%; 25% e 30%, respectivamente, pode se dar por fatores como: a) nestes trabalhos os autores utilizaram geralmente um único tipo de polímero (polietileno ou polipropileno especificamente); b) nesses trabalhos o compósito produzido, ocorreu por diferentes formas de transferência de calor e mistura, como por exemplo extrusão a quente, indução e convecção. Já em nossa metodologia, foi utilizada uma variada composição de polímeros, além de que a mistura a quente, ocorreu de forma manual e por convecção até amolecimento do material polimérico, é possível que alguns plásticos de menor ponto de fusão, sofram no processo, uma perda de massa, o que justifica uma maior carga de resíduo plástico para compensar a de areia.

Outro fator importante é que, quando polímeros diferentes são combinados podem ter propriedades antes específicas alteradas e/ou combinadas com apresenta Santos et al., (1999), esses fatores podem ter influenciado no aumento de até 10%, referente aos limites encontrados nas fontes bibliográficas.

6.3 MODULAÇÃO E PRENSAGEM

Dos moldes elaborados, foi utilizado para confecção dos pavers intertravados, o molde A, apresentado anteriormente nas figuras 30 e 31 da **seção 5.4**, este molde atendeu as especificações métricas para a produção dos pavers, de acordo com a ABNT NBR 9781/13, (10 cm×20 cm×6 cm) - (largura x comprimento x espessura) (com variação de até ± 3 mm), para pavers retangulares. Foi verificado que após a prensagem os pavers atendiam as especificações e os limites permitidos pela resolução vigente, como mostra a figura 40. A partir de observações visuais, o compósito aparentou possuir uma boa compactação, após ser submetido ao sistema de prensagem, discutiremos sobre a eficiência da prensa no tópico referente ao teste de resistência a compressão.



Figura 40: Pavers Intertravados de areia e plásticos produzidos e suas métricas.

Fonte: Autor

6.4 ANÁLISE ESPECTROMÉTRICA DAS AMOSTRAS

A partir do processamento dos dados obtidos com a análise de FRX, os valores das concentrações foram expressos de forma percentual, como determina a ABNT NBR 14656 de 2001, como exibidos nas tabelas 7 e 8, os dados gerais não tratados são apresentados no **Apêndice D**. A tabela 7, demonstra a composição percentual dos elementos químicos encontrados na amostra de concreto, utilizado na pavimentação intertravada convencional, nesta amostra foi detectado majoritariamente, a presença dos seguintes elementos, organizados em ordem decrescente de concentração: Si (48,3%); Ca (30,8%); Fe (5,7%); Al (4,1%); Mn (4,1%); K (3,8%); S (1,2%) e outros (2,0%).

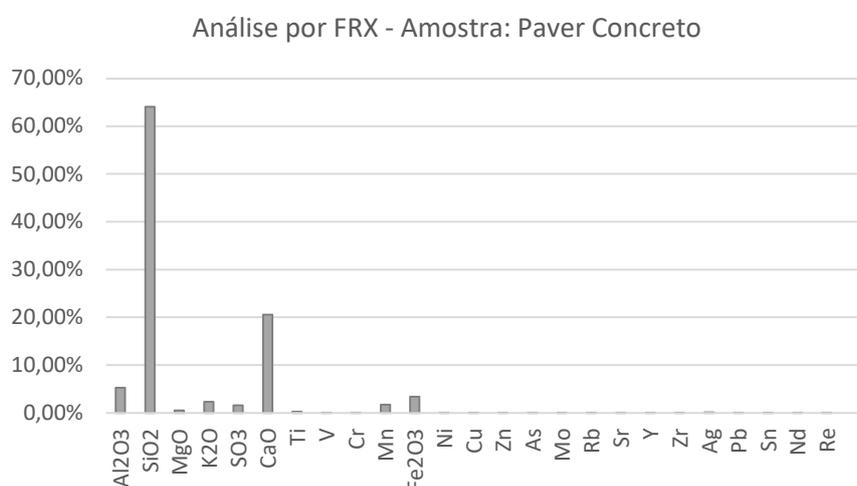
Tabela 7: Composição percentual dos elementos por FRX, amostra de concreto.

ELEMENTO	Si	Ca	Fe	Al	Mn	K	S
Concentração Percentual	48,328%	30,829%	5,719%	4,122%	4,061%	3,769%	1,170%
ELEMENTO	Ti	Mg	Ag	Sr	Cu	Zr	Cr
Concentração Percentual	0,577%	0,461%	0,378%	0,129%	0,119%	0,08523%	0,04233%
ELEMENTO	Zn	Sn	Ni	Rb	Vn	Nd	Pb
Concentração Percentual	0,04152%	0,04015%	0,0316%	0,03071%	0,0258%	0,01534%	0,00783%
ELEMENTO	Mo	Y	As	Re	Os	Yb	
Concentração Percentual	0,00599%	0,00594%	0,000426%	0,000135%	0,00000%	0,00000%	

Fonte: Autor

Com base neste achado, podemos observar que as características químicas da amostra analisada, se correlaciona com as concentrações as do Cimento Portland, de acordo com Castro (2021), apresentado alto teor de Silício, Cálcio, Ferro e Alumínio respectivamente, o elevado teor desses elementos se dá a partir da formação de carbonatos, silicatos e óxidos, como calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro), óxidos de manganês e potássio, os compostos descritos e suas proporções são apresentados no gráfico 2. Nota-se ainda a presença de teor razoável de Enxofre (S), considerado um dos componentes responsável pelo endurecimento do cimento, a partir do processo de cristalização do sulfato de cálcio.

Gráfico 2: Principais compostos identificados por FRX, amostra de concreto.



Fonte: Autor

Na tabela 8, encontram-se determinados os elementos químicos presentes na amostra do compósito areia-polímero, nesta amostra foi detectado majoritariamente, a presença dos seguintes elementos, também organizados em ordem decrescente de concentração: Si (84,3%); Al (3,9%); K (3,6%); Fe (2,8%); Ca (2,6%); Ti (1,2%); P (0,6%) e outros (1,0%). Analisando esse resultado evidenciamos, de acordo com Azevedo e Ruiz (1990), que a areia utilizada nesta amostra apresentou a presença dos seguintes compostos: SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO₂, MgO, CaO, TiO₂ e ZrO₂, respectivamente em relação a sua proporção, como observado no gráfico 3.

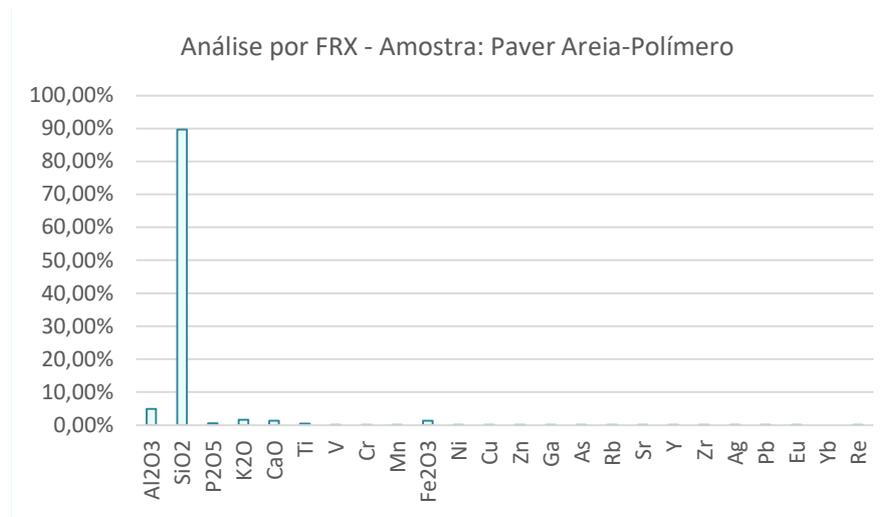
Tabela 8: Composição percentual dos elementos por FRX, amostra areia-polímero.

ELEMENTO	Si	Al	K	Fe	Ca	Ti	P
Concentração Percentual	84,311%	3,993%	3,592%	2,813%	2,625%	1,195%	0,664%
ELEMENTO	Zr	Ag	Mn	Cu	Rb	Eu	Zn
Concentração Percentual	0,305%	0,220%	0,154%	0,03336%	0,0178%	0,01399%	0,01228%
ELEMENTO	Cr	Sr	Ni	Vn	Pb	Y	Ga
Concentração Percentual	0,01087%	0,00837%	0,00811%	0,00583%	0,00493%	0,00413%	0,00339%
ELEMENTO	As	Os	Re	Yb			
Concentração Percentual	0,00147%	0,00121%	0,00053%	0,00003%			

Fonte: Autor

Ao compararmos as concentrações, dos elementos presentes nas amostras, percebemos uma drástica diminuição na concentração do elemento cálcio (Ca) e conseqüentemente uma baixíssima presença de seu principal composto carbonato de cálcio (CaCO₃), com isso podemos inferir que a areia utilizada apresentará uma baixa capacidade cimentícia, possuindo um baixo teor deste agente ligante “natural”, notou-se ainda a ausência do elemento Enxofre (S), sendo este indicativo de processos que empregam a cimentação. Foi observado um teor considerável do elemento Titânio (Ti) na amostra areia-polímero, este elemento é amplamente conhecido por possuir propriedades como, alta resistência e ser um elemento relativamente leve em relação a outros metais.

Gráfico 3: Principais compostos identificados por FRX, amostra de areia-polímero.



Fonte: Autor

A partir dos resultados desta análise, tornou-se possível avaliar de forma mais detalhada, a composição química das amostras, bem como correlacionar algumas de suas propriedades físico-químicas e mecânicas ao comportamento observado nos testes realizados em ambos materiais, pavers de concreto e de areia e plástico. Em última análise observou-se que ambas as amostras, apresentam teores semelhantes de óxidos de alumínio em suas composições, a sílica encontrada na amostra a partir do concreto equivale a aproximadamente a metade do teor encontrado na amostra do compósito areia-polímero e uma grande discrepância entre os teores de óxidos e carbonatos de cálcio entre as duas amostras. Torna-se importante ressaltar as limitações da análise por FRX, quanto a identificação de elementos de massa menor que as do elemento sódio (Na), sendo incapaz de determinar elementos acima do terceiro período da tabela periódica, ficando implícitas as concentrações de elementos como carbono e oxigênio por exemplo.

6.5 TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para realização do teste de absorção, foram selecionadas 12 amostras, sendo seis destas amostras, pavers tradicionais produzidos a partir de concreto, que foram adquiridos junto a uma empresa privada, que atua na fabricação e comercialização de pavers, sediada na cidade de Manaus, e também seis amostras de pavers areia-polímero, desenvolvidos nesta pesquisa, com as proporções representadas na **tabela 9**. O objetivo destes testes, foi realizar uma análise comparativa, entre os dois produtos a luz da normatização ABNT NBR 9781/13, que estabelece os critérios qualitativos e quantitativos, para controle de qualidade de pavers intertravados.

Tabela 9: Composição percentual das amostras de pavers areia-polímero.

PAVERS AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MP*/MA**	29,96%	32,49%	28,62%	29,15%	35,00%	34,28%
MASSA DA AMOSTRA	2059,0 g	2380,6 g	2292,6 g	2321,3 g	2378,0 g	2399,6 g

* Massa do polímero; **Massa da Areia

Fonte: Autor

Como procedimento padrão para o teste de absorção, segundo a ABNT NBR 9781/13, ambas as amostras foram previamente identificadas, secas em estufa a temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, pelo período de 1:00h, até secagem e resfriamento completo das amostras, para realização da pesagem, até atingir peso constante, como apresentado nas figuras a seguir:

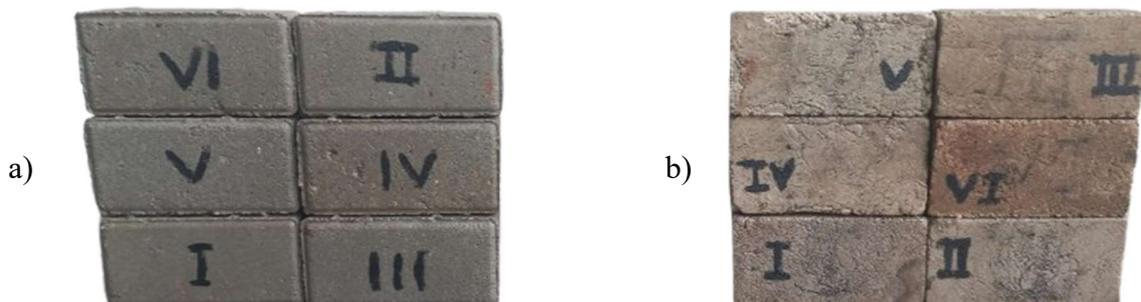


Figura 41: Amostras de pavers de Concreto (a) e Resíduo Plástico (b). Fonte: Autor

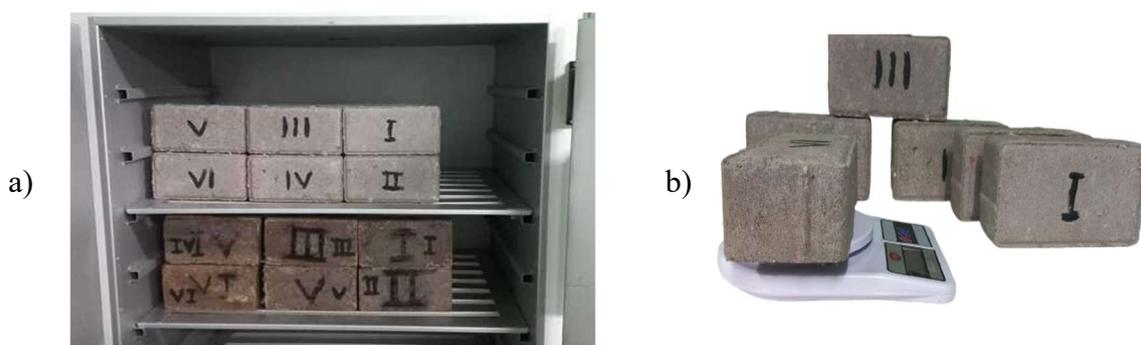


Figura 42: Amostras após secagem (a) e pesagem (b). Fonte: Autor

Após os procedimentos descritos anteriormente, as amostras foram colocadas submersas em água, por um período de 24:00h, e posteriormente realizou-se novas pesagens para determinação da massa das amostras, etapa demonstrada na figura 43. Na **tabela 10**, podemos observar a variação das massas dos pavers após o período de absorção.



Figura 43: Amostras submersas em água após 24:00h (a) e conferição das massas (b). **Fonte:** Autor

Tabela 10: Determinação de massa das amostras, após secagem em estufa (massa inicial), e após absorção de água (massa final).

PAVER CONCRETO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Massa Inicial	2537,3 g	2536,2 g	2437,0 g	2573,6 g	2362,0 g	2469,0 g
Massa Final	2625,5 g	2621,5 g	2534,4 g	2635,5 g	2479,5 g	2566,6 g
PAVER AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Massa Inicial	2059,0 g	2380,6 g	2292,6 g	2321,3 g	2378,0 g	2399,6 g
Massa Final	2064,0 g	2385,0 g	2302,0 g	2323,5 g	2382,5 g	2418,0 g

Fonte: Autor

Com base nos resultados obtidos, avaliando-se, as variações das massas finais e iniciais das amostras, foi possível realizar o cálculo de absorção de água das amostras unitariamente, como determina a ABNT NBR 9781/13, de acordo com a equação apresentada na **figura 37, seção 5.62**, os valores foram representados em porcentagem de absorção, assim como a média de absorção das amostras como determina a normativa, de acordo com o observado na **tabela 11**.

