

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA HENRIQUETA CONCEIÇÃO LIMA NETA

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO POLIMÉRICO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA

MANAUS

2020

MARIA HENRIQUETA CONCEIÇÃO LIMA NETA

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO POLIMÉRICO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Materiais de Construção Civil.

ORIENTADOR: PROF. DR. LIZANDRO MANZATO

MANAUS

2020

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732e Lima Neta, Maria Henriqueta Conceição
Estudo do aproveitamento de resíduo polimérico em substituição parcial do agregado miúdo em argamassa / Maria Henriqueta Conceição Lima Neta . 2020
82 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Lizandro Manzato
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Polímero. 2. Resíduo industrial. 3. Reciclagem. 4. Argamassa.
I. Manzato, Lizandro. II. Universidade Federal do Amazonas III.
Título



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº. 003/2020

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO AO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

DATA DO EXAME: 11/12/2020

DISCENTE: Maria Henriqueta Conceição Lima Neta

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lizandro Manzato

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Lizandro Manzato (Presidente)

Profa. Dr. João de Almeida Melo Filho (Membro Interno)

Profa. Dr. Francisco dos Santos Rocha (Membro Externo)

TÍTULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO POLIMÉRICO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA.

LOCAL: Defesa por meio de videoconferência

HORA DE INÍCIO: 10h00

De acordo com o Regimento Interno do **Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil**, aprovados pelo Conselho de Ensino e Pesquisa/CONSEP/UFAM e CAPES, o (a) aluno (a) submeteu sua dissertação em forma escrita e oral, sendo após exposição de cerca de 45 minutos arguido oralmente pelos membros da banca, tendo tido como resultado:

(X) *Aprovação por unanimidade de sua dissertação. O (A) aluno (a) foi considerado aprovado, podendo pleitear o título de Mestre.*

() *Reprovação de sua Dissertação. O (A) aluno (a) não foi considerado aprovado (a) na sua Defesa de Dissertação. Não podendo pleitear o título de Mestre.*

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que será assinada pelos membros da banca e pelo (a) aluno (a).

Observações:

Manaus, 11 de dezembro de 2020

Prof. Dr. Lizandro Manzato (Presidente)

Profa. Dr. João de Almeida Melo Filho (Membro Interno)

Profa. Dr. Francisco dos Santos Rocha (Membro Externo)

Francisco dos Santos Rocha, Prof. Dr.

Maria Henriqueta Conceição Lima Neta (Discente)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Neoci da Silva e Simplício Ferreira Lima (*in memoriam*) que iluminam o meu caminho e tornaram possível essa caminhada. Aos meus amores, meu filho Mauricio Henrique e sobrinho Sérgio Henrique (*in memoriam*), pelo amor e carinho. Ao meu esposo, pelo incentivo e apoio.

“Árdua é a missão de desenvolver e defender a Amazônia. Muito mais difícil, porém, foi a de nossos antepassados, em conquistá-la e mantê-la.”

General Rodrigo Octávio

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus pela oportunidade de realizar mais um sonho.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que através do programa de pós-graduação em Engenharia Civil dispõe uma estrutura e coordenação para o desenvolvimento de trabalhos científicos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Lizandro Manzato pelo encorajamento e apoio, pelo tratamento cordial e atencioso para comigo e por crer em mim quando nem mesma eu acreditava mais.

Ao Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho pelo apoio e contribuição às respostas a alguns questionamentos que surgiram no percurso dessa pesquisa.

Aos meus amigos mestrandos, por sempre terem estado próximos a mim, me dando forças, momentos de alegria e me ensinando a aprender, fatores definitivos e indispensáveis imprescindíveis ao desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM)/UFAM, em especial ao Sr. Nilson Videll, por toda colaboração, amizade e troca de idéias relacionadas a esta pesquisa. Ao Laboratório de Pavimentação (LABPAV)/UFAM e ao Sr. Diogo Milome técnico do laboratório LAMAC/UFAM, pela solicitude e gentileza.

Aos funcionários da secretaria do PPGEC, Ivan e Beatriz, pelo suporte em questões burocráticas.

Agradeço a Empresa MilPlast da Amazônia ME, que através da Sra. Ellen Miranda, que não só disponibilizou o material plástico, bem como alguns dados utilizado nessa pesquisa. Também agradeço a Polimix Concreto, pelo fornecimento gratuito de cimento e por consentir o uso de equipamentos nas suas instalações.

RESUMO

O setor da construção civil apresenta um grande potencial para o reaproveitamento de resíduos industriais. A incorporação desses resíduos no concreto e na argamassa vem se mostrando uma alternativa na diversificação das matérias-primas, bem como economia dos recursos naturais, ofertando novos produtos com vasta aplicabilidade no próprio setor. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a utilização dos resíduos polimérico em substituição parcial ou total ao agregado na produção de produtos à base cimentícia que contribuem para redução desses resíduos em aterros sanitários e lixões. Esta pesquisa visa o estudo das propriedades de argamassas com a substituição da areia por resíduo polimérico. Para isso, foram produzidas argamassas com teores de substituição do agregado 0% (referência), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em massa. O traço foi 1:1,5 e a relação água/cimento 0,40% e mantida constante para as argamassas com substituição. Os resultados apontam que a argamassa produzida com o teor de 2,5%, aos 28 dias, apresentou propriedades mecânicas promissoras, no ensaio de resistência à compressão, mesmo tendo uma diminuição da resistência comparada a argamassa de referência, obteve-se 28,66 MPa. E, no ensaio de flexão, demonstra que a adição do resíduo à argamassa resultou em uma resistência que atingiu 7,85 MPa e uma deformação de 0,78 mm. Desta forma, a incorporação de resíduo polimérico na produção de argamassa é favorável, todavia é necessário avaliar os parâmetros mínimos de aplicação para cada finalidade e estudos futuros que melhorem sua durabilidade. Assim, o trabalho apresenta contribuição com a construção sustentável visando a reciclagem do resíduo industrial, favorecendo a redução de consumo de fontes naturais não renováveis e colaborando com o meio ambiente.