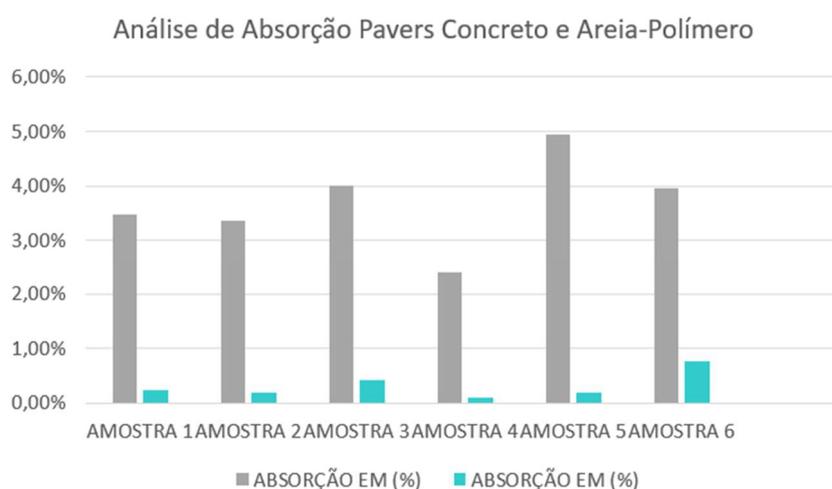
Tabela 11: Valores percentuais de absorção das amostras.

PAVER CONCRETO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6	ABSORÇÃO MÉDIA
ABSORÇÃO EM (%)	3,47%	3,36%	3,99%	2,40%	4,95%	3,95%	3,69%
PAVER AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6	ABSORÇÃO MÉDIA
ABSORÇÃO EM (%)	0,24%	0,18%	0,41%	0,09%	0,19%	0,76%	0,31%

Fonte: Autor

Foi verificado a partir dos resultados, que ambas as amostras atenderam os padrões aceitáveis de absorção de água, de acordo com a ABNT NBR 9781/13, que estabelece como padrão uma absorção com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %, nos ensaios realizados. Porém pode-se observar que, quando comparados os percentuais de absorção dos pavers tradicionais em relação aos de areia-polímero, nota-se uma grande diferença entre os valores obtidos, sendo que os pavers de areia e plástico, apresentam uma absorção média, aproximadamente dez vezes menor, em relação aos pavers tradicionais, como demonstrado no gráfico a seguir.

Gráfico 4: Relação entre absorção de água, pavers tradicionais (cinza) e areia-polímeros (verde-claro).



Fonte: Autor

Esses resultados evidenciam os argumentos apresentados por Ferreira (2001), **seção 2.5**, quando argumenta que uma das características dos “betões poliméricos” (compósitos polimérico), se dá, pela baixíssima absorção de água, desse material em relação aos “betões de cimento” (concreto convencional), que representa uma grande vantagem, uma vez que elevados valores de absorção em pavers, resultam em um produto com maior porosidade, e conseqüentemente, menos resistentes e mais suscetíveis a rachaduras e desgaste, além de ser um indicativo de falhas na composição ou compactação do material. Já os pavers, com baixa absorção são mais duráveis e menos afetados por intempéries.

O outro fator que pode ter influenciado nos baixos níveis de absorção de água do material, justifica-se pela baixa interação das moléculas do plástico com a água, devido a diferença de polaridades entre as mesmas, a maioria dos plásticos a base de hidrocarbonetos, polietileno, polipropileno, poliestireno, entre outros, são regidos por interações fracas como as de Van der Waals, enquanto a molécula de água, por interações fortes como as ligações de hidrogênio, tornando

o compósito parcialmente “hidrofóbico”. Podemos inferir de acordo com Moreira (2009), que os pavers areia e plástico apresentaram um baixo percentual de absorção, devido a natureza do compósito formado, como massa polimérica, pois com base no autor é possível que a blenda de resíduos plásticos tenha atuado como matriz (material ligante), e a areia como carga (material incorporador), fazendo com o que o compósito possuísse uma organização compacta e com baixa porosidade interna, gerando uma resistência a hidratação de óxidos; carbonatos e outros agentes químicos presentes no compósito, assim corroborando para uma baixa absorção de água.

Diante destes resultados comprovamos que, os pavers poliméricos, apresentaram uma baixíssima absorção de água, não ultrapassando os valores limetes de acordo com a ABNT NBR 9781/13, os pavers poliméricos absorveram dez vezes menos água que os pavers tradicionais utilizados como amostra comparativa, e portanto demonstram ser produtos que podem apresentar uma elevada durabilidade e resistência semelhante ou até mesmo maior, em relação aos pavers de concreto.

6.6 TESTES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O teste de resistência a compressão, foi realizado em duas etapas, sendo o primeiro teste realizado no Laboratório P&D, localizado na Escola Superior de Tecnologia – UEA, com a utilização da prensa modelo Instron Series Universal Testing Systems 68FM-100, e o segundo teste realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos, localizado no Instituto Federal do Amazonas – IFAM, Campos Manaus Centro, utilizando o equipamento: Máquina Hidráulica de Ensaio Universal modelo Contenco Pavitest 100 T. Nestes testes ambos os equipamentos foram calibrados e operados, pelo responsável técnico de cada laboratório.

O primeiro teste de resistência a compressão, foi realizado no Laboratório P&D/UEA, as amostras utilizadas foram as mesmas, submetidas ao teste de absorção, como descritas na **seção 6.5**, sendo 6 destas amostras, pavers a base de concreto e outras 6, pavers areia-polímero. Para a realização deste primeiro teste, houve a necessidade de realizar uma adequação dos pavers, as dimensões da célula de carga da prensa, para tal adequação foi realizado o corte dos pavers tanto de concreto quanto o polimérico, reduzindo ambos pela metade possuindo as seguintes dimensões (10 cm×10 cm×6 cm) - (largura x comprimento x espessura), como observado na figura 44.

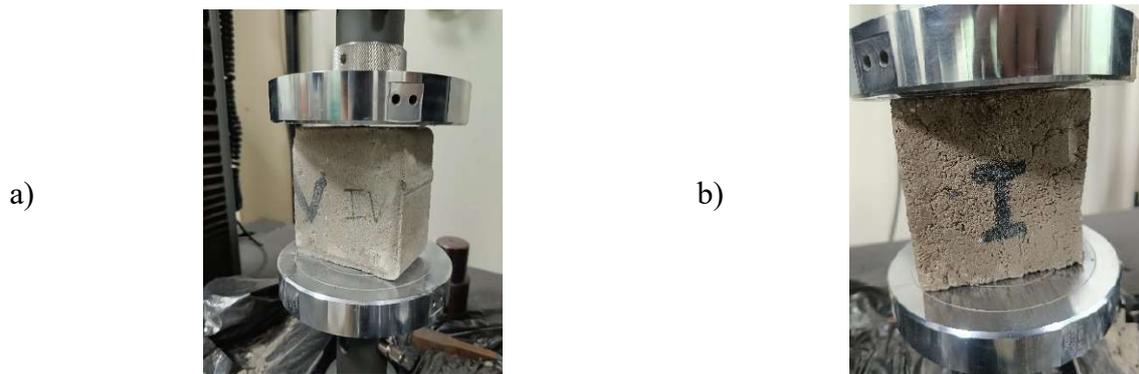


Figura 44: Amostras após corte, com compressão em andamento paver concreto (a), e paver polimérico (b).
Fonte: Autor.

Após a realização do corte das amostras, foi iniciada primeiramente a compressão dos blocos de concreto, seguindo a ordem de numeração das amostras: I, II, III, IV, V e VI respectivamente, os pavers foram submetidos a uma compressão axial vertical, até que se atingisse o ponto de ruptura dos pavers de referência, como demonstrado na figura 45.



Figura 45: Ponto de ruptura dos pavers de concreto após compressão.
Fonte: Autor.

Os dados de resistência a compressão para as seis amostras dos pavers de concreto, obtidos a partir do programa computacional que operava o dispositivo de prensagem, encontram-se descritos na tabela 12, gráfico 5 e no **Apêndice C**, desta dissertação.

Tabela 12: Resultados do teste de compressão das amostras com pavers tradicionais.

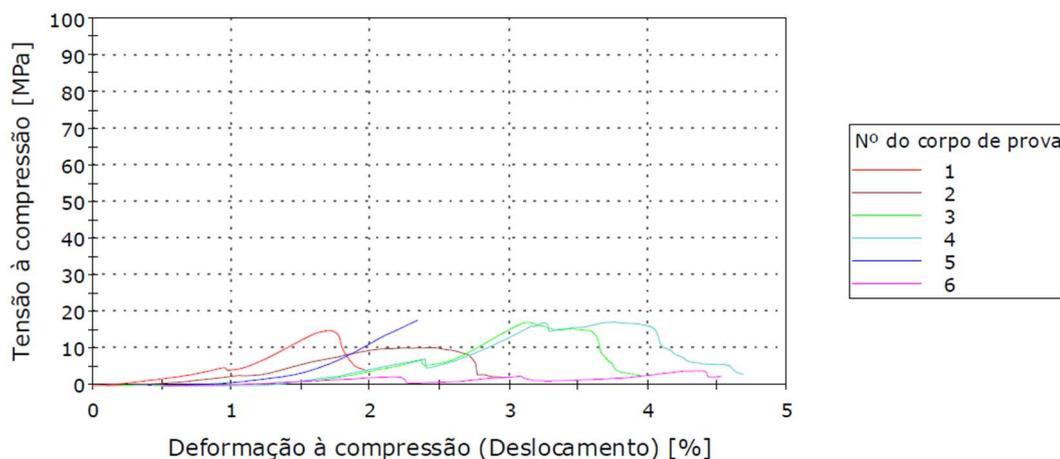
PAVER CONCRETO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Máximo de Carga [100000 N]	84386,61719	58080,40625	96957,61719	97129,66406	99929,21875	22610,36719
Deformação à Compressão DMC* [cm/cm]	0,01702	0,02347	0,02933	0,03464	0,01944	0,03842
DMC* [cm]	0,16767	0,23120	0,28886	0,34116	0,19150	0,37843
Tensão à Compressão MC** [MPa]	15,00807	10,32954	17,24381	17,27441	17,77230	4,02123
Modulo Young Automático [MPa]	871,85172	1038,94534	2152,24512	1868,27512	2110,52252	213,54177
Tensão à CRT*** [MPa]	15,00807	10,32954	17,24381	17,26782	17,77230	4,01088
Deformação à compressão DRT****[cm/cm]	0,01702	0,02347	0,02933	0,03460	0,01944	0,03846

*Deslocamento Máximo em Carga; **Máximo em Carga; ***Compressão em Resistência a Tração; ****Deslocamento em Resistência à Tração.

Fonte: Autor

Com base na tabela 12, podemos observar em destaque os limites de carga e também a capacidade de resistência a tensão e compressão das amostras de concreto. No decorrer deste teste, uma única amostra dentre as seis, não apresentou ruptura após ser submetida a compressão máxima do equipamento, sendo a amostra 5, atingindo o valor de carga e tensão a compressão de 99929,2 N e 17,77 MPa respectivamente, chegando próximo a capacidade máxima do equipamento, foi recomendado pelo técnico operante o encerramento do teste para a amostra a fim de evitar danos ao equipamento, já em relação as outras amostras todas sofreram ruptura ou cisalhamento a uma tensão de compressão que variaram entre 4,0 MPa a 17,27 MPa, o comportamento das amostras ao teste de resistência a compressão, pode ser observado no gráfico a seguir:

Gráfico 5: Relação entre resistência a compressão e deformação a compressão dos pavers de concreto.



Fonte: Autor

No gráfico 5, nos é mostrado a relação entre tensão aplicada e deformação das amostras, neste tipo de gráfico as linhas e suas cores representam as amostras separadamente quanto ao grau de deformidade das mesmas, os picos de cada linha e seu declínio, representam o ponto de fratura do material, e a calda das linhas representam o quanto a deformação do material até sua fratura. Destas amostras a única que não apresentou ruptura foi a amostra número 5 (listra azul escuro). A resistência máxima observada foi de 17,7 MPa, sendo o limite do equipamento em torno de 20 MPa. Porém, devido a incapacidade do equipamento não foi possível verificar se amostra 5, chegaria aos 35MPa, mínimo exigido de pavers de concreto para tráfego leve, contudo observou-se que a maioria das amostras apresentaram uma ruptura muito abaixo dos 35MPa.

Aplicando-se o mesmo procedimento descrito anteriormente, para o teste de resistência das amostras de concreto, submeteu-se amostras de areia-polímero, porém o comportamento dos dois primeiros pavers poliméricos submetidos ao teste de compressão, foi bastante surpreendente, se comportando de modo superior ao observado na amostra de concreto número 5, ou seja, esses pavers resistiram ao limite máximo de compressão do equipamento, sem apresentar ruptura ou cisalhamento do corpo de prova, como demonstrado na figura 46 e tabela 13. Um fato importante a ser observado, é que as estrias aparentes na superfície externa do bloco não se tratam de fissuras do processo de compressão, sendo regiões onde o compósito não obteve compactação ideal, para sua união, porém internamente essas “estrias” não foram identificadas.



Figura 46: Pavers poliméricos submetidos ao teste de compressão sem apresentar ruptura ou cisalhamento.

Fonte: Autor

Tabela 13: Resultados do teste de compressão das amostras com pavers de areia e plástico.

PAVER AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Máximo de Carga [100 kN]	100615,68750	100347,28125	-	-	-	-
Deformação à Compressão DMC* [cm/cm]	0,01808	0,01457	-	-	-	-
DMC* [cm]	0,18985	0,15299	-	-	-	-
Tensão à Compressão MC** [MPa]	19,22862	19,17733	-	-	-	-
Modulo Young Automático [MPa]	1620,63038	1795,21174	-	-	-	-
Tensão à CRT*** [MPa]	19,22862	19,17733	-	-	-	-
Deformação à compressão DRT****[cm/cm]	0,01808	0,01457	-	-	-	-

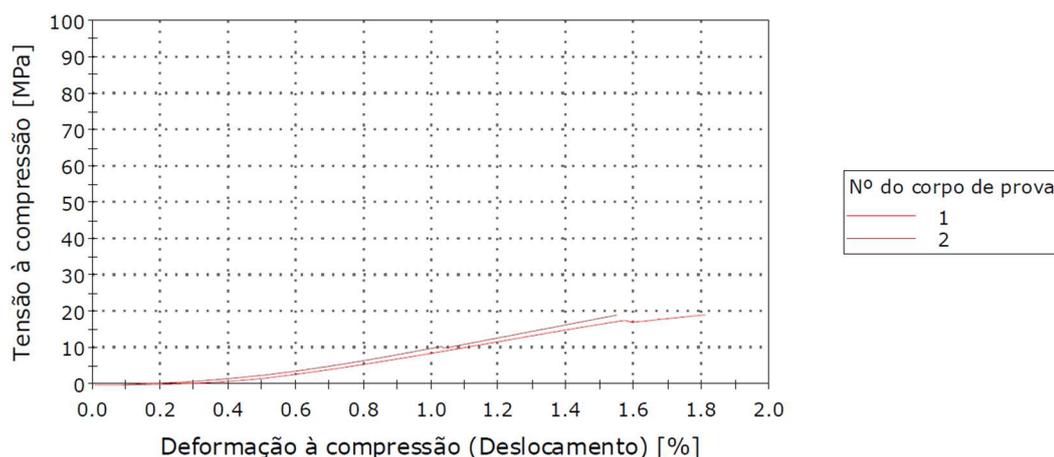
*Deslocamento Máximo em Carga; **Máximo em Carga; ***Compressão em Resistência a Tração; ****Deslocamento em Resistência à Tração. **Fonte:** Autor

O resultado holístico observado, nos mostra que o paver polimérico apresentou uma alta resistência quando comparados as amostras dos pavers de concreto, utilizadas como amostras comparativas, novamente foi recomendado pelo técnico operante do equipamento a finalização do ensaio após o teste da segunda amostra do paver polimérico supondo que o restante das amostras também poderia apresentar o mesmo comportamento, sendo assim optou-se por atender as limitações e preservar o equipamento.

A resistência máxima observada para as duas amostras de acordo com a tabela 13, foi de 19,23 MPa e 19,18 MPa, respectivamente para as amostras I e II. Neste teste não foi possível observar o momento de ruptura ou cisalhamento devido as limitações do equipamento, já que ambas as amostras resistiram a carga superiores a 100 kN, como apresentado na tabela.

Ao compararmos os dados de resistência a compressão entre amostras de concreto e areia-polímero, observamos uma variação de 15,23 Mpa e 1,96 MPa, entre a menor resistência e a maior resistência, obtida a partir da compressão dos pavers de concreto, esse fato reforça o argumento de Veldes & Cortes (2014), onde afirmam que a magnitude de resistência a compressão de compósitos areia-polímero pode ser superior a processos de cimentação usando o cimento Portland com uso de aglutinantes. No gráfico 6, podemos observar o comportamento das amostras poliméricas I e II, submetidas ao teste resistência a compressão.

Gráfico 6: Relação entre resistência a compressão e deformação a compressão dos pavers de areia e plástico.



Fonte: Autor

Diferentemente do comportamento da maioria das amostras dos pavers de concreto testados, os pavers poliméricos apresentaram uma uniformidade em relação ao deslocamento sofrido até compressão máxima exercida, além de uma baixa deformação, demonstrando ser um material compacto e resistente. O resultado obtido justifica, os baixos índices de absorção de água observado no gráfico 4, **seção 6.6**, pois de modo qualitativo a relação entre resistência e absorção, ocorra de maneira inversamente proporcional, quanto as propriedades mecânicas de materiais.

Para a realização do segundo teste de compressão, utilizou-se a Máquina Hidráulica de Ensaio Universal modelo Contenco Pavitest 100 T, com velocidade de compressão de 30 Tf/s (tonelada força por segundo). Preparou-se seis novas amostras dos pavers de areia e plástico, para determinação da resistência a compressão até a ruptura das amostras de dimensões (10cm×20 cm×6 cm) - (largura x comprimento x espessura), sendo classificadas como: 7, 8, 9, 10, 11 e 12, a composição destas amostras são descritas na tabela 14. Para efeito de comparação de resistência, foram selecionadas mais seis amostras de pavers de concreto tradicionais, submetidos de igual modo ao teste realizado aos pavers poliméricos.

Tabela 14: Composição percentual das amostras de pavers areia-polímero, segundo teste.

PAVERS AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 7	AMOSTRA 8	AMOSTRA 9	AMOSTRA 10	AMOSTRA 11	AMOSTRA 12
COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MP*/MA**	31,68%	25,00%	35,00%	39,94%	24,70%	31,26%
MASSA DA AMOSTRA	2342,0 g	2301,1 g	2347,4 g	2475,6 g	2402,0 g	2372,8 g

* Massa do polímero; **Massa da Areia

Fonte: Autor

O equipamento utilizado neste segundo teste, capacidade de compressão maiores que a prensa utilizada no teste anterior, devido a maior capacidade de compressão do equipamento não houve a necessidade de realizar adaptações nas amostras, não sendo necessário realizar o corte das mesmas, ambas foram submetidas a compressão axial longitudinal, como demonstrado na figura 47.



Figura 47: Teste resistência a compressão em andamento, amostras de pavers polimérico e concreto respectivamente.

Fonte: Autor

Seguindo os procedimentos padrões de acordo com a ANBT NBR 9781/13, ambas amostras, foram submetidas a compressão axial, até ruptura completa, os valores da resistência a compressão em tonelada/força, obtidos a partir da leitura do equipamento e convertidos para MPa, são mostrados na tabela 15 e 16.

Tabela 15: Caracterização da resistência a compressão, dos pavers cimentados.

PAVERS CONCRETO	AMOSTRA 7	AMOSTRA 8	AMOSTRA 9	AMOSTRA 10	AMOSTRA 11	AMOSTRA 12
MASSA DA AMOSTRA	2495,2 g	2504,2 g	2426,1 g	2543,0 g	2555,4 g	2503,5 g
DIMENSÕES DA AMOSTRAS	10X20x6 cm					
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO Tf*	70,80 Tf	87,31 Tf	47,17 Tf	76,73 Tf	58,37 Tf	68,40 Tf
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO MPa**	32,98 MPa	40,52 MPa	21,97 MPa	35,70 MPa	27,19 MPa	31,85 MPa

*Tonelada força; **MegaPascal

Fonte: Autor

De acordo com resultados obtidos, a partir dos testes de resistência a compressão para amostras de concreto, verificou-se que os pavers cimentados apresentaram resistência mínima de 21,97 MPa e máxima de 40,52 MPa, possuindo uma média de 31,70 MPa, para o total de seis amostras avaliadas. Na figura 48, podemos observar o padrão de ruptura dos pavers de concreto após o teste de compressão, observou-se que o material, com a adição de carga até sua ruptura apresentava “trincas”, que se dividiam em partes menores assim que removidos do aparato de prensagem, como mostrado na figura a seguir.



Figura 48: Padrão de ruptura dos pavers de concreto após compressão.

Fonte: Autor

A resistência a compressão dos pavers areia-polímero, variou em torno de 19,70 MPa, a 40,19 MPa, com média de 27,36 MPa, para as seis amostras avaliadas, a partir dos resultados de resistência, o compósito produzido pode ser comparado a concretos de resistência moderada e alta com base em valores de f_{pk} superiores a 20 MPa e 35 MPa obtidos. Este resultado evidencia que os pavers de areia e plástico, apresentaram valores de resistência menores que os pavers convencionais em relação a média de resistência das amostras, contudo alguns podem apresentar valores superiores aos de pavers convencionais, quando comparados de forma individual a partir de suas diferentes composições percentuais de massa areia-polímero, além disso alguns pavers de areia e plástico, suportaram cargas superiores a 35 MPa, limite especificados pela ABNT NBR 9781/13, na tabela 16, são expostos os resultados do teste de resistência compressão.

Tabela 16: Caracterização da resistência a compressão, dos pavers areia-polímero.

PAVERS AREIA-POLÍMERO	AMOSTRA 7	AMOSTRA 8	AMOSTRA 9	AMOSTRA 10	AMOSTRA 11	AMOSTRA 12
COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MP*/MA**	31,68%	25,00%	35,00%	39,94%	24,70%	31,26%
MASSA DA AMOSTRA	2342,0 g	2301,1 g	2347,4 g	2475,6 g	2402,0 g	2372,8 g
DIMENSÕES DA AMOSTRAS	10X20x6 cm					
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO Tf***	48,5 Tf	76,25 Tf	42,25 Tf	53,87 Tf	86,25 Tf	49,34 Tf
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO MPa****	22,59 MPa	35,52 MPa	19,70 MPa	23,18 MPa	40,19 MPa	23,00 MPa

* Massa do polímero; **Massa da Areia; ***Tonelada força; ****MegaPascal

Fonte: Autor

Analisando o padrão de ruptura dos pavers poliméricos (figura 49), submetidos ao teste de compressão, notou-se que o material, diferentemente dos blocos de concreto, após serem removidos do aparato de prensagem, mesmo com rupturas aparente tanto externas quanto internas, ainda permanecia de certa forma coeso e sem se despedaçar naturalmente, como ocorreu aos pavers de concreto, podemos inferir que esse fato observado ocorreu devido ao aumento das propriedades elásticas do paver polimérico devido a composição plástica, como defende Passatore, (2013), **seção 2.4.**

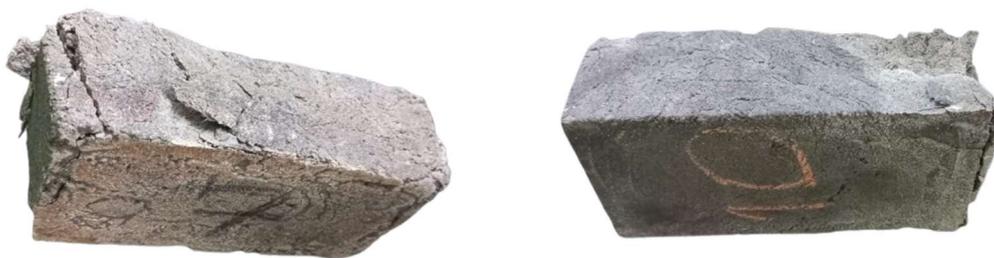
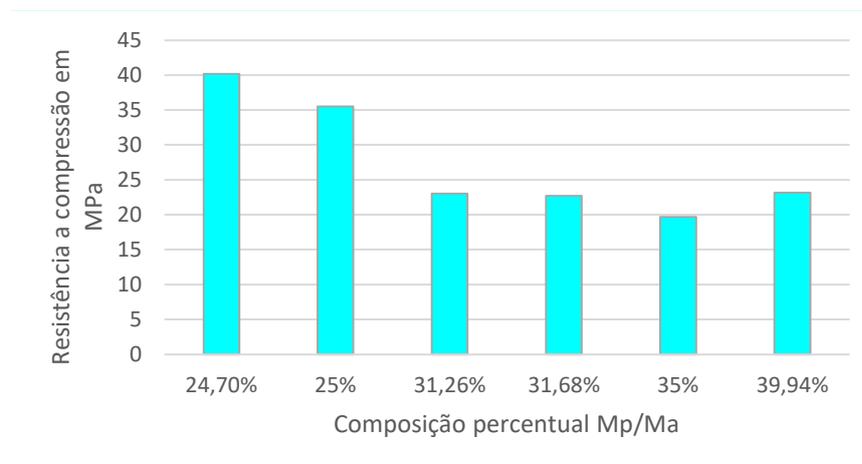


Figura 49: Padrão de ruptura dos pavers de areia e plásticos após compressão.

Fonte: Autor

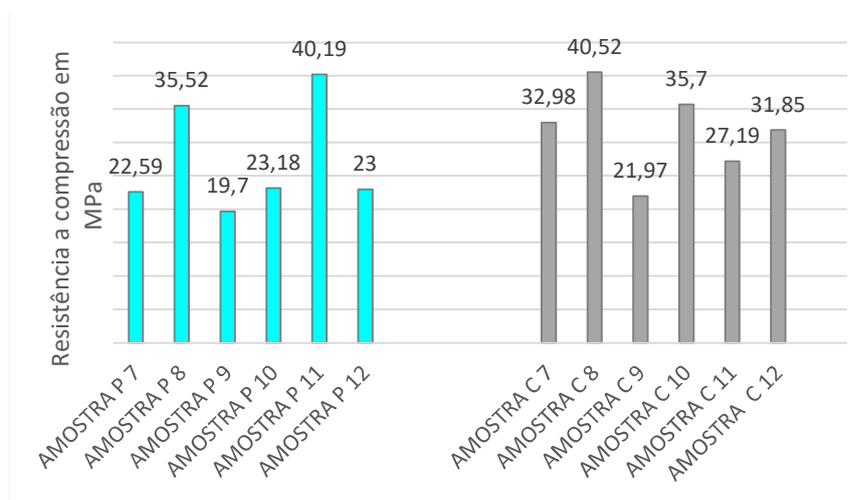
Ao realizarmos a análise dos pavers de areia e plástico com maior resistência a compressão notamos que os pavers produzidos a partir do compósito com proporção próxima a 25% M_p/M_a , apresentaram resistência superior em relação as amostras com proporção entre 30% a 40% M_p/M_a , como demonstrado no gráfico 7. Com isso podemos afirmar com base em Moreira (2009), que na formação do compósito areia-polímero, utilizado na elaboração dos pavers avaliados a areia atuou como refoço garantida resistência ao material e o resíduo plástico como matriz, uma vez que a matriz atuou como agente ligante responsável pela união do compósito formado, nota-se a partir deste achado que doses maiores de resíduo polimérico tendem a diminuir a resistência do material. No gráfico 8, observamos a relação entre as resistência de ambas as amostras, e mesmo os materiais possuindo composições químicas e processos de produções distintos, apresentaram certas similaridades quanto as propriedades mecânicas diante da resistência a compressão.

Gráfico 7: Relação entre resistência e composição percentual amostras poliméricas.



Fonte: Autor

Gráfico 8: Comparação entre as resistências das amostras poliméricas (verde-claro) e cimentei-a (cinza) expressa em MPa.



Fonte: Autor

Ainda de acordo com a ABNT NBR 9781/13, a partir dos dados obtidos, foi realizado a análise estatística, para determinação da Resistência a Compressão Estimada ($f_{pk, est}$), admitindo que os valores de resistências à compressão das amostras analisadas, obedeceram uma distribuição normal, a resistência a compressão estimada foi calculada com base na equação da figura 36, seção 5.61. Os dados estatísticos avaliados são apresentados na tabela 17.

Tabela 17: Dados estatísticos a partir das amostras poliméricas e cimentícias.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO	PAVERS CIMENTADOS	PAVERS POLIMÉRICOS	VARIAÇÃO COMPARATIVA
Média f_{pk}^* MPa	31,70 MPa	27,36 MPa	4,34 MPa
Variância f_{pk}^* MPa	42,10 MPa	69,82 MPa	27,72 MPa
Desvio padrão f_{pk}^* MPa	6,48 MPa	8,35 MPa	1,87 MPa
$f_{pk, est}^{**}$ MPa	25,80 MPa	19,70 MPa	6,10 MPa

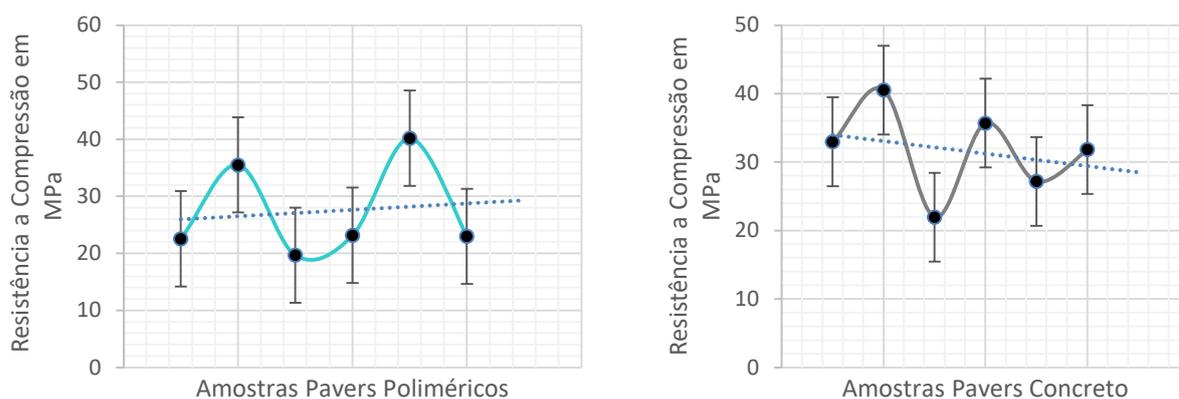
* Resistência Característica a Compressão; **Resistência a Compressão Estimada

Fonte: Autor

Com base nos valores dispostos na tabela 17, podemos verificar que a média de ambas as amostras, situaram-se abaixo de 35MPa, os pavers poliméricos apresentam uma maior variância e conseqüentemente um maior desvio padrão, supomos que um dos fatores que influenciaram este resultado, ocorreu pelo fato das diferentes composições das amostras, variando entre 25 % a 40% M_p/M_a , contudo as amostras de pavers tradicionais, apresentaram um desvio padrão relativamente

alto, apesar do processo de fabricação ser mais sistemático e uniforme, a resistência a compressão estimada foi de 25,80 MPa e 19,70 MPa, para amostras de concreto e areia e plástico respectivamente, a dispersão dos desvios padrões das amostras 7, 8, 9, 10, 11 e 12, nesta ordem, podem ser observadas no gráfico 9.

Gráfico 9: Desvio padrão das amostras de pavers poliméricos e concreto respectivamente.



Fonte: Autor

De modo geral podemos afirmar que os pavers poliméricos quando comparados aos de concreto, apresentam uma boa resistência, semelhante à de pavers convencionais de moderada resistência com uma média de f_{pk} estimado acima de 20MPa, e alta resistência para pavers poliméricos com concentrações próximas as 25% M_p/M_a , atingido valores de resistência a compressão superiores a 35MPa, logo esses pavers são excelentes candidatos para substituir os pavimentos intertravados tradicionais a base de concreto. Com base na resistência elevada dos pavers poliméricos, podemos afirmar que o dispositivo de prensagem alternativa desenvolvido, proporcionou uma boa compactação do compósito sendo eficiente para sua finalidade, porém acreditamos que o compósito polimérico desenvolvido nesta pesquisa, pode apresentar melhorias quanto a sua resistência, ao utilizarmos métodos de compactação com maiores forças de carga, como por exemplo empregando prensas de maior poder de compressão, como é feito na fabricação de pavers tradicionais.

6.7 VIABILIDADE DOS PAVERES DE PLÁSTICO E AREIA

Nesta seção, apresentaremos algumas vantagens e também desvantagens, a respeito da viabilidade dos pavers de areia e plástico em relação aos a pavers tradicionais, analisando três principais dimensões: Econômica, Logística e Ambiental.