Palavras-Chave: Polímero. Resíduo industrial. Reciclagem. Argamassa.

ABSTRACT

The civil construction sector has great potential for the reuse of industrial waste. The incorporation of these residues in concrete and mortar has proven to be an alternative in the diversification of raw materials, as well as saving natural resources, offering new products with wide applicability in the sector itself. Research has been carried out with the use of polymeric waste in partial or total replacement of aggregate in the production of cement-based products that contribute to the reduction of this waste in landfills and dumps. This research aims to study the properties of mortars with the replacement of sand by polymeric waste. For this purpose, mortars with aggregate replacement contents of 0% (reference), 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by mass were produced. The mix was 1:1.5 and the water/cement ratio 0.40% and kept constant for the mortars with substitution. The results show that the mortar produced with a content of 2.5%, at 28 days, showed promising mechanical properties, in the compressive strength test, even with a decrease in strength compared to the reference mortar, 28.66 MPa is obtained. And, in the bending test, it demonstrates that the addition of the residue to the mortar resulted in a strength that reached 7.85 MPa and a deformation of 0.78 mm. Thus, the incorporation of polymeric waste in the production of mortar is favorable, however it is necessary to evaluate the minimum application parameters for each purpose and future studies to improve its durability. Thus, the work presents a contribution to sustainable construction aimed at recycling industrial waste, favoring the reduction of consumption of non-renewable natural sources and collaborating with the environment.

Keywords: Polymer. Industrial waste. Recycling. Mortar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de delimitação do distrito industrial de Manaus	28
Figura 2 - Aumento da geração de resíduos entre os anos 2011 e 2013 segundo inventários de resíduos consolidados pela SUFRAMA	31
Figura 3 - Destinação dos resíduos sólidos entre os anos 2011 e 2013 segundo inventários de resíduos consolidados pela SUFRAMA	31
Figura 4 - Aplicação do plástico por tipo de resina no Brasil	34
Figura 5 - Distribuição da aplicação de resinas plásticas por setor da indústria	35
Figura 6 - Evolução da produção de termoplásticos em milhões por toneladas.....	37
Figura 7 - Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência.....	40
Figura 8 - Representação da poliamida 6 e da poliamida 6,6.....	42
Figura 9 - Produção de PA 6 a partir do ácido ϵ -aminocapróico.....	44
Figura 10 - Produção de PA 6 a partir da polimerização da caprolactana	45
Figura 11 - Fluxograma com a seqüência de atividades realizadas.....	48
Figura 12 - Resíduo polimérico	49
Figura 13 - Equipamento espectrometria de fluorescência de raio X.....	50
Figura 14 - (a): Resíduo polimérico. (b): Moinho de facas ACB Labor	51
Figura 15 - Equipamento termogravimetria modelo SDT Q600 Simultâneo da TA Instruments	54
Figura 16 - Fatores considerados na composição das peças.....	55
Figura 17 - Misturador planetário.....	56
Figura 18 - Seqüência do ensaio de consistência adaptado da norma: (a) Colocação da argamassa no tronco do cone. (b) Retirada fôrma. (c) Espalhamento médio	57
Figura 19 - Corpos de prova cilíndricos	58
Figura 20 - Materiais para moldagem: (a) Cimento, areia e o resíduo polimérico. (b) Superplastificante e água	59
Figura 21 – Placas moldadas em formas quadradas	59
Figura 22 - (a) Placas submersas em água. (b) Cura úmida das placas.....	59
Figura 23 - (a) Corte da placa. (b) Corpos de prova.....	60
Figura 24 - (a) Amostras em saturação. (b) Amostras preparadas para pesagem. (c) Amostras pesadas por imersão.....	60