No quadro 14, apresentamos a relação custo-benefício, entre a quantidade de materia prima necessária, utilizada na produção de um traço padrão, para obtenção de um metro cúbico de pavers a partir do concreto, com os pavers possuindo as seguintes dimensões (10cm×20cm×6cm) - (largura x comprimento x espessura).

Quadro 14: Relação custo-benefício, entre a produção do traço padrão por metro cúbico, de pavers convencionais

Traço Padrão	Pedrisco	Pó de Pedra	Areia	Cimento	Pavers com Dimensões (20x10x6 cm)			
					Volume do Traço em m ³	Quantidade de pavers por m ³	Quantidade de pavers por m ²	Valor médio do paver por m ²
3x1	1/4	1/4	1/4	1/4				
Quantidade em Litros	300L	300L	300L	300L	1 m ³	833 unidades	50 unidades	R\$: 40,00
Preço Médio por Litro	R\$: 0,13	R\$: 0,13	R\$:0,13	R\$: 0,60	Custo Total	Valor médio do m ³		Lucro estimado
Preço Médio Final	R\$:40,00	R\$:40,00	R\$:40,00	R\$:180,00	R\$: 300,00	R\$: 666,40		R\$: 366,40

Obs: Neste traço o volume de água pode variar de 150 a 190 L; Na composição do traço ainda podem ser adicionados aditivos de cimentação; O período de cura médio deste tipo de paver, pode levar de 7 a 28 dias após sua fabricação; O custo total pode variar em função do valor de mercado das matérias primas; Considera-se os dispêndios com mão de obra já embutida no valor final do produto.

Fonte: Autor

Em relação ao quadro apresentado anteriormente, propomos a elaboração de um traço alternativo ao do concreto, para produção dos pavers de areia e plástico, a partir das seguintes considerações: a) Composição polimérica de 25% M_p/M_a , sendo este percentual, aquele que apresentou melhores resultados de resistência a compressão; b) Valor médio em quilogramas por metro cúbico da areia média lavada a R\$: 100,00 reais; c) Valor médio do quilo do plástico não processado a R\$: 0,50 centavos; d) As quantidades de areia e plástico para peças unitárias sejam respectivamente iguais a 1800g/450g com dimensões (10cm×20cm×6cm), desconsiderando possíveis perdas, e que todo plástico atue preenchendo os vazios do volume de areia nas peças, o volume correspondente em metros cúbicos do traço alternativo, estará muito próximo ao traço padrão do concreto. A relação custo-benefício do traço alternativo é apresentada no quadro a seguir.

Quadro 15: Relação custo-benefício, entre a produção do traço alternativo por metro cúbico, de pavers de areia e plástico.

Traço Alternativo	Areia	Plástico	Pavers com Dimensões (20x10x6 cm)			
			Volume Traço em m³	Quantidade de pavers por m³	Valor médio do paver por m²	Quantidade de pavers por m²
4x1	100%	25%				
Quantidade em Kg	1500 Kg	375 Kg	1 m ³	833 unidades	R\$: 40,00	50 unidades
Preço Médio por Kg	R\$: 0,07	R\$: 0,50	Custo total	Valor médio do m³		Lucro estimado
Preço Médio Final	R\$: 100,00	R\$: 187,50	R\$: 287,5	R\$: 666,40		R\$: 378,90

Obs: Na fabricação deste tipo de paver, não a necessidade da utilização de água ou aditivos; O período de cura médio para esse tipo de paver, durante sua produção pode variar de 5 a 10 minutos para completa compactação, e de 30 minutos a 1 hora para seu resfriamento, dependendo do processo empregado; O custo total pode variar em função do valor de mercado das matérias primas; Considera-se os dispêndios com mão de obra já embutida no valor final do produto.

Fonte: Autor

Ao realizarmos a comparação entre o custo-benefício estimado, para os dois tipos de pavers, a partir de seus traços, notamos uma redução quanto ao uso de matérias primas, uma vez que os pavers de concretos utilizam geralmente cimento, areia, pedrisco, pó de pedra, além de água e aditivos, os pavers poliméricos apenas dois, a areia e o plástico, gerando também uma diminuição de etapas e tempo de produção, já que os pavers de areia e plástico, apresentam períodos de cura que levam minutos e/ou horas, enquanto os pavers de concreto dias, tornando-se um fator para diminuição de custos operacionais e também uma maior capacidade de produção em menor tempo. O lucro estimado dos pavers de areia e plástico em relação aos de concreto é maior em aproximadamente 2%, a cada metro cúbico comercializado, com possibilidade de alavancagem, dependendo da fonte captação e preço dos insumos areia e plástico.

Do ponto de vista logístico, ambas as matérias primas são bastante acessíveis e abundantes, o que facilita o seu processo de obtenção, naturalmente a areia pode ser encontrada em reservatórios naturais, e também obtida a partir de processos de reciclagem, os principais tipos de areia são: lavada; usinada; aterro; praia e reciclada. Tratando-se dos resíduos plásticos, sua captação pode ocorrer em variados setores, pois o resíduo plástico empregado na produção dos pavers sustentáveis não necessitam de uma seleção específica, possibilitando uma grande rede logística de captação, como cooperativas de reciclagem, startups que captam e armazenam resíduos plásticos, sobras de processos industriais, incluído as sobras do próprio setor de produção de plásticos, sistemas de limpeza pública e privada, coleta seletiva porta-a-porta, e também a exemplo desta pesquisa, a partir da retirada de áreas com alta incidência de descarte incorreto desses resíduos como rios, correios, igarapés, etc, sendo esta última de grande valia para diminuição de impactos ambientais causados pelos resíduos plásticos ao meio ambiente. A respeito da viabilidade ambiental dos pavers de areia

e plástico, quando comparados aos pavers tradicionais, podemos citar as seguintes vantagens: diminuição da variedade de matéria prima, gerando uma menor degradação ambiental; melhor alocação dos resíduos plásticos e maior sustentabilidade de recursos naturais, pois resíduos que antes poderiam ser descartados na natureza, podem se tornar um produto ecológico e rentável; alternativa a utilização do cimento, corroborando para atenuação das emissões de CO₂, a partir do seu processo de fabricação. Uma outra vantagem apresentada pelo material é sua versatilidade, uma vez que pode ser utilizado para desenvolvimento de outros materiais modeláveis, tais como blocos e tijolos construção de casas, tampas de bueiro, entre outros materiais aplicáveis no ramo da construção civil.

Apesar dos resultados animadores, ainda existem desafios a serem ultrapassados para uma efetiva produção em larga escala, entre eles está a necessidade de otimizar o processo de mistura do compósito em larga escala, e também a busca de equilíbrio energético viável, economicamente e ambientalmente, retenção e controle resíduos tóxicos. Uma das principais desvantagens apresentadas pelos pavers poliméricos, quando equiparados aos pavers a base de concreto, pode ocorrer na etapa de homogeneização a partir da mistura a quente, sendo uma das propriedades do plástico a baixa condução de calor seu processo de aquecimento geralmente é lento e não uniforme, esses fatores tornam-se dificuldades para a produção de grandes cargas do compósito, a aprimoração desta etapa ainda carece de estudos mais aprofundados e também o emprego de outras técnicas de aquecimento e maquinários personalizados, que possibilitem sua efetiva produção em escala industrial, garantindo uma maior eficiência energética e econômica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos gerais e específicos delimitados nesta pesquisa, apresentamos neste tópico um apanhado, dos resultados obtidos, quanto ao processo de desenvolvimento, composição, modulação e avaliação dos testes aos quais os pavers sustentáveis, elaborados a partir do compósito areia-polímero foram submetidos apresentando os principais achados, que de modo preliminar demonstram que os objetivos foram alcançados em sua totalidade, validando que os resíduos plásticos reciclados ao se associarem a areia quando aquecidos, podem se tornar uma alternativa sustentável e durável em comparação aos pavers de concreto tradicionais.

A coleta dos resíduos plásticos, foi realizada em áreas de descarte inadequado na cidade de Manacapuru/AM, nas proximidades da orla do Rio Miriti, onde conseguimos coletar aproximadamente 190 kg de material. Desses, 65 kg foram selecionados para uso e o restante destinado a associação de coletores do município. O processamento envolveu lavar, secar e triturar os plásticos em flocos, garantindo a segurança para o manuseio do material, nesta etapa de tratamento a maioria dos resíduos foram reaproveitados, apresentando uma boa variedade de material plástico, essa coleta demonstrou que é possível reduzir a poluição local por resíduos plásticos apesar das dificuldades. Quanto a formulação do compósito, levou-se em consideração a metodologia de estudos recentes que utilizam polímeros para elaboração de produtos alternativos ao cimento, realizou-se também ensaios qualitativos, avaliando proporções de plástico e areia sob aquecimento, entre 20% e 50% M_p/M_a . Os melhores resultados apareceram com teores de 25% a 35% M_p/M_a , com uma variação de $\pm 5\%$, nestas proporções o compósito apresentou boa homogeneização, compactação e maleabilidade, provando ser bem versátil, permitindo moldar em diversos formatos, demonstrando possuir elevada resistência mecânica e baixa absorção de água, o que amplia as possibilidades de uso na área da construção civil, principalmente no campo da pavimentação intertravada. A mistura de diferentes polímeros mostrou-se eficiente quanto ao beneficiamento das propriedades físico-químicas e mecânicas do compósito obtido, tornando-o uma alternativa realmente viável ao concreto.

Os pavers produzidos foram moldados em matrizes metálicas de acordo com as métricas da ABNT NBR 9781/13, usando um sistema de prensagem alternativo, que demonstrou ser robusto e eficaz para realizar a compactação do compósito. As peças dos pavers de areia e plástico atenderam as dimensões e características físicas exigidas, evidenciando a eficiência do sistema de modulação e prensagem.

Avaliou-se a qualidade de ambos os pavers selecionados, por meios dos testes de absorção e resistência a compressão característica e estima (f_{pk} e $f_{pk,est}$) como determina a ABNT NBR 9781/13, os pavers poliméricos mostraram uma resistência à compressão com valores médios de 27,36 MPa e máximos que chegaram até 40,19 MPa, para concentrações próximas a 25% M_p/M_a , neste percentual, atingindo limites superiores ao exigido, de acordo com a normas para tráfego leve, de modo geral, os pavers de areia e plástico, dependendo de suas proporções, podem apresentar comportamento semelhante ou até mesmo superior a de pavers tradicionais feitos a partir de concreto, diante dos testes de resistência compressão. A absorção de água observada foi, em média, dez vezes menor do que a dos pavers tradicionais, sendo um indicativo de que o pavers poliméricos podem ser tão duráveis e resistentes, quanto os de concreto, diante das intempéries climáticas. Os resultados obtidos com a espectrometria por FRX das amostras polimérica e cimentícia, demonstram o que prevê a literatura quanto a composição química da areia natural, que foi utilizada na elaboração do compósito, e também a composição de materiais a base de cimento, enquanto a areia apresentou majoritariamente alto teor de sílica, na amostra de concreto analisada observamos uma presença significativa de óxidos e carbonatos de cálcio, composto característico de corpos cimentícios.

Ao avaliarmos o parâmetro da viabilidade econômica, notamos que os custos de produção dos pavers de areia e plástico são relativamente mais baixos, por necessitar de insumos como cimento, água e outros. A ampla disponibilidade de areia e plásticos recicláveis facilita a logística de produção e o que torna a proposta ainda mais interessante, quanto a sua implementação comercial. Em termos ambientais, reutilizar plásticos ajuda a diminuir a poluição e a proteger ecossistemas, especialmente nas áreas onde o descarte é irregular, a substituição do cimento, por resíduo plástico nesse tipo de material, tem potencial de contribuir para a redução das emissões de CO_2 , alinhando-se aos princípios da economia circular e da construção sustentável. Ademais, acreditamos que a pesquisa se mostrou relevante dentro de sua proposta, pois contribuiu de forma significativa para uma melhor compreensão tanto literária quanto tecnológica, quanto à aplicação de resíduos plásticos na composição novos materiais alternativos ao emprego do cimento, além apresentarmos uma possibilidade eficaz de alocação dos resíduos plásticos, este, por conseguinte, sendo um dos grandes desafios quando se fala de impactos ambientais causados pelos plásticos. A incorporação dos resíduos poliméricos aplicados a pavimentação intertravada, além de gerar benefícios ao pavers, como já apresentado, acaba sendo uma alternativa ambientalmente e economicamente viável, durável e sustentável.

8 REFERÊNCIAS

- ABIPLAST. **Perfil 2015 da Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico**. Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2015.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: **Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR: 14656; **Cimento Portland e Matérias Primas: Análise Química por Espectrometria de Raios – X. Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.
- ALI, M. B.; SAIDUR, Rahman; HOSSAIN, M. S. **A review on emission analysis in cement industries**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 5, p. 2252-2261, 2011.
- AMORIM, Raul De Sá, et al. **Logística verde: um olhar sobre os resíduos plásticos**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 63149-63156, 2020.
- AZEVEDO, P. B. M.e RUIZ, M. S. **Perfil 3 – Areia, Quartzo e Quartzito Industrial**. In: Mercado Produtor Mineral do Estado de São Paulo, Pró-Minério, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, p. 49-59. (1990).
- BAI, Yuxia et al. **Mechanical behavior of polymer stabilized sand under different temperatures**. Construction and Building Materials, v. 290, p. 123237, 2021.
- BGS - British **Geological Survey**. Mineral Planning Factsheet. Silica Sand, 9 p. (2004). Disponível em : <www.mineralsUK.com> Acesso em: 06/12/2024
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science nad engineering: An introduction**. Machining Science and Technology, 2009.
- CANEVAROLO, S. V. JR., **Ciência dos Polímeros**. 2o ed. [s.l: s.n.]
- CASAGRANDE, Naiara; **Inclusão dos impactos dos resíduos plásticos no ambiente marinho em avaliação de ciclo de vida**. 2018. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CASTRO, Vinicius Gomes de. **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro**. EdUFERSA, 2021.
- CONCEIÇÃO, Márcio Magera et al. **O plástico como vilão do meio ambiente**. Revista Geociências-UNG-Ser-ISSN 1981-741X (1981-7428), v. 18, n. 1, p. 50-53, 2019.
- DAVIS, L. L. e TEPORDEI, V. V. (1985). **Sand and gravel**. In: **Mineral Facts and Problems**, 1995 Edition, Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 675, 15p.

DEPARTAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – DRES; **Relatório Analítico De Indicadores Da Coleta Seletiva No Município De Manacapuru. 2023.**

DAI, Chengjiang et al. **Polymer-fiber combined effect for improving sand mechanical and micro-damage response.** Construction and Building Materials, v. 432, p. 136672, 2024.

EL-SHEIKHY, Refat. **Resisting spread of environmental-pollution diseases due to Portland-cement industries: green nanoclay applications.** Scientific Reports, v. 13, n. 1, p. 395, 2023.

EDIKE, Uche Emmanuel; AMEH, Oko John; DADA, Martin Oloruntobi. **Performance of polymer bricks produced with plastic waste.** Innovative Infrastructure Solutions, v. 8, n. 1, p. 51, 2023.

FERREIRA, G. C. **Avaliação da evolução dos mercados produtores e consumidor de areia industrial no Estado de São Paulo.** Geociências, UNESP, São. Paulo, vol.16, no. 2, p. 433-466. (1997).

FERREIRA, A. **Introdução aos betões e argamassas polimérica.** 2001.

FERRREIRA, G. C. e DAITX, E. C.; **Áreas produtoras de areia industrial no Estado de S. Paulo.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 50 (4), out./dez. p. 54-60. (1997).

FRANÇA, S. C. A. e LUZ, A. B.; **Beneficiamento de Diatomita da Bahia, Série Rochas e Minerais Industriais.** nº 7, 52p. CETEM/MCT. (2002).

GARCIA, Nicole F.; VALDES, J. R.; CORTES, D. D. **Strength characteristics of polymer-bonded sands.** Géotechnique Letters, v. 5, n. 3, p. 212-216, 2015.

GOMES, Luana Silva; DE SOUZA, Marcos Costa; FURTADO, Antonia Carlene Rodrigues. **A sílica e suas particularidades.** Revista virtual de química, v. 10, n. 4, 2018.

HAGE, E., HALE, W., KESKKULA, H., Paul, D. R. - **Polymer**, 38, p.3237 (1997)

HAMEED, Awham M.; HAMZA, Mohammad T. **Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials.** Energy Procedia, v. 157, p. 43-50, 2019.

HARBEN, P. W. e KUZVART, M. **Silica. In: Industrial Minerals – A global Geology.** Industrial Minerals Information Ltd, Metal Bulletin, PLC, London, p. 352-364. (1996).

HANSON, A. **Silica and Microspheres. In: Raw Materials for Pigments, Fillers and Extenders.** Consumers Survey, Industrial Minerals, p. 87-91. (1995).

KIELING, A. C., SANTANA, G. P., DOS SANTOS, M. C., DA SILVA, C. S. S., da Silva AMORIM, C. L., & Pontes, J. R. **Potencial econômico de plásticos recicláveis na cidade de Manaus (AM).** *Scientia Amazonia*, 8(2). (2019).

LIU, D., SANDEEP, C. S., SENETAKIS, K., NARDELLI, V., & LOURENÇO, S. D. N.; **Micromechanical behaviour of a polymer-coated sand.** *Powder Technology*, 347, 76-84. 2019.

LIU, J., BAI, Y., Li, D., WANG, Q., QIAN, W., WANG, Y., ... & WEI, J.; **An experimental study on the shear behaviors of polymer-sand composite materials after immersion.** *Polymers*, 10(8), 924. 2018.

LIU, J., BAI, Y., SONG, Z., LU, Y., QIAN, W., & KANUNGO, D. P.; **Evaluation of strength properties of sand modified with organic polymers.** *Polymers*, 10(3), 287. 2018.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Areia industrial.** 2008.

MAIA, Leticia de Oliveira et al. Materiais alternativos para produção de canudos. **A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2**, 2021.

MIRANDA, D. *et al.* **Plásticos Biodegradáveis.** Especialização – Curso de Administração e Economia, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 48 p. São Paulo, 2018.

MIRANDA, Luana Varela; VALDES, Julio R.; CORTES, Douglas D. **Solar bricks for lunar construction.** *Construction and Building Materials*, v. 139, p. 241-246, 2017.

MIRANDA, Luana Varela; NASCIMENTO, José Wallace Barbosa do; VALDES, Julio R. **Hot mix method for the manufacture of sand-polymer bricks.** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 17, p. e17410, 2023.

MOREIRA, Anabela Mendes. **Materiais compósitos.** Área de construção, 2009.

NABESHIMA, Cinthia Kaori Yabe; ORSOLIN, Kátia; SANTOS, Rafael Kresko Xavier dos. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers).** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.

OHAMA, Y. – **Polymer-based admixtures.** *Cement and Concrete Composites* Vol.20, pp.189-212, 1998.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, Said. **Utilização de polímeros na melhoria da durabilidade do betão.** 2009.

PASSATORE, Claudio R. **Química dos polímeros.** Material didático, 3º módulo, 2013.

PIATTI, Tânia Maria. **Plásticos : características, usos, produção e impactos ambientais** / Tânia Maria Piatti, Reinaldo Augusto Ferreira Rodrigues. - Maceió : EDUFAL, 2005.

PIA - POLYMERS INTERNATIONAL AUSTRALIA. **Polymers: Thermoplastics.** 17-19 Endeavour Way, Braeside VIC, 3195, Australia. 2024. Disponível em: <<http://polymers.com.au/thermoplastics/>>. Acesso em: 04/011/2024

RASHID, Ammar. **Innovative Value-Added Grain Bags Recycling with Sand.** The University of Regina (Canada), 2020.

REVISTA PESQUISA FAPESP, São Paulo, n. 281, jul. 2019.

ROMERO II, Louis; CORTES, Douglas D.; VALDES, Julio R. **Experimental assessment of the heal-ability of a polymer bonded sand.** Construction and Building Materials, v. 166, p. 610-617, 2018.

ROY, P. et al. **Evolution of drinking straws and their environmental, economic and societal implications.** Elsevier BV: Journal Of Cleaner Production, v. 316, p. 128-234. Ontario (Canadá), 2021.

SANTOS, Amélia SF; AGNELLI, José Augusto M.; MANRICH, Sati. **Estudo da influência de resíduos catalíticos na degradação de plásticos reciclados (Blenda HDPE/PP e PET) provenientes de lixo urbano.** Polímeros, v. 9, p. 189-194, 1999.

SANTOS JÚNIOR, A. B. **Abordagem Econômica na Gestão de Resíduos Sólidos de Igarapés Urbanos De Manaus.** Dissertação de Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia – PPGCASA. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. 2017.

SEMULSP, Secretaria Municipal de Limpeza Pública de Manaus-Am - **Relatório de gestão 2022.** (2022).

SILVESTREIM, Eneida Guerra et al. **A reciclagem dos resíduos plásticos de Manaus (AM): O caso das entidades de catadores.** Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e45111225902-e45111225902, 2022.

SOUZA, Bruno Henrique Zironi de. **Produção de blocos para pavimentação intertravada “Paver” com agregados oriundos de demolição da construção civil.** / Bruno Henrique Zironi de Souza. – Porto Velho. 18 f.; il. 2017

VALDES, Julio R.; CORTES, Douglas D. **Heat-induced bonding of sands.** In: Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability . p. 3721-3733. 2014.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE,; **Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização.** Gland, 2019.

ZINA, R. A., PARDO, M., YOUSSEF, G., & VALDES, J. R.; **Microwave-mediated polymer bonding of sands: Experimental study.** *Journal of Materials in Civil Engineering*, 36(9), 06024004. 2024.

ANEXO I

ABNT NBR 9781:2013

Anexo A (normativo)

Determinação da resistência característica à compressão

A.1 Equipamentos

A.1.1 Máquina de ensaio de compressão

A máquina de ensaio deve atender os valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR NM ISO 7500-1.

Para laboratórios de ensaio, a máquina de ensaio deve ser classe 1 ou melhor. Para laboratórios instalados em fábricas admite-se a utilização de máquina de ensaio classe 2.

A estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada da força sobre a peça colocada entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial (perpendicular) ao prato fixo.

O corpo de prova deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.

O acionamento deve ser através de qualquer fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de força contínua e isenta de choques. Somente para máquinas de classe 2 se aceita acionamento manual.

NOTA Recomenda-se que os equipamentos novos sejam providos de controle de aplicação de força, de modo que a taxa de carregamento seja aplicada sem a interferência do operador.

A.1.2 Placas auxiliares de ensaio

As duas placas auxiliares de ensaio devem ser circulares, com diâmetro de $(85 \pm 0,5)$ mm e espessura mínima de 20 mm, confeccionadas em aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não podem apresentar afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 85 mm.

As placas auxiliares devem ser acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma no prato inferior e a outra no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.

A.2 Determinação das dimensões das peças

O fabricante deve informar as medidas nominais da largura, comprimento e espessura das peças, antes da realização dos ensaios.

As medidas reais da largura (l), do comprimento (c) e da espessura (e) das peças, devem ser tomadas conforme referências do Anexo D, utilizando-se um paquímetro com resolução de 0,1 mm.

ANEXO I

ABNT NBR 9781:2013

A.3 Determinação da resistência característica à compressão (f_{pk})

As peças representativas do lote amostrado devem estar nas seguintes condições, no momento do ensaio:

- saturadas em água a (23 ± 5) °C, por no mínimo 24 h antes do ensaio;
- as superfícies de carregamento devem ser retificadas.

NOTA São permitidos outros tipos de capeamento desde que estes não apresentem variações significativas em comparação à técnica de retífica.

- as peças devem ser dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com sua face superior em contato com a placa auxiliar superior, de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical passante pelo centro das placas, na região da peça que apresenta largura mínima de 97 mm.

NOTA Para as peças do tipo IV, ensaiam-se apenas as peças com largura mínima de 97 mm.

O carregamento deve ser feito continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s. O carregamento deve prosseguir até a ruptura completa da peça.

Caso a largura da peça seja superior a 140 mm, a peça deve ser cortada com serra de disco, de modo que a nova largura não exceda esse limite.

A.4 Resultados

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator p , função da altura da peça, conforme Tabela A.1.

Tabela A.1 — Fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça mm	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

A.5 Determinação da resistência à compressão estimada

Admite-se que as resistências à compressão obedeçam à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela equação:

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

ANEXO I

ABNT NBR 9781:2013

onde

- f_p é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);
- f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);
- $f_{pk,est}$ é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);
- n é o número de peças da amostra;
- s é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);
- t é o coeficiente de Student, fornecido na Tabela 3, em função do tamanho da amostra.

**Tabela A.2 — Coeficiente de *Student*
(nível de confiança de 80 %)**

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

A.6 Apresentação dos resultados

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- identificação do lote;
- idade do lote no início do ensaio;
- medidas nominais de comprimento (c); largura (l) e espessura (e) das peças, informadas pelo fabricante;
- medidas reais de comprimento (c); largura (l) e espessura (e) das peças, com aproximação de 0,1 mm;

ANEXO II

ABNT NBR 9781:2013

Anexo B (normativo)

Determinação da absorção de água

B.1 Princípio

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

B.2 Corpo de prova

Peça de concreto inteira.

B.3 Materiais

Água potável.

B.4 Equipamentos

Os equipamentos necessários para a execução do ensaio são os seguintes:

- a) estufa ventilada com temperatura de $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;
- b) termômetro com resolução de $1 \text{ }^\circ\text{C}$;
- c) tanque de água;
- d) balança com resolução de $0,1 \text{ g}$;
- e) escova com cerdas suaves;
- f) tela metálica com suporte;
- g) pano.

B.5 Preparação do corpo de prova

Remover todo o pó e partículas soltas dos corpos de prova, utilizando-se uma escova.

B.6 Procedimento

B.6.1 Saturação

Imergir os corpos de prova em água à temperatura de $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 h.

ANEXO II

ABNT NBR 9781:2013

Pesar individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e removendo a água superficial visível com um pano úmido. Anotar o valor encontrado.

Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa saturada m_2 .

B.6.2 Secagem

Levar os corpos de prova saturados à estufa com temperatura a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 h.

Pesar individualmente cada corpo de prova na condição seco em estufa. Anotar o valor encontrado.

Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca m_1 .

A operação de pesagem e anotação do valor deve ser de no máximo 10 min, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa.

B.7 Absorção de água

O valor da absorção de água de cada corpo de prova deve ser calculado utilizando-se a equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

onde

A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

B.8 Resultados

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- a) identificação do lote;
- b) idade do lote no início do ensaio;
- c) valores individuais de absorção de água, expressos em porcentagem (%);
- d) valor médio da absorção de água, expresso em porcentagem (%).

ANEXO III

ABNT NBR 9781:2013

Anexo C (normativo)

Determinação de resistência à abrasão

C.1 Aparelhagem

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é a descrita em C.1.1 a C.1.3.

C.1.1 Dispositivo de abrasão

O dispositivo de abrasão consiste em disco rotativo de aço com diâmetro de 200 mm e espessura de 70 mm, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo usado, conforme indicado na Figura C.1.

C.1.2 Instrumento de medição

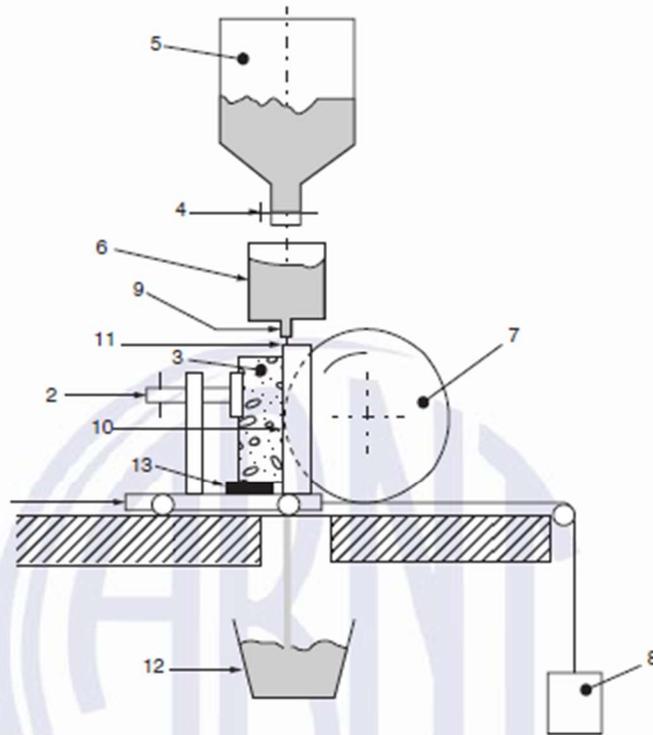
Deve ser utilizado paquímetro com resolução de 0,1 mm.

C.1.3 Material abrasivo

O material abrasivo deve ser composto de óxido de alumínio fundido branco grana F80. O material abrasivo não pode ser reaproveitado após o ensaio.

ANEXO III

ABNT NBR 9781:2013



Legenda

- 1 Dispositivo móvel para empurrar a amostra
- 2 Dispositivo para fixação
- 3 Amostra
- 4 Válvula de controle
- 5 Reservatório de material abrasivo
- 6 Guia para fluxo de material abrasivo
- 7 Cilindro metálico para abrasão
- 8 Contrapeso
- 9 Saída do material abrasivo
- 10 Moldura
- 11 Fluxo de material abrasivo
- 12 Reservatório para coleta do material
- 13 Apoio para centralizar a amostra

Figura C.1 — Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão

ANEXO III

ABNT NBR 9781:2013

C.2 Calibração e padrão

A pressão do corpo de prova contra o disco de aço é determinada pela calibração do equipamento contra um padrão de calibração (vidro *float* ou comum).

A pressão é ajustada variando-se o contrapeso, de maneira que, após 75 rotações em (60 ± 3) s, seja produzida uma cavidade de $(17,0 \pm 0,5)$ mm de comprimento.

O padrão de calibração deve ter dimensões mínimas de 100 mm \times 100 mm \times 6 mm.

O equipamento deve ser calibrado após 400 ensaios ou a cada 2 meses, ou sempre que o disco rotativo for substituído.

C.3 Preparação dos corpos de prova

Utilizar três peças de concreto para cada lote, com dimensões mínimas de 100 mm \times 90 mm.

Lavar os corpos de prova em água corrente e enxugar com um pano úmido, antes do ensaio.

C.4 Procedimento

Posicionar o corpo de prova no equipamento, centralizando-o em relação ao centro do disco rotativo.

Abastecer o reservatório de material abrasivo, de modo que o fluxo seja constante com $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações do disco.

Abrir a válvula de controle para o material abrasivo e simultaneamente ligar o motor configurado em 75 revoluções em (60 ± 3) s. Observar se o fluxo de material abrasivo está uniforme durante o ensaio, coincidindo com a finalização das 75 revoluções.

Retirar o corpo de prova do equipamento e medir o comprimento da cavidade, conforme a Figura C.2.

Realizar o ensaio em cada corpo de prova em apenas um ponto.

C.5 Dimensão da cavidade

Colocar o corpo de prova embaixo de uma lente de aumento, de preferência equipada com iluminação, para facilitar a medição da cavidade.

Desenhar uma linha (AB) no centro da cavidade perpendicular ao seu eixo.

Utilizar uma régua metálica e um lápis com diâmetro de 0,9 mm e dureza 6H ou 7H para desenhar os limites longitudinais (L1 e L2) da cavidade de acordo com a Figura C.2.

Posicionar o paquímetro nos pontos A e B até as bordas dos limites longitudinais (L1 e L2) da cavidade e registrar a medida com precisão de 0,1 mm, conforme Figura C.2.

Para a calibração, repetir a medida nos pontos (C e D), de modo a obter três leituras.