Figura 25 - (a) Amostras secas em estufa. (b) Amostra seca em pesagem	61
Figura 26 - (a) e (b): Prensa de ensaio à flexão. (c) Corpos de prova	62
Figura 27 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo e limites da NBR 7211	64
Figura 28 - Ensaio de impureza orgânica	65
Figura 29 - Espectro da análise de FTIR da poliamida 6	65
Figura 30 - Termogramas TG e dTG do resíduo polimérico.....	66
Figura 31 - Absorção de água das argamassas: 0%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10%	68
Figura 32 - Valores médios da densidade aparente	69
Figura 33 - Resistência característica à compressão das argamassas de referência (REF) e das argamassas com os teores de adição em %.....	70
Figura 34 - Resistência à tração na flexão dos corpos de prova das placas	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Geração de resíduos do PIM entre 2005 - 2010 (toneladas)	30
Tabela 2 - Identificação dos polímeros termoplásticos segundo a composição química	33
Tabela 3 - Propriedades físicas de poliamidas.....	43
Tabela 4 - Dados técnicos do superplastificante	50
Tabela 5 - Características físico-químicas do cimento Portland comum CPI-S-40	52
Tabela 6 - Caracterização física da areia, como agregado miúdo utilizado	53
Tabela 7 - Massa específica do resíduo polimérico.....	53
Tabela 8 - Proporcionamento dos materiais para o Traço 1:1,5 para corpos de prova cilíndrico	55
Tabela 9 - Proporcionamento de materiais	56
Tabela 10 - Proporcionamento dos materiais para a produção das placas	58
Tabela 11 - Composição química do cimento Portland comum CPI-S-40.....	63
Tabela 12 - Características físicas e propriedades mecânicas do cimento Portland CPI-S-40.	63
Tabela 13 - Absorção de água aos 28 dias.....	67
Tabela 14 - Densidade aparente das amostras	69
Tabela 15 - Valores resultantes do ensaio de compressão axial (MPa).....	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivos.....	17
1.1.1	Geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	Justificativa.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	A Industrialização na Amazônia Ocidental.....	20
2.1.1	Gestão dos Resíduos Sólidos.....	22
2.2	Polo Industrial de Manaus (PIM) e a Gestão dos resíduos sólidos.....	27
2.3	Resíduos sólidos poliméricos.....	32
2.3.1	O resíduo plástico e suas destinações pós-consumo.....	38
2.4	Resíduos poliméricos na Construção Civil.....	40
2.4.1	Resíduos poliméricos.....	40
2.4.2	Poliamidas.....	41
2.4.3	Poliamidas 6.....	44
2.5	Alguns estudos com polímeros.....	45
3	MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1	Materiais.....	49
3.1.1	Cimento Portland.....	49
3.1.2	Agregado miúdo.....	49
3.1.3	Resíduo Polimérico.....	49
3.1.4	Água.....	49
3.1.5	Aditivo.....	49
3.2	Caracterização dos materiais.....	50
3.2.1	Espectrometria de Fluorescência de Raio-X.....	50

3.2.2	Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier.....	51
3.3	Caracterização do cimento.....	51
3.4	Caracterização do agregado miúdo.....	52
3.5	Caracterização do Polímero.....	53
3.5.1	Análises Térmicas: Análise de Termogravimetria.....	53
3.6	Métodos.....	54
3.6.1	Composição dos traços.....	54
3.6.2	Moldagem dos corpos de prova.....	55
3.6.3	Moldagem e produção da argamassas.....	58
3.6.4	Ensaio de densidade aparente, absorção de água e tração na flexão em 4 pontos das placas.....	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1	Resultado da Caracterização do cimento.....	63
4.1.1	Resultado do módulo de finura.....	63
4.1.2	Resultado do Tempo de pega.....	63
4.1.3	Resultados das composições químicas.....	63
4.1.4	Resultados da expansividade e das resistências a compressão.....	63
4.2	Resultado da Caracterização do agregado miúdo.....	64
4.2.1	Resultado do módulo de finura.....	64
4.2.2	Resultado do teor de material fino que passa através da peneira 75µm.....	64
4.2.3	Resultado do teor de impurezas orgânicas.....	64
4.3	Resultado da Caracterização do resíduo polimérico.....	65
4.3.1	Resultado da análise do FTIR.....	65
4.3.2	Resultados do Ensaio da Análise de Termogravimetria TG e Derivada de Termogravimetria (DTG).....	66
4.4	Análise dos resultados dos métodos de ensaios de dosagem do aditivo superplastificante.....	66
4.4.1	Resultados do ensaio de consistência.....	66

4.4.2 Resultados da consistência das argamassas.....	67
4.5 Caracterização mecânica física e comportamento mecânico dos corpos de prova.....	67
4.5.1 Caracterização física: absorção de água.....	67
4.5.2 Caracterização física: densidade aparente.....	68
4.5.3 Caracterização mecânica: Resistência a compressão axial.....	69
4.5.4 Resistência à flexão em quatro pontos.....	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Mazeer e Cavalcante (2004), as empresas de todos os setores da economia com a industrialização acentuada aliada ao advento de novas tecnologias geram resíduos com volumes significativos. E com o crescimento populacional correu um progressivo aumento de consumo de matéria-prima. A forma indiscriminada de extração dos recursos naturais e a poluição gerada pelos resíduos promovem impactos sobre o meio ambiente e é motivo de grande preocupação. Da mesma forma, a busca por processos manufatureiros que impliquem em menor consumo energético se faz presente em todos esses setores.

Observa-se uma gradativa necessidade de utilização desses resíduos, na tentativa não só de atender o que determina a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como colaborar com a redução do impacto ambiental. (MAIELLO, 2018)

O setor secundário da economia que corresponde ao estágio em que as matérias são transformadas em produtos industrializados de alto valor agregado devido ao emprego de altas tecnologias na transformação de matérias primas em produtos prontos para o consumo ou em maquinários e ferramentas industriais. É considerado o setor de maior riqueza e base para o desenvolvimento econômico do país, porém, é também o responsável pela maior parte da poluição e degradação ambiental. Nesse ramo da economia destaca-se a construção civil. Esta, por sua vez, é capaz de diminuir consideravelmente o aumento do consumo de matéria prima utilizando seus próprios resíduos e os resíduos gerados por outros setores. (RODRIGUES, 2012).

O consumo dos recursos naturais não renováveis também é outro alvo de preocupação. A construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais além de gerar volume elevado de resíduos; cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente nas cidades tem origem no setor da construção civil. Com isso, os agregados naturais e areias começam a ficar escassos principalmente em grandes centros aumentando as despesas com transporte e os impactos ambientais daí resultantes. (BRAVO, 2014).