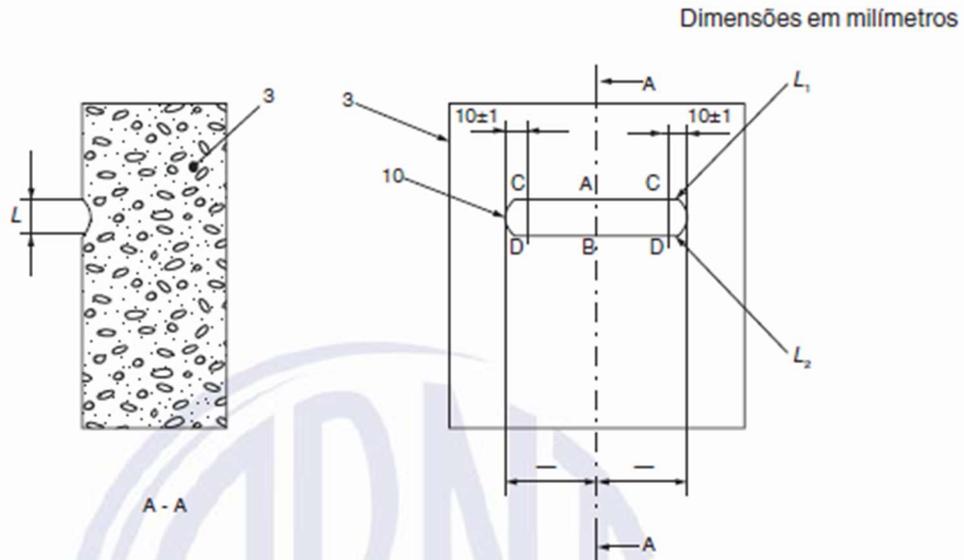


Figura C.2 — Medição da cavidade na amostra ensaiada

C.6 Resultados

O resultado é a dimensão corrigida por um fator de calibração. O fator de calibração é a diferença aritmética entre 17,0 mm e o valor obtido na última calibração do dispositivo. O resultado final deve ser apresentado com resolução de 0,5 mm.

Por exemplo, com um valor de calibração igual a 16,6 mm e dimensão da cavidade no corpo de prova de 19,5 mm, o resultado será $19,5 + (17,0 - 16,6) = 19,9$ mm e o resultado final = 20,0 mm.

C.7 Relatório de ensaio

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- a) identificação do lote;
- b) idade do lote no início do ensaio;
- c) valores individuais da cavidade, expressos em milímetros (mm);
- d) valor médio da cavidade, expresso em milímetros (mm).

ANEXO IV



ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 26º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 220-1762/220-5438
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2001,
ABNT—Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

FEV 2001

NBR 14656

Cimento Portland e matérias-primas - Análise química por espectrometria de raios X - Método de ensaio

Origem: Projeto 18:103.01-014:2000
ABNT/CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados
CE-18:103.01 - Comissão de Estudo de Métodos de Análise Química de
Cimento Portland e de suas Matérias-Primas
NBR 14656 - Portland cement and raw material - Chemical analysis by X-Ray
spectrometry - Method of test
Descriptors: Portland cement. X-Ray. Spectrometry
Válida a partir de 30.03.2001

Palavras-chave: Cimento Portland. Espectrometria.
Raios X

6 páginas

Sumário

Prefácio

- 0 Introdução
 - 1 Objetivo
 - 2 Referências normativas
 - 3 Aparelhagem
 - 4 Reagentes
 - 5 Preparação das amostras
 - 6 Curvas de calibração
 - 7 Análises de amostras de rotina
 - 8 Resultados
- ANEXO
- A Bibliografia

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma contém o anexo A, de caráter informativo.

0 Introdução

A espectrometria de raios X é uma técnica que correlaciona a intensidade dos raios X característicos de um determinado elemento químico com seu teor na amostra. Aproveita as características ondulatórias da radiação fazendo uso de uma estrutura cristalina para discriminar os diversos comprimentos de onda presentes no feixe de raios X. Quantifica a intensidade da radiação selecionada para cada elemento químico através de detectores.

1 Objetivo

Esta Norma descreve as metodologias de análise química por espectrometria de raios X de pastilhas prensadas e fun-

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 5743:1989 - Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo - Método de ensaio

NBR 8347:1992 - Cimento Portland pozolânico, cimento Portland comum e cimento Portland composto com adições de materiais pozolânicos - Análise química - Método de referência - Método de ensaio

3 Aparelhagem

3.1 Pastilhas fundidas

Para a execução dos ensaios pelo método das pastilhas fundidas, deve-se utilizar uma máquina de fusão ou, na ausência desta, utilizar os seguintes equipamentos para preparação manual:

- a) mufla, com temperatura de $(1\ 000 \pm 10)^\circ\text{C}$ ou equivalente;
- b) dessecador;
- c) bico de gás;
- d) cadinhos platina/ouro ou similar;
- e) moldes platina/ouro ou similar;
- f) balança analítica com resolução mínima de 0,0001 g.

3.2 Pastilhas prensadas

Para a preparação de pastilhas prensadas, deve-se utilizar a seguinte aparelhagem:

- a) balança analítica com resolução mínima de 0,01 g;
- b) moinhos;
- c) prensa.

4 Reagentes

4.1 Pastilhas fundidas ¹⁾

Na preparação das pastilhas fundidas podem ser utilizados, entre outros, os seguintes reagentes:

- a) tetraborato de lítio anidro (P.A.);
- b) fluoreto de lítio (P.A.);
- c) nitrato de lítio (P.A.);
- d) metaborato de lítio;
- e) brometo de lítio;
- f) tetraborato de sódio.

4.2 Pastilhas prensadas

4.2.1 Os reagentes utilizados na preparação das pastilhas prensadas são de dois tipos: os aditivos de moagem e os diversos tipos de aglutinantes.

4.2.2 Os aditivos de moagem possuem a finalidade de melhorar a moagem através da eliminação de cargas estáticas no moinho, evitando a aderência de material em suas paredes. São usualmente utilizados os reagentes a seguir relacionados:

- a) para moagem a úmido: álcool, acetona, éter etílico;
- b) para moagem a seco: etilenoglicol, trietanolamina.

4.2.3 Os aglutinantes têm a finalidade de provocar uma melhor coesão entre as partículas do material a analisar e portanto, produzir uma pastilha mais resistente e durável. Entre os mais comumente utilizados estão:

ANEXO IV

NBR 14656:2001

- d) uréia;
- e) ácido acetilsalicílico;
- f) fenolftaleína;
- g) álcool polivinílico (pva).

5 Preparação das amostras

As amostras, quando necessário, devem ser previamente trituradas e moídas, garantindo sua homogeneidade e sua representatividade com relação à amostra total.²⁾

5.1 Pastilhas fundidas

Recomenda-se que as amostras sejam previamente calcinadas a $(1\ 000 \pm 10)^\circ\text{C}$ para elaboração das pastilhas fundidas, com o intuito de eliminar sua umidade e materiais voláteis (principalmente no caso de farinhas, o CO_2).²⁾

Caso se faça a opção pela não calcinação das amostras, sua massa deve ser corrigida com base em sua perda ao fogo.

5.1.1 Preparação manual das pérolas

5.1.1.1 Adicionar ao cadinho de platina uma mistura homogeneizada de fundentes e amostra. A tabela 1 apresenta as quantidades usualmente utilizadas de amostra e fundentes.

Tabela 1 - Proporção recomendada para elaboração de pastilhas fundidas

Constituintes	Massa g
Amostra	1,4000
Tetraborato de lítio	6,6500
Fluoreto de lítio	0,3500

NOTA - Os valores constantes nesta tabela podem ser alterados, sendo necessária apenas a manutenção das proporções entre os constituintes, que deve ser aproximadamente de 1 parte de amostra para 5 partes de fundentes.

5.1.1.2 Fundir a mistura a $(1\ 000 \pm 10)^\circ\text{C}$ por no mínimo 12 min, com agitação a aproximadamente cada 4 min.

5.1.1.3 Verter o material no molde preaquecido ao rubro em bico de gás e resfriar rapidamente, utilizando ar comprimido, ventilador ou ventoinha sob o molde. Todo o procedimento manual de fusão pode ser substituído por uma máquina automática de fusão.

5.1.1.4 Após resfriamento completo, retirar a pérola do molde sem tocar a superfície a ser examinada. A ausência de bolhas, trincas e material não fundido, bem como a perfeita planicidade da superfície a ser exposta, aprovam a pérola para análise.

5.2 Pastilhas prensadas

As amostras para confecção de pastilhas prensadas devem ser finamente moídas, visando a diminuição do efeito matriz,⁴⁾

5.2.1 Preparação das pastilhas

As pastilhas devem ser obtidas por prensagem do material misturado a um aglutinante, nas proporções mais convenientes. Pode-se utilizar cápsulas de alumínio para conferir maior resistência às pastilhas.

Na prensagem devem ser utilizados carga e tempo suficientes para obter uma pastilha consistente. Neste sentido sugere-se aplicar uma pressão entre 1 MPa e 3 MPa.

ANEXO IV

Recomenda-se que o aglutinante seja adicionado na proporção de 10% a 20% da massa de amostra para confecção das pastilhas.

6 Curvas de calibração

6.1 Preparação do equipamento para análise

6.1.1 No início de cada período de análise, logo após ser ligado, o equipamento de fluorescência necessita de um tempo de estabilização que deve estar compreendido entre 30 min e 1 h, conforme recomendação do fabricante.

²⁾ Recomenda-se que o material seja moído de forma a obter um resíduo inferior a 5% na peneira com abertura de malha de 75 determinado segundo a NBR 12826 ou a NBR 11579.

³⁾ Pode-se eliminar o molde do procedimento, adotando-se o uso de cadinho com base e laterais apropriadas para a solidificação da pércia.

⁴⁾ Recomenda-se que o resíduo na peneira com abertura de malha de 45 μm seja inferior a 5%, determinado segundo a NBR 12826 NBR 11579, adaptada para peneira com essa abertura.

Cópia não autorizada

4

NBR 14656:2001

6.1.2 Após esse período de tempo devem ser realizados todos os testes, ajustes e correções recomendados pelo fabricante. Devem ser feitos os ajustes dos componentes do aparelho: tubo de raios X, analisador de altura de pulso (PHA) e alta tensão dos detectores, bem como ensaios iniciais para verificação dos resultados das pastilhas monitoras.

6.2 Parâmetros instrumentais

Antes das análises dos padrões devem ser definidas, para cada elemento, suas condições analíticas, sugeridas a seguir. Essa seleção deve ser feita criteriosamente, de modo a obter as maiores contagens e a melhor discriminação entre os elementos. Para sua definição, podem ser realizados testes de desempenho (repetitividade, sensibilidade analítica e limite de detecção). Essas condições podem experimentar pequenas variações em função dos tipos e modelos de equipamento:

- a) condições de excitação do tubo;
- b) cristal analisador e ângulo de ajuste (entre o cristal e o detector);
- c) tipo de detector e condições de tensão do PHA;
- d) tempos de leitura;
- e) correções de background.

A tabela 2 sugere alguns parâmetros analítico instrumentais como orientação inicial.

Tabela 2 - Parâmetros instrumentais

Elemento	Linha espectral	Comprimento de onda A	Detector	Cristal	Tubo	
					Tensão KV	Corrente mA
Ca	K α	3,360	Proporcional	EDDT/PET/Ge	50	50
Si	K α	7,126	Proporcional	EDDT/PET	50	50
Al	K α	8,339	Proporcional	EDDT/PET	50	50
Fe	K α	1,937	Cintilador	LiF200/Ge	50	50
Mg	K α	9,890	Proporcional	ADP/RX35/PX1	50	50
S	K α	5,373	Proporcional	Ge	50	50
K	K α	3,742	Proporcional	Ge	50	50
Na	K α	11,909	Proporcional	RX35/PX1	50	50

ANEXO IV

- a) expor as pérolas ou pastilhas prensadas, elaboradas com os materiais de referência (padrões) às condições instrumentais predefinidas;
- b) determinar as intensidades de raios X obtidas;
- c) para cada elemento elaborar gráficos de correlação entre as intensidades medidas e os teores reais;
- d) procurar a melhor reta de ajuste, de modo que o coeficiente de correlação seja superior a 0,98 (se necessário eliminar alguns pontos da curva);
- e) a curva de calibração pode ser uma equação de correlação linear simples do tipo $Y = aX + b$ ou, então, seguir uma equação quadrática do tipo $Y = aX^2 + bX + c$.

6.3.2 Para melhor visualização das curvas é recomendada a produção de um registro gráfico dos valores das leituras das pérolas versus seus respectivos teores para cada elemento.

³⁾ Pulse high analyzer (analisador de altura de pulso).

⁴⁾ Os equipamentos normalmente dispõem de programas capazes de fazer todos os cálculos e elaborar os gráficos. Caso não possuam, recomenda-se o uso de programas adequados para elaboração de gráficos.

Cópia não autorizada

NBR 14656:2001

6.3.3 Para o caso de utilização de pastilhas fundidas, as diluições da amostra, decorrentes do procedimento de preparação, reduzem de forma significativa os efeitos de matriz e outros tipos de interferência, de maneira a tornar dispensável a utilização de técnicas de correção. No entanto, programas analíticos que levam em consideração tais correções podem ser utilizados.

6.3.4 As pérolas ou as pastilhas prensadas produzidas a partir dos padrões e materiais de referência podem ser utilizadas para a elaboração de novas curvas de calibração ou para recalibrações, desde que sejam acondicionadas adequadamente e mantidas em dessecador.

7 Análises de amostras de rotina

As análises das amostras de rotina devem ser realizadas rigorosamente sob as mesmas condições dos padrões, seja do ponto de vista da preparação das amostras, seja quanto às condições analíticas.

Certos modelos de equipamento possuem programas de recalibração que permitem a correção dos eventuais desvios na curva de calibração. Isto é feito por meio da exposição de um ou dois padrões (amostras monitoras) às condições analíticas da curva em questão. Esse procedimento gera um coeficiente que é então aplicado à equação da curva. Recomenda-se que esses procedimentos sejam executados segundo as recomendações do fabricante.

8 Resultados

Os resultados devem ser expressos em porcentagem de concentração de óxidos, com aproximação ao centésimo. Os resultados podem ser expressos em base calcinada, caso não se disponha dos valores de perda ao fogo.

A determinação da perda ao fogo deve ser realizada segundo as NBR 5743 e NBR 8347, devendo ser relatada em separado, corrigindo os resultados.