De acordo com o Ministério de Meio Ambiente (MMA), “O setor da construção civil, reconhecidamente, tem um papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. Uma vez que este é apontado como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando

consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (MMA, 2010).

Um dos desafios do setor da construção civil é o gerenciamento de resíduos provenientes de suas atividades. E, com a crescente conscientização de sustentabilidade e a preocupação com o uso de recurso natural não renovável, observa-se um aumento progressivo de pesquisas de novos materiais que incorporam resíduos aproveitados não só da própria natureza como também os materiais reciclados diversos (DE SOUZA, 2014).

Um dos resíduos que ocupa maior volume nos aterros sanitários é os plásticos, devido suas aplicações terem evoluído rapidamente em todo o mundo e ao elevado tempo que este produto leva para se degradar (SILVA, 2016).

Grades quantidade de resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentam outra possibilidade a não ser, aos aterros sanitários ou a incineração. Nesse contexto, alternativas tecnológicas que promovam a inserção dos rejeitos em uma cadeia produtiva podem mitigar o uso de recursos naturais e reduzir gastos públicos com a disposição final. Estudos reconhecem que a incorporação desses resíduos e rejeitos em materiais cimentícios pode reduzir custos e promover benefícios ambientais (DE MOURA, 2018).

Assim, pode-se observar na literatura científica uma significativa quantidade de estudos com esses tipos de materiais e sua relação com o desenvolvimento de compósitos alternativos para a construção civil. Nota-se que as soluções para reciclá-los têm se centralizado na incorporação de polímeros em argamassas e concretos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar os efeitos da incorporação de resíduo polimérico em substituição parcial ao agregado miúdo na produção de argamassa.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física e quimicamente os materiais da argamassa;
- Desenvolver argamassas com adições de resíduo polimérico;
- Estudar as propriedades físicas e mecânicas, compressão e flexão, das argamassas incorporadas com resíduo polimérico.

1.2 Justificativa

Os resíduos sólidos industriais é um problema ambiental global, em virtude de sua complexidade de sua composição, o que motivou a discussão sobre os problemas ambientais gerados por esses resíduos e a necessidade de buscar um equilíbrio entre o consumo de recursos naturais, a produção industrial e a qualidade ambiental. Neste contexto, o conceito de desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental despontam preocupados com a qualidade de vida das “gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futura” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, p. 46).

Os agregados naturais empregados na construção civil são abundantes na natureza. Porém, fatores geológicos e restrições econômicas e ambientais tornam inviável a extração dos agregados de lugares distantes dos grandes centros. O esgotamento das jazidas de areias naturais próximas aos grandes centros de consumo, a contaminação das fontes de material pela poluição e as políticas de proteção ambiental fazem com que a obtenção de agregados miúdos para emprego na construção civil, particularmente na produção de compósitos cimentícios convencionais, seja impulsionada na direção de novas opções. Desta forma, novas alternativas estão sendo estudadas, dentre elas o emprego de areias artificiais ou a substituição de agregados por resíduos (FERNANDES, 2007).

Reutilizar e reciclar os resíduos industriais estão entre as principais alternativas na busca pelo desenvolvimento sustentável. O processo de gestão de resíduos sólidos se caracteriza por um conjunto de ações e procedimentos destinados à coleta e a restituição dos resíduos sólidos para reaproveitamento ou outra destinação final dando continuidade ao seu ciclo de vida como insumo para a fabricação de novos produtos (TOSTA 2019).

Ainda, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece um conjunto de medidas, diretrizes, responsabilidades e formas de gestão ambientalmente corretas sobre todos os produtos descartados no país “[...] os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade que abrange [...] recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa [...]” (Cap. III, Seção II, Art. 31, IV). (SOARES, 2020).

Os resíduos recicláveis, em especial o plástico, são considerados subprodutos, pois possuem valor econômico agregado e uma cadeia de produção (reciclagem) que envolve fatores sociais, ambientais e políticos. Com uma cadeia de reciclagem sistematizada para

geração de nova matéria-prima, evita-se a perda econômica e danos ao meio ambiente por disposição inadequada de resíduos e extração de novos recursos naturais. Um estudo feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2010 mostra que o país perde anualmente R\$ 8 bilhões de materiais reciclados que são transportados para aterros e lixões nas cidades brasileiras (IPEA, 2010).

Dados divulgados pela Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA) através da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) em 2010, parte do resíduo plástico produzido pelo Pólo Industrial de Manaus (PIM), mesmo sendo este um resíduo inerte com grande potencial para recuperação, não é reciclado, sendo destinado a aterro ou incineração, contribuindo para intensificar os impactos ao meio ambiente. Segundo o levantamento de resíduos referente ao ano de 2013 da SUFRAMA, 43% dos resíduos industriais gerados pelo PIM foram tratados, 32% foram reciclados e 25% foram encaminhados para disposição final.

O PIM é um grande gerador de resíduos plásticos, a oportunidade de propor alternativas que venham reduzir os impactos deste resíduo ao ambiente aliado à transformação de material inservível em matéria-prima para a produção de novos bens, contribuindo com a diminuição de consumo de recursos naturais, os impactos ao uso do solo para disposição de resíduos em aterros, problemas de saúde pública e poluição das águas, este trabalho propõe a utilização de resíduo polimérico destinado à incineração ou ao aterro da cidade, como agregado miúdo em substituição parcial da areia em argamassa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Industrialização na Amazônia Ocidental

Oliveira (1977), afirma que a "integração" da Amazônia Ocidental ao capital monopolista, se dá com expansão da economia brasileira, a partir dos anos 50 com o crescimento industrial da região Sudeste particularmente, em São Paulo, que representava mudanças profundas na divisão do trabalho entre as regiões do país. A divisão social do trabalho ao nível de cada região, isoladamente considerada, é determinada pelo tipo de natureza das ligações que cada uma das regiões mantiver com a que comanda o processo de acumulação. Esse processo de redivisão, partindo da região Sudeste, atinge todas as demais regiões. "Transfere e repassa tarefas agropecuárias para outras regiões, tais como o Nordeste e o Sul, cria outra região, como o Centro-Oeste, destrói numa primeira etapa ou reduz o crescimento da indústria no Sul e no Nordeste."

Ainda, para o mesmo autor, a região Norte, aparentemente, não foi afetada por essa redivisão do trabalho, e continuava isolada do mercado interno, em virtude da inexistência de uma infra-estrutura de transporte e de comunicação aliadas a extensão territorial da região e a baixa densidade demográfica o que inviabilizava a "integração" da região à nova dinâmica da acumulação. Além do fato de exportar grande parte de seus produtos sem passar pelo Sudeste parece fortalecer a hipótese de isolamento do mercado interno da Amazônia. Tal isolamento evitou que a economia fosse afetada negativamente ou positivamente, pela redefinição da divisão inter-regional do trabalho decorrente do processo de industrialização na região Sudeste e representou para a Amazônia um desenvolvimento mais homogêneo e mais conseqüente com sua distribuição de fatores de produção.

Numa economia com as características da Amazônia, isolada da dinâmica interna do processo de acumulação e voltada para a exportação de produtos primários, principalmente até os meados dos anos 60, o comportamento e o crescimento dos demais setores: - industriais e serviços, será determinado pelo poder de compra, isto é, pelo mercado criado pela produção dos bens que se exportavam. A "integração da Amazônia à dinâmica da acumulação de capital que ocorre no Brasil e tem como eixo central o setor secundário na região Sudeste altera profundamente a estrutura industrial da região que passa a não ter mais relação direta com a formação e a distribuição de renda da própria região. Mas, certamente é no Estado do Amazonas, ao se encandear a lógica nacional da acumulação de capital com a que ocorre no mundo capitalista como um todo e que resulta na implantação da Zona Franca de Manaus

(ZFM), que se evidencia mais claramente a mudança radical na estrutura industrial da Amazônia ocidental” (BENCHIMOL, 1966).

O Governo Federal, por meio do Decreto-Lei Nº 288 de 28 de fevereiro de 1967, ampliou essa legislação e reformulou o modelo, estabelecendo incentivos fiscais por 30 anos para implantação de um pólo industrial, comercial e agropecuário na Amazônia. Este decreto ainda criou a SUFRAMA que é uma autarquia e funciona como agência promotora de investimento para assegurar o desenvolvimento regional (REY; MEDINA 2019).

No mesmo ano de 1967, por meio do Decreto-Lei nº 291 de 28 de fevereiro, o Governo Federal define a Amazônia Ocidental tal como ela é conhecida, abrangendo os Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima. A medida visava promover a ocupação dessa região e elevar o nível de segurança para manutenção da sua integridade. Através do Decreto-Lei Nº 356 de 15 de agosto de 1968, o Governo Federal estendeu parte dos benefícios do modelo ZFM a toda a Amazônia Ocidental (LIMA; VALLE, 2013).

A Zona Franca de Manaus corresponde a uma área física de 10.000 km², abrangendo parte dos municípios de Manaus, Itacoatiara e Rio Preto da Eva. As indústrias implantadas na Zona Franca de Manaus recebem incentivo fiscal de até 40%, instituídos com objetivo de reduzir desvantagens logísticas e propiciar condições que alavanquem o processo de desenvolvimento da área incentivada (JICA/SUFRAMA, 2010).

O desenvolvimento industrial em Manaus com a implantação do PIM aconteceu através da verticalização da produção, baseado principalmente em montagem de eletroeletrônicos, que não tem seu processo de crescimento vinculado à utilização mais intensiva da base de recursos naturais locais, especialmente os recursos florestais. Fatores como esse justificam o desenvolvimento econômico do Estado em consonância com a proteção da floresta (SOUZA, 2009).

A lógica de produção implantada no Amazonas pelo PIM tem ajudado a proteger os recursos naturais da região, visto que no nosso vizinho estado do Pará cresceu economicamente a partir da exploração dos recursos florestais e minerais, criou-se uma lógica perversa em que o uso da terra e seu processo de valorização estão ligados a uma super exploração dos recursos naturais. Entre os anos 1985 e 2003 as taxas de desmatamento entre Amazonas e Pará, foram extremamente discrepantes representando 4,92 e 31,60 respectivamente (PIATAM, 2009).

A SUFRAMA, na fase atual, consolida o processo de revisão do seu planejamento

estratégico, em que melhor configura o desempenho da sua função de agência de desenvolvimento regional. Ao mesmo tempo, incrementa projetos para o fortalecimento do PIM, visando o aproveitamento de potencialidades regionais, promovendo a expansão e integração de atividades de prospecção tecnológica, inteligência comercial e de planejamento estratégico, e na expansão de atividades de estudos e pesquisas sobre políticas públicas e desenvolvimento socioeconômico na Amazônia Ocidental. (PORTOGENTE, 2016).