APÊNDICIE A - Tabela com Revisão Bibliométrica Expandida

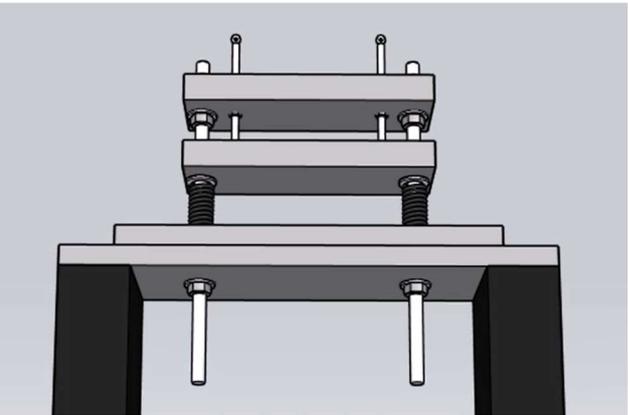
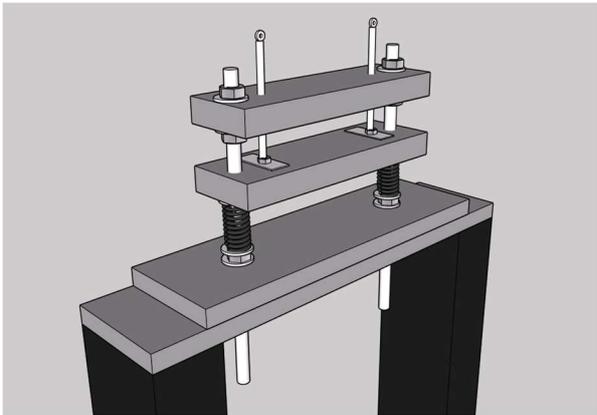
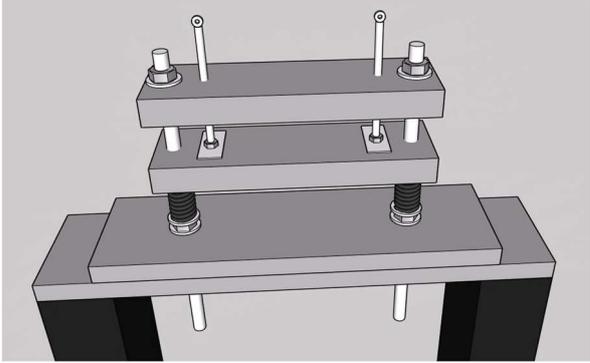
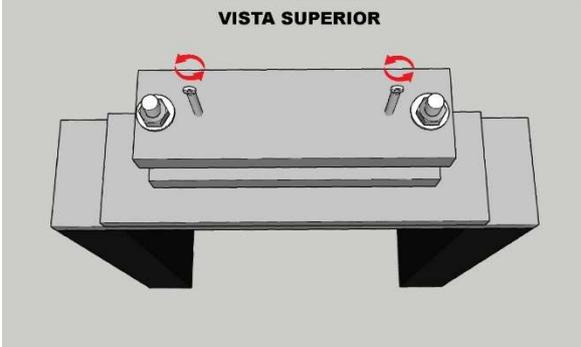
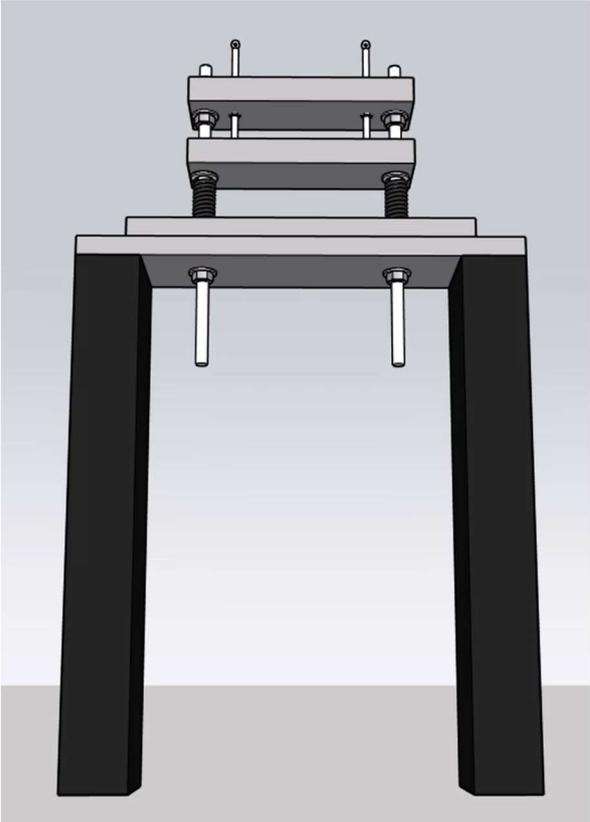
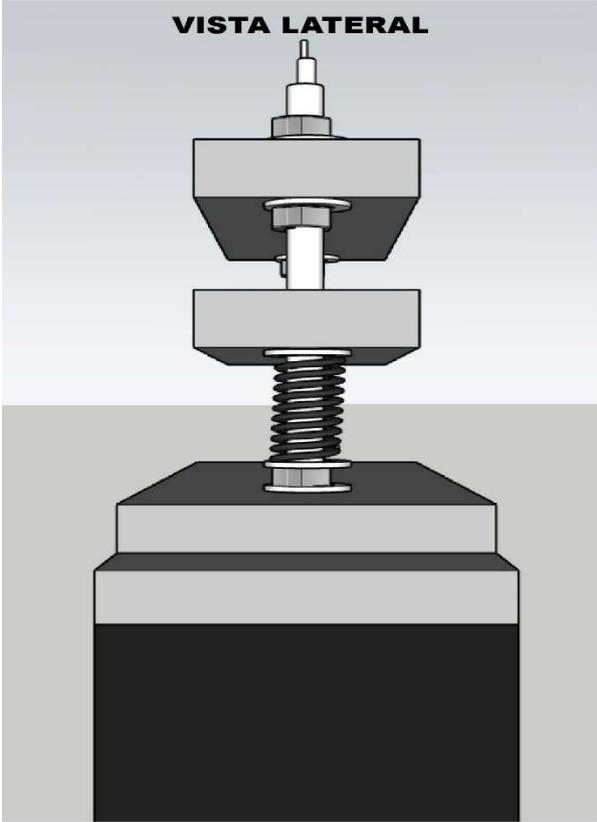
Autores	Título do Artigo	Resumo	Número de Citações	Ano	Base de Dados
Garcia, Nicole F; Valdes, JR; Cortes, DD;	Strength characteristics of polymer-bonded sands	<i>O estudo investiga a resistência à tração e ao cisalhamento de areias uniformes cimentadas artificialmente por aquecimento de finos de polietileno. Os resultados indicam que a resistência das areias ligadas por polímero (PBS) depende do teor de cimento, tamanho dos grãos e mineralogia, mas supera a de outras areias cimentadas artificialmente. Observações microscópicas mostram que a ligação entre o polímero e a superfície mineral é responsável pela cimentação. Emissões acústicas confirmam a transição de um regime controlado por cimentação em baixos confinamentos para um regime controlado por atrito em altos confinamentos.</i>	16	2015	Thomas Telford Ltd Google Academic
Zina, Ranya A; Pardo, Marco; Youssef, George; Valdes, Julio R;	Microwave-mediated polymer bonding of sands: Experimental study	<i>A pesquisa aborda sobre o uso de aquecimento por micro-ondas para cimentação rápida e homogênea de solos misturados com partículas poliméricas. Os resultados mostram que esse método é 20 vezes mais eficiente que o aquecimento externo convencional, especialmente em grandes volumes de solo. A resistência à tração das amostras diminui com o aumento do teor de finos, mas o reaquecimento após ciclos de umedecimento-secagem recupera até 85% da resistência original. Aplicações potenciais incluem fabricação de tijolos, reparos rápidos de pistas temporárias e estabilização de paredes de terra compactada com polímero.</i>	2	2024	American Society of Civil Engineers
Valdes, Julio R; Cortes, Douglas D;	Heat-induced bonding of sands	<i>Neste trabalho é apresentado um método inovador de cimentação de solos usando polímeros finos aquecidos e resfriados, formando ligações interpartículas duráveis e dúcteis. A areia cimentada com polímero demonstra resistência à compressão significativamente maior do que a cimentada com minerais tradicionais. Além disso, a recuperação mecânica pós-falha, induzida por calor, resulta em uma recuperação de rigidez de até 80%, mantendo-se estável após o primeiro ciclo de cura térmica.</i>	14	2014	American Society of Civil Engineers
Liu, Jin; Bai, Yuxia; Song, Zezhuo; Lu, Yi; Qian, Wei; Kanungo, Debi Prasanna;	Evaluation of strength properties of sand modified with organic polymers	<i>Os autores discutem nesta pesquisa sobre o uso de polímero orgânico como estabilizador de solos para reforço da areia, como alternativa ambientalmente sustentável aos aditivos tradicionais. Ensaios de compressão, cisalhamento direto e tração indicam que a resistência aumenta com maior concentração de polímero e densidade seca da areia. Imagens de MEV revelam que membranas poliméricas ligam as partículas de areia, formando uma estrutura estável. A eficiência do reforço varia conforme a densidade da areia seca.</i>	72	2018	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
Liu, Jin; Bai, Yuxia; Li, Ding; Wang, Qiongya; Qian, Wei; Wang, Ying; Kanungo, Debi Prasanna; Wei, Jihong;	An experimental study on the shear behaviors of polymer-sand composite materials after immersion	<i>O estudo avalia o comportamento ao cisalhamento de compósitos de areia e polímero após imersão, por meio de ensaios de cisalhamento direto. Os resultados indicam que o material mantém boas propriedades de cisalhamento em comparação com areia pura, com melhorias devido ao tempo de cura, teor de polímero e densidade seca da areia. No entanto, a imersão prolongada reduz a resistência ao cisalhamento, pois as membranas poliméricas que ligam as partículas amolecem na água. Análises por SEM mostram que essas membranas aumentam o entrelaçamento das partículas e reduzem a porosidade, influenciando a estabilidade do material.</i>	31	2018	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
Romero II, Louis; Cortes, Douglas D; Valdes, Julio R;	Experimental assessment of the heal-ability of a polymer bonded sand	<i>Esta pesquisa analisa a cura in situ de solos cimentados por aquecimento de polímeros termoplásticos, permitindo a recuperação estrutural após falha. Os resultados mostram que a rigidez em pequenas deformações pode se recuperar em até 50% após a reinjeção de calor, independentemente do número de ciclos de cura. No entanto, a resistência à compressão diminui com ciclos repetidos, indicando degradação do polímero. Ensaios de cisalhamento direto mostram recuperação de resistência de até 30%, influenciada pela tensão normal aplicada durante a cura.</i>	4	2018	Elsevier
Bai, Yuxia; Liu, Jin; Cui, Yujun; Shi, Xiao; Song, Zezhuo; Qi, Changqing;	Mechanical behavior of polymer stabilized sand under different temperatures	<i>Neste trabalho é analisado o comportamento mecânico de misturas de areia com poliuretano (PU) por meio de ensaios de compressão uniaxial e tração direta. Os resultados indicam que a resistência e a ductilidade aumentam com maior teor de PU, densidade seca e temperatura. Temperaturas positivas elevam a resistência e ductilidade, enquanto temperaturas negativas impactam a rigidez. Observações por SEM mostram que o PU cria ligações entre partículas, melhorando as propriedades mecânicas. Relações lineares entre resistência, módulo e tração dependem da temperatura.</i>	25	2021	Elsevier
Dai, Chengjiang; Liu, Jin; Jing, Miao; Che, Wenyue; Song, Zezhuo; Bu, Fan; Feng, Yuhao; Zhu, Xufen;	Polymer-fiber combined effect for improving sand mechanical and micro-damage response	<i>Os autores abordam sobre a estabilização da areia com reforço de polímero orgânico (OPR) e fibra reciclada de polipropileno (RPF). Ensaios e simulações numéricas indicam melhorias na resistência e deformação, reduzindo a fragilidade da areia. OPR cria membranas interpartículas, e RPF atua como estrutura, distribuindo tensões e microdanos. A falha evolui de cisalhamento para fluxo dúctil, otimizando a estabilidade. Pesquisas futuras devem explorar variações na forma das partículas e na estrutura dos poros.</i>	1	2024	Elsevier
Liu, D; Sandeep, CS; Senetakis, K; Nardelli, V; Lourenço, SDN;	Micromechanical behaviour of a polymer-coated sand	<i>Este artigo investiga o comportamento micromecânico de areia revestida com um polímero hidrofóbico, utilizando um aparato de carga interpartícula. Os resultados mostram redução na rigidez normal e variação do coeficiente de atrito com a força normal. Em baixas forças, o atrito aumenta, mas a tendência se reverte conforme o revestimento se desgasta. A pesquisa contribui para o desenvolvimento de materiais granulares com revestimentos funcionais para aplicações em controle de umidade.</i>	26	2019	Elsevier
Miranda, Luana Varela; Nascimento, José Wallace Barbosa do; Valdes, Julio R;	Hot mix method for the manufacture of sand-polymer bricks	<i>Este trabalho apresenta um método para fabricar tijolos de areia-polímero visando reutilizar resíduos plásticos e reduzir a energia incorporada na produção. A técnica envolve misturar e aquecer areia seca com grânulos de polipropileno reciclado até derreterem, seguido de compactação em molde até endurecimento. Tijolos com 10% e 20% de polímero foram testados, mostrando que a versão com 20% pode substituir tijolos cerâmicos, devido à baixa infiltração e resistência comparável. Além disso, sua fabricação consome um terço da energia dos tijolos tradicionais e leva minutos, em vez de horas. Os resultados indicam que os tijolos de areia-polímero são promissores para aplicações sustentáveis.</i>	1	2023	SciELO

APÊNDICIE A - Tabela com Revisão Bibliométrica Expandida

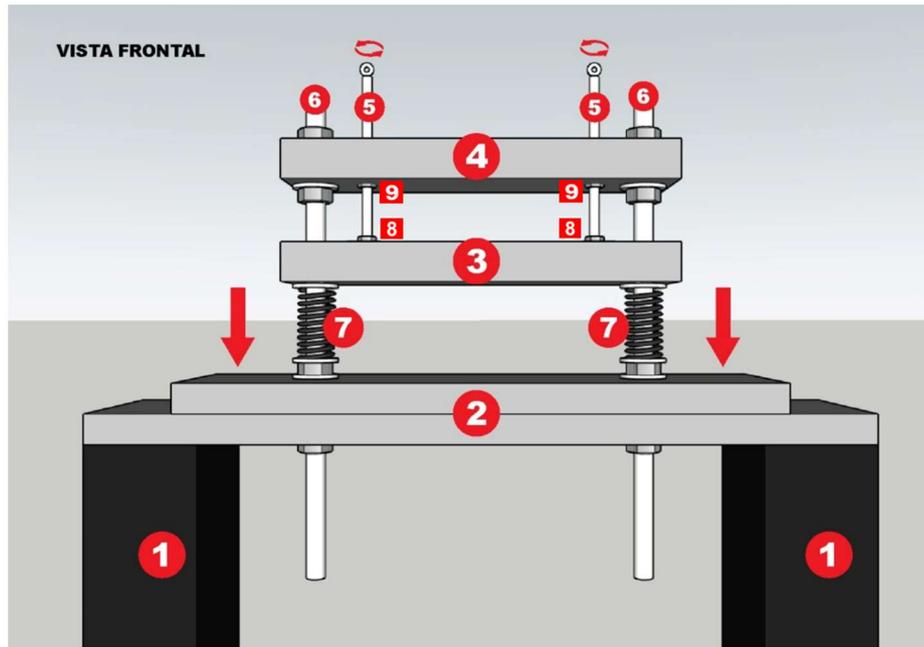
Autores	Título do Artigo	Resumo	Número de Citações	Ano	Base de Dado
Edike, Uche Emmanuel; Ameh, Oko John; Dada, Martin Oloruntobi;	Performance of polymer bricks produced with plastic waste	O paper trata sobre o uso de garrafas PET derretidas como aglutinante na produção de tijolos poliméricos para reduzir resíduos plásticos e enfrentar o déficit habitacional. Foram testadas proporções de PET/areia de 1:1 a 1:8, analisando propriedades físico-mecânicas. A resistência à compressão e à flexão aumentou até a proporção 1:4, atingindo 17,96 N/mm ² e 9,01 N/mm ² , respectivamente. Tijolos com proporções de 1:3 a 1:5 atenderam aos requisitos mínimos, e uma composição com pelo menos 75% de areia garantiu melhor resistência à tração. A baixa sorvidade sugere que os tijolos podem atuar como barreira contra umidade.	0	2023	Springer Google Academ.
Hameed, Awham M; Hamza, Mohammad T;	Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials	O estudo explora a produção de concreto polimérico (PC) com alta resistência mecânica e física, utilizando resíduos de construção e demolição como agregados, reduzindo custos em comparação ao concreto convencional. Resíduos como entulho de cimento, azulejos cerâmicos e blocos foram combinados com areia natural e resina de poliéster insaturada como substituto do cimento, em proporções de 20%, 25% e 30%. Testes físicos e mecânicos mostraram que a resistência aumentou com maior teor de polímero, enquanto a densidade diminuiu. Os resultados indicam que esse concreto pode ser usado em pré-moldados e divisórias de alta durabilidade.	0	2019	Elsevier
Rashid, Ammar;	Innovative Value-Added Grain Bags Recycling with Sand	Neste artigo autor descreve os desafios da reciclagem de plásticos e propõe soluções para reduzir o acúmulo de resíduos. A pesquisa investiga o uso de sacos de grãos reciclados (polietileno de baixa densidade) combinados com areia para criar um material inovador por termoformagem de baixo custo. Foram analisadas densidade, resistência à compressão e à flexão, mostrando que a adição de areia afetou a trabalhabilidade e a fragilidade do material. A resistência à compressão variou entre 8,25 e 12,05 MPa, comparável a tijolos de argila de baixa qualidade. O estudo sugere aplicações em materiais de construção leves e recomenda pesquisas adicionais para comercialização.	1	2020	Google Academ.
Refat El-Sheikhy,	Resisting spread of environmental-pollution diseases due to Portland-cement industries: green nanoclay applications	A pesquisa apresenta um novo material sustentável para concreto e argamassa, chamado CPNC-concreto e CPNC-mortar, que dispensa o uso de cimento Portland e água. A fabricação ocorre por síntese térmica a 250 °C em três horas, utilizando um agente ligante composto por nanocomposto de argila montmorilonita (MMT) e polietileno de alta densidade (HDPE). Os testes demonstram que o material possui alta resistência mecânica, ductilidade, microestrutura homogênea, ausência de fissuras e resistência à corrosão. Além disso, sua produção rápida e ecológica visa reduzir impactos ambientais e possibilita aplicações em construções sustentáveis, incluindo impressão 3D.	2	2023	Periódicos Cape

Crerérios de Busca: (Idioma: Inglês/Português); (Ano: Últimos 10 anos 2014-2024); (Palavras Chaves Título/Resumo: "Polymer Bonding of Sands our Polymer Sand Composite"; "Sand polymer bricks our Sand polymer pavers" "Bricks polymer our Polymer Pavers" "Plastic cement replacement and Plastic Concrete Replacement"); (Periódicos: Capes, Scopus, Google Academic, SciELO);

APÊNDICIE B - Sistema de Prensagem Alternativa com vistas e legendas.