2.1.1 Gestão dos Resíduos Sólidos

A revolução industrial impulsionou a economia, acelerou o crescimento urbano, possibilitou o surgimento da Administração como Ciência, enfim, mudou de forma significativa a organização social. Além das transformações socioeconômicas, intensificou a geração de resíduos urbanos e industriais por meio do aumento da produção e do consumo. No país, a economia e a população cresceram e não houve, paralelamente, a ampliação da capacidade de gestão dos problemas acarretados pelo aumento acelerado da concentração populacional nas cidades (SOUZA, 2009).

De acordo com o IBGE (2010), a população brasileira em 2010 chegou a 190.732.694 pessoas, um crescimento de mais de 150% da população em comparação a 1950. Com o crescimento da população a necessidade de acesso a recursos naturais para produção industrial e a geração de resíduos aumentaram em proporção direta.

Para Rassi Neto (2003). Alguns pólos industriais apesar de ter atrativos econômicos não possuíam estrutura e nem saneamento básico, os problemas sociais e urbanos se acirraram: altos índices de desemprego, aumento da pobreza, dos índices e das formas de violência urbana. Nos contornos dessas metrópoles ocorre a diluição entre áreas urbanas e rurais, devido à metropolização, e agravamento da situação ambiental: lixo, água, esgoto.

Gouveia (2012) afirma que a em decorrência direta desses processos, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano.

A geração de resíduos é fruto da vida social humana e passou a causar modificações no ambiente a partir do sedentarismo humano, quando populações antes nômades, passaram a estabelecer residência fixa e por conseqüência acumular resíduos. Esses resíduos que antes

eram em maioria orgânicos como: resto de alimentos, pele de animais e excrementos, foram modificados conforme a evolução da vida em sociedade e acompanham, até hoje, o progresso da industrialização (GUALANO; TINUCCI, 2011).

A Revolução Industrial transformou a sociedade e a sua interação com o meio ambiente, bem como proporcionou o aumento do uso de recursos naturais e um acelerado aumento no ritmo de desenvolvimento de novos produtos e processos. Isso causou mudanças na estrutura da sociedade quanto à utilização dos recursos naturais, à geração de subprodutos indesejáveis durante processos de produção, bem como ao aumento do descarte de produtos no final da sua vida útil. A geração de resíduos industriais no Brasil está entrelaçada com a história de desenvolvimento do país, desde os ciclos econômicos de exploração extrativista em larga escala, pecuária, mineração, até a consolidação da indústria. Foi a partir de 1930 que a industrialização por meio de um processo histórico-social através da indústria fabril se tornou economicamente predominante no país (MARSON, 2015).

Eigenheer (2009) destaca que, independentemente da época analisada, diversos fatores exercem influência sobre as características dos resíduos sólidos e a forma de como lidar com eles; dentre esses fatores, sobressaem-se: a posição geográfica, o clima, a disponibilidade de água, o tipo de solo, o modo de produção e distribuição de riquezas, os fatores religiosos e a concepção de vida e morte.

Os autores também destacam que, até os anos 1970, a pressão por questões relacionadas à poluição e resíduos estava restrita aos setores químicos e à indústria pesada, mas que, a partir de então, a pressão tem sido crescente em todos os setores industriais, de modo que, no final dos anos 1990, essas questões já eram motivo de preocupações em todas as organizações de todos os tamanhos e setores.

No contexto nacional, “a indústria brasileira compete em mercados globais e participa, de forma crescente, em cadeias de produção integradas. Isso impõe dois desafios: ela tem que estar preparada para responder aos desafios da globalização e às mudanças de organização da produção” (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS, 2005, p. 11). Essas mudanças também deverão perpassar por questões ambientais e de gestão de resíduos, haja vista que é realidade nas indústrias de países mais globalizados. Surgem questões que enfatizam o desenvolvimento sustentável que visa um desenvolvimento econômico com a preocupação de preservar o meio ambiente. É indispensável que se transforme em ações políticas para que assim, ocorra um maior comprometimento para com as gerações futuras.

Para Barros (2013), a preocupação com os impactos ambientais da geração de resíduos sólidos teve início no em 1976, com a criação da Lei de Conservação e Recuperação de Recurso (Resource Conservation and Recovery) pela Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental Americana- EPA) nos Estados Unidos da América, uma legislação com o objetivo de enfrentar o enorme e crescente volume de resíduos sólidos gerados pelo país (EUA). Medidas semelhantes foram mundialmente difundidas por meio de conferências internacionais de proteção a vida e ao Documento do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (IPEA, 2010) refere que a intensificação da industrialização no país e o crescente apelo ambiental internacional, desde a conferência de Estocolmo, em 1972, fizeram o Brasil se comprometer a investir em ações de controle e minimização dos impactos ao meio ambiente. O resultado disso foi maior rigidez no controle de ações potencialmente impactantes ao meio ambiente, a fim de atenuar a poluição industrial através da criação de leis, normas, padrões de qualidade, gerenciamento de riscos ambientais, estabelecimento de indicadores de sustentabilidade e promoção de políticas públicas.

A legislação ambiental brasileira é composta por uma variedade de leis, decretos e instrumentos jurídicos que visam à prevenção e a repressão de atos danosos ao meio ambiente. No que tange à problemática dos resíduos sólidos algumas leis ganham destaque nesta temática, tais como: Constituição Federal de 1988; Lei 12.305/10: Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

- Lei 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente); Lei 11.445/07 (Política Nacional de Saneamento Básico); Lei 9.795/99 (Política Nacional de Educação Ambiental); Lei 10.257/01 (Estatuto das Cidades); Lei 9605/98 (Lei de Crimes Ambientais).

De acordo com o artigo 5º da Lei 12.305/10 toda legislação mencionada deve ser aplicada de forma integrada (BRASIL, 2010). Esta característica deve-se a nova postura dada à legislação brasileira após aprovação pelo Congresso Nacional da Política Nacional do Meio Ambiente prevista na Lei 6938/81 que inaugurou um novo modelo para política ambiental brasileira.

Sanchez (2006) entende que a referida lei inaugurou um novo modelo para política ambiental brasileira. Segundo os incisos I e V do artigo 4º da Lei 6.938/81, a Política Nacional do Meio Ambiente visará à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico; à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à

formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico (BRASIL, 1981). Nesta conjuntura, fica evidenciada no texto da lei 6938/81 a busca pelo equilíbrio entre economia, meio ambiente e sociedade, ou seja, a concretização do conceito de desenvolvimento sustentável como solução para as questões socioambientais, dentre estas, a problemática dos resíduos sólidos.

Resíduos sólidos é qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010).

Ribeiro e Morelli (2009), consideram lixo como todo e qualquer material sólido que sobra das atividades humanas, ou proveniente da natureza, que já não atende as necessidades para que foi criado. O que se joga fora, o que é sujo, inútil, velho, que perdeu sua utilidade e não pode ser reciclado e que julgam não ter mais qualquer valor comercial.

De acordo com Barros (2013) a Environmental Protection Agency Norte Americana (EPA) classifica os resíduos (materiais) industriais em três categorias, com o objetivo de fomentar a reciclagem de resíduos gerados no próprio processo de produção, sem passar por nenhum processo de recuperação para uso, como segue:

- a) Resíduos usados como matéria-prima: material utilizado diretamente como matéria- prima em um processo produtivo;
- b) Resíduo utilizado como substituto do produto: material diretamente utilizado como um substituto eficaz para um produto comercial;
- c) Resíduo de retorno para o processo produtivo: material devolvido diretamente no processo de produção, para uso como matéria-prima.

A EPA preconiza que resíduos gerados no processo de produção que possuam suas características originais, não contaminados, são na verdade materiais que devem ser reinseridos no processo. Caso não exista a possibilidade de reinseri-los diretamente, ou se necessitarem de recuperação são considerados resíduos sólidos.

De acordo com da NBR 10004, regulamenta a classificação de resíduos sólidos considera os resíduos sólidos como sendo “Resíduos em estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de

serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 1).

Ainda segundo a norma 10004 os resíduos sólidos são classificados em dois grupos: perigosos (classe I) e não perigosos (classe II, A e B), sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte:

- a) Resíduos perigosos (classe I) apresentam uma ou mais das seguintes características: de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, carcinogenicidade, toxicidade, patogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, representando significativo risco a saúde humana e à qualidade ambiental;
- b) Resíduos não perigosos (classe II) são subdivididos entre não inertes e inertes, esses resíduos não apresentam nenhuma das características dos perigosos. Os resíduos não inertes (classe II A) podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, representada principalmente por resíduos orgânicos;
- c) Os resíduos inertes (classe II B) quando submetidos ao contato com água, em temperatura ambiente, não sofrem alterações em seus constituintes, não há solubilização, não alteram a portabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Quanto à classificação segundo a fonte de geração os resíduos podem ser divididos nas seguintes categorias, de acordo com a PNRS (BRASIL, 2010):

- a) Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): implicam em resíduos resultantes das residências (domiciliar ou doméstico), lixo comum, resíduos de poda e capina, resíduos comerciais, os resíduos de limpeza e varrição, de feiras e outros;
- b) Resíduos de Serviços de Saúde (RSS): os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS). São considerados perigosos por possuir características patogênicas;

- c) Resíduos da Construção Civil (RCC): os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- d) Resíduos Agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- e) Resíduos de Serviços de Transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- f) Resíduos de Mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
- g) Resíduos Industriais (RI): os gerados nos processos produtivos e instalações industriais. São muito variados, pois são representados por resíduos perigosos e não perigosos.

Atualmente o consumo de produtos industrializados é responsável pela contínua produção de resíduos. Entre os anos de 2012 e 2013 a geração de resíduos no Brasil teve um acréscimo de 4,1% na quantidade total gerada. Em 2012 a geração anual foi de 201.058 ton/dia e a média de geração por habitante era de 1,037 Kg/dia, em 2013 a geração anual foi de 209.280 ton/dia e a média de geração por habitante passou a ser de 1,041 Kg/dia (ABRELP; IBGE, 2013).

Atualmente o consumo de produtos industrializados é responsável pela contínua produção de resíduos. Entre os anos de 2012 e 2013 a geração de resíduos no Brasil teve um acréscimo de 4,1% na quantidade total gerada. Em 2012 a geração anual foi de 201.058 ton/dia e a média de geração por habitante era de 1,037 Kg/dia, em 2013 a geração anual foi de 209.280 ton/dia e a média de geração por habitante passou a ser de 1,041 Kg/dia (ABRELP; IBGE, 2013).

2.2 Polo Industrial de Manaus (PIM) e a Gestão dos resíduos sólidos

O Amazonas, localizado na região norte do país, é o maior Estado brasileiro em dimensões territoriais, 1.570.745 km², com 62 municípios, apresenta uma população de cerca de 3.480.937 habitantes (IBGE, 2010).