APÊNDICIE B - Sistema de Prensagem Alternativa com vistas e legendas.



Legendas: Especificações Métricas

1	(80cm/11cm/11cm) – (altura/largura/espessura)	Esteios de Fixação
2	(60cm/18cm/3cm) – (comprimento/largura/espessura) – Base	Base de Prensagem
2	(75cm/18cm/3cm) – (comprimento/largura/espessura) – Sub Base	Base de Prensagem
3	(40cm/12cm/4cm) – (comprimento/largura/espessura)	Haste de Prensagem Móvel
4	(40cm/12cm/3cm) – (comprimento/largura/espessura)	Haste de Prensagem Fixa
5	(18cm/(3/8)) – (comprimento/bitola)	Vigas de Acocho
6	(18cm/(3/4)) – (comprimento/bitola)	Vigas de Sustentação
7	(10cm) – (altura)	Molas de Amortecimento
8	(3/4) – (bitola)	Copos Coletores
9	(3/8) – (bitola)	Porcas de Contenção

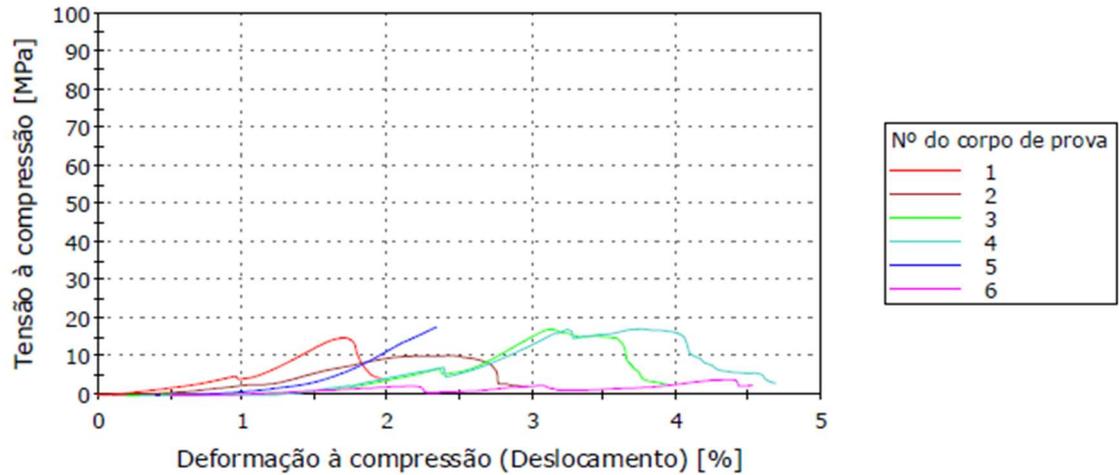
Distância entre pontos

1 1	55 cm	7 7	33 cm
5 5	27 cm	2 3	10 cm
6 6	33 cm	2 4	20 cm

APÊNDICIE C - Dados obtidos após realização dos 1ª testes de compressão.

AMOSTRAS DE CONCRETO

Teste de resistência à compressão



	Máximo Carga [N]	Deformação à compressão (Deslocamento) em Máximo Carga [cm/cm]	Deslocamento em Máximo Carga [cm]
1	84386,61719	0,01702	0,16767
2	58080,40625	0,02347	0,23120
3	96957,61719	0,02933	0,28886
4	97129,66406	0,03464	0,34116
5	99929,21875	0,01944	0,19150
6	22610,36719	0,03842	0,37843

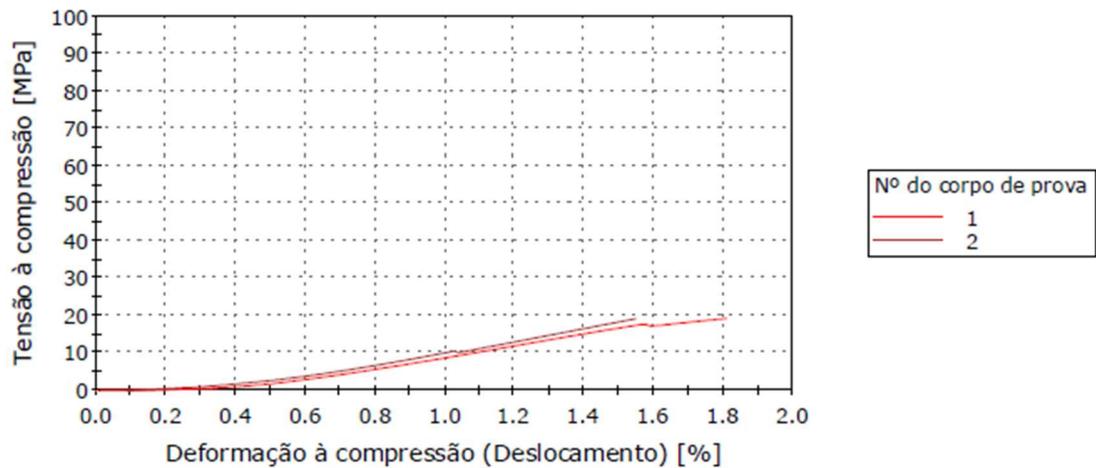
	Tensão à compressão em Máximo Carga [MPa]	Módulo (Young automático) [MPa]	Tensão à compressão em Resistência à tração [MPa]
1	15,00807	871,85172	15,00807
2	10,32954	1038,94534	10,32954
3	17,24381	2152,24512	17,24381
4	17,27441	1868,27512	17,26782
5	17,77230	2110,52252	17,77230
6	4,02123	213,54177	4,01088

	Deformação à compressão (Deslocamento) em Resistência à tração [cm/cm]
1	0,01702
2	0,02347
3	0,02933
4	0,03460
5	0,01944
6	0,03846

APÊNDICIE C - Dados obtidos após realização dos 1ª testes de compressão.

AMOSTRAS DE AREIA-POLÍMERO

Teste de resistência à compressão



	Máximo Carga [N]	Deformação à compressão (Deslocamento)emMáximo Carga [cm/cm]	DeslocamentoemMáximo Carga [cm]
1	100615,68750	0,01808	0,18985
2	100347,28125	0,01457	0,15299

	Tensão à compressãoemMáximo Carga [MPa]	Módulo (Young automático) [MPa]	Tensão à compressãoemResistência à tração [MPa]
1	19,22862	1620,63038	19,22862
2	19,17733	1795,21174	19,17733

	Deformação à compressão (Deslocamento)emResistência à tração [cm/cm]
1	0,01808
2	0,01457

APÊNDICIE D - Dados da Análise de Espectrometria por Fluorescência de Raios – X.

AMOSTRA: CONCRETO

Sample ident
FRX MAR 13

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	3
Measurement time	27-mar-2025 12:20:22

Normalisation factor	2,662
Minimum He Flow (l/min)	0,86

Compound	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Conc	0,461	4,122	48,328	1,170	3,769	30,829	0,577	258,0	423,3	4,061	5,719	316,0	0,119
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	%

Compound	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag	Sn	Nd	Yb	Re	Os
Conc	415,2	42,6	307,1	0,129	59,4	852,3	59,9	0,378	401,5	153,4	0,0	13,5	0,0
Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

Compound	Pb
Conc	78,3
Unit	ppm

Sample ident
FRX MAR 13

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	3
Measurement time	27-mar-2025 12:20:22

Normalisation factor	1,940
Minimum He Flow (l/min)	0,86

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe2O3	Ni
Conc	0,544	5,291	64,081	1,556	2,302	20,535	0,245	108,2	178,6	1,691	3,373	125,0
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm

Compound	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag	Sn	Nd	Pb
Conc	470,2	163,5	16,7	119,8	503,1	23,1	332,1	23,6	0,149	160,4	64,1	30,6
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm

Compound	Yb	Re	Os
Conc	0,0	5,5	0,0
Unit	ppm	ppm	ppm

APÊNDICIE D - Dados da Análise de Espectrometria por Fluorescência de Raios – X.

AMOSTRA: COMPÓSITO AREIA-POLÍMERO

Sample ident
FRX MAR 14

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	4
Measurement time	27-mar-2025 12:40:41

Normalisation factor	3,938
Minimum He Flow (l/min)	0,83

Compound	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
Conc	3,993	84,311	0,664	3,592	2,625	1,195	58,3	108,7	0,154	2,813	81,1	333,6	122,8
Unit	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm

Compound	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ag	Eu	Yb	Re	Os	Pb
Conc	33,9	14,7	178,0	83,7	41,3	0,305	0,220	139,9	0,3	5,3	12,1	49,3
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

Sample ident
FRX MAR 14

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	4
Measurement time	27-mar-2025 12:40:41

Normalisation factor	2,359
Minimum He Flow (l/min)	0,83

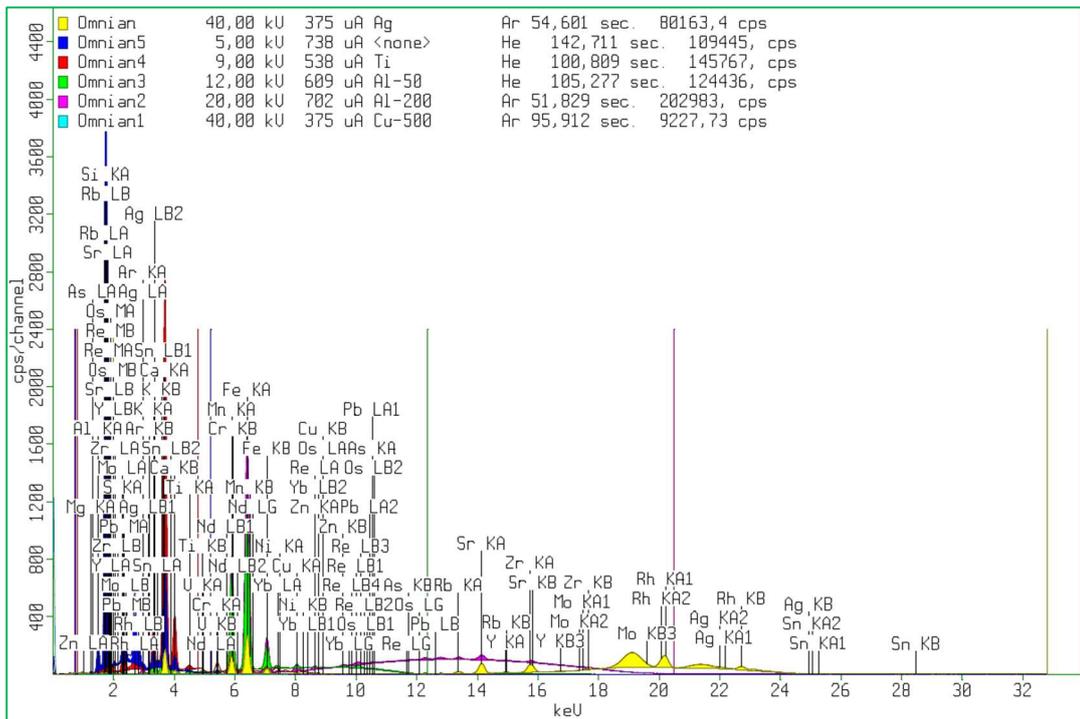
Compound	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe2O3	Ni	Cu
Conc	4,894	89,700	0,567	1,567	1,284	0,406	19,5	36,6	509,9	1,323	25,5	106,2
Unit	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm

Compound	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ag	Pb	Eu	Yb	Re
Conc	39,0	10,8	4,7	56,1	26,2	12,9	957,0	708,0	15,5	47,4	0,1	1,7
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

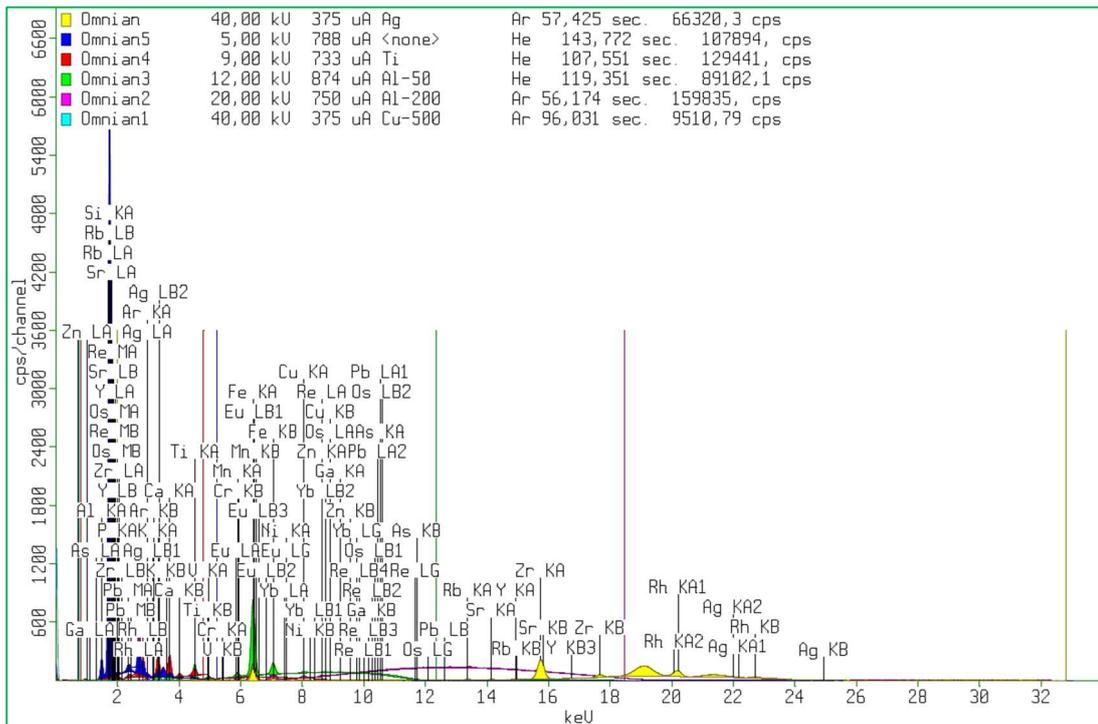
Compound	Os
Conc	3,8
Unit	ppm

APÊNDICIE D - Dados da Análise de Espectrometria por Fluorescência de Raios – X.

AMOSTRA: CONCRETO



AMOSTRAS: COMPÓSITO AREIA-POLÍMERO



APÊNDICIE E - Relação de materiais utilizados para ensaio e elaboração dos pavers.

MATERIAIS	REPRESENTAÇÃO ALEGÓRICA
Peneira de Construção 6-5mm	
Peneira Fina 2mm	
Pás de Jardinagens	
Forno de Convecção	
Termômetros	
Balança Digital	

Balança Semianalítica



Vasilhames em Alumínio



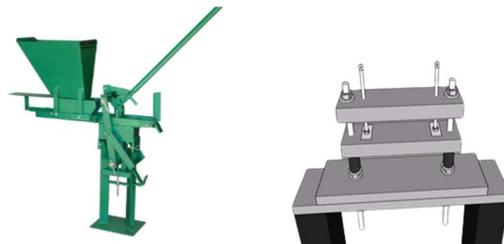
Bandejas de Experimentação



EPI's



Prensas



Moldes



Réguas Métricas



Resíduo Plástico



Areia de Construção