Encravado na floresta amazônica, maior bioma brasileiro, possui grande riqueza biológica e de recursos naturais, assim como também possui uma imensa riqueza cultural igualmente diversa. Desenvolver economicamente o Amazonas e preservar os recursos naturais da região sempre pareceu ser uma dicotomia, visto a exemplo de outros estados da

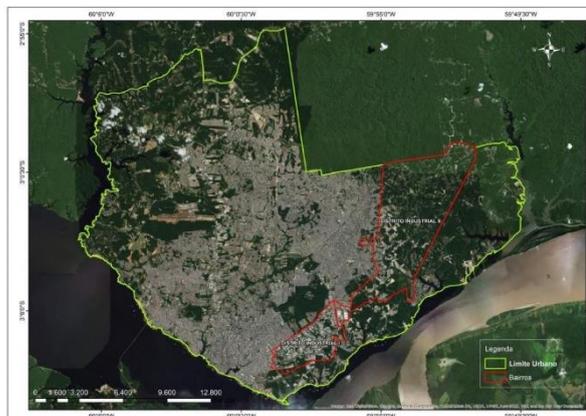
região onde o progresso econômico foi acompanhado de intensiva degradação ambiental. O desenvolvimento do Estado contou com dois grandes ciclos econômicos, que fomentaram a atual estrutura socioeconômica da região (BENCHIMOL, 1966).

O primeiro foi o ciclo a borracha, entre 1866 e 1920, que levou o Amazonas a visibilidade nacional, atraiu indústrias, comércio, urbanização e migração. Na primeira década do século XX, o Brasil tornou-se o maior produtor e exportador mundial de borracha, graças à produção amazônica. Em 1910, por exemplo, exportou aproximadamente 40 mil toneladas do produto. Com o fim da produção de borracha em larga escala, o Amazonas entrou em estado de estagnação, até o início das atividades industriais na década de 1960 (MONTEIRO; DA FONSECA, 2.2.).

O início do segundo ciclo econômico do estado se deu em 1957, com a implantação da Zona Franca, que movimentou a economia no estado até hoje. Foi resultado de um projeto desenvolvido para criar um porto de livre comércio, mas que através da Superintendência de Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA) foi transformado em Zona de Livre comércio na Amazônia Ocidental, que abrange os Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima (DE MEIRA MATTOS, 1969).

Com o objetivo de articular o desenvolvimento socioeconômico da região e garantir a preservação da Amazônia. Manaus, a capital do Amazonas, é o centro econômico do Estado, onde está instalado o Distrito Industrial, a cidade possui uma população de cerca de 2.020.301 habitantes (IBGE, 2010). Segundo a SUFRAMA em 2013 as vendas das indústrias instaladas no PIM atingiram cerca de R\$ 81 bilhões. A Figura 1 representa o mapa de delimitação dos bairros Distrito Industrial I e II, onde está instalado o PIM dentro da zona urbana de Manaus.

Figura 1- Mapa de delimitação do distrito industrial de Manaus



Fonte: Meireles (2016).

Pólo Industrial de Manaus (PIM) é formado por 555 empresas nacionais e multinacionais que atuam em segmentos como eletroeletrônico, duas rodas, termoplástico, químico, entre outros (SUFRAMA, 2013).

Em 2009 um acordo de cooperação firmado entre a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), Agência Brasileira de Cooperação do Ministério de Relações Exteriores (ABC) e a Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA) deu início ao projeto de estruturação do Plano Diretor para a Gestão de Resíduos Industriais do Pólo Industrial de Manaus, contendo propostas de soluções para o aproveitamento e destinação de resíduos a serem implementados no período de 2011 a 2015. Em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Amazonas (FIEAM), o Centro da Indústria do Estado do Amazonas (CIEAM), a Câmara de Comércio e Indústria Nipo-Brasileira do Amazonas e o apoio de instituições governamentais ligadas à questão ambiental foram desenvolvidas ações para administrar o resíduos sólidos produzidos pelas indústrias do PIM.

A SUFRAMA é a responsável por sistematizar o Inventário Anual de Resíduos Sólidos do PIM imposto pela resolução CONAMA nº 313 (2002), a qual exige das empresas brasileiras um inventário de seus resíduos industriais que deve ser entregue a cada ano ao órgão ambiental competente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). As empresas devem descrever não só a quantidade e a natureza dos resíduos que são gerados, mas também a forma de armazenamento, transporte, destinação final e outras informações (MEIRELES, 2016).

O inventário de resíduos é uma ferramenta importante para os geradores de resíduos (indústrias), para o órgão gestor dos resíduos industriais (IPAAM), e para a Superintendência do Polo Industrial de Manaus e dos Distritos Industriais (SUFRAMA), para a construção de uma gestão adequada de resíduos (MEIRELES, 2016).

Em 2009 a SUFRAMA identificou 16 lixões ilegais no Distrito Industrial que foram desativados (SUFRAMA, 2013). Imagina-se que empresas localizadas no distrito descartem os resíduos irregularmente para diminuir os custos com tratamento. O descarte incorreto de resíduos industriais é crime segundo a lei de crimes ambientais nº 9.605 (BRASIL, 1998).

A Tabela 1 demonstra a evolução da geração de resíduos entre os anos de 2005 e 2010, antes da implantação do grupo de trabalho de resíduos e do plano diretor de resíduos do PIM, executado pela SUFRAMA. Os dados são oriundos dos inventários físicos entregues no órgão regulador, sem tratamento estatístico.

Tabela 1- Geração de resíduos do PIM entre 2005 - 2010 (toneladas)

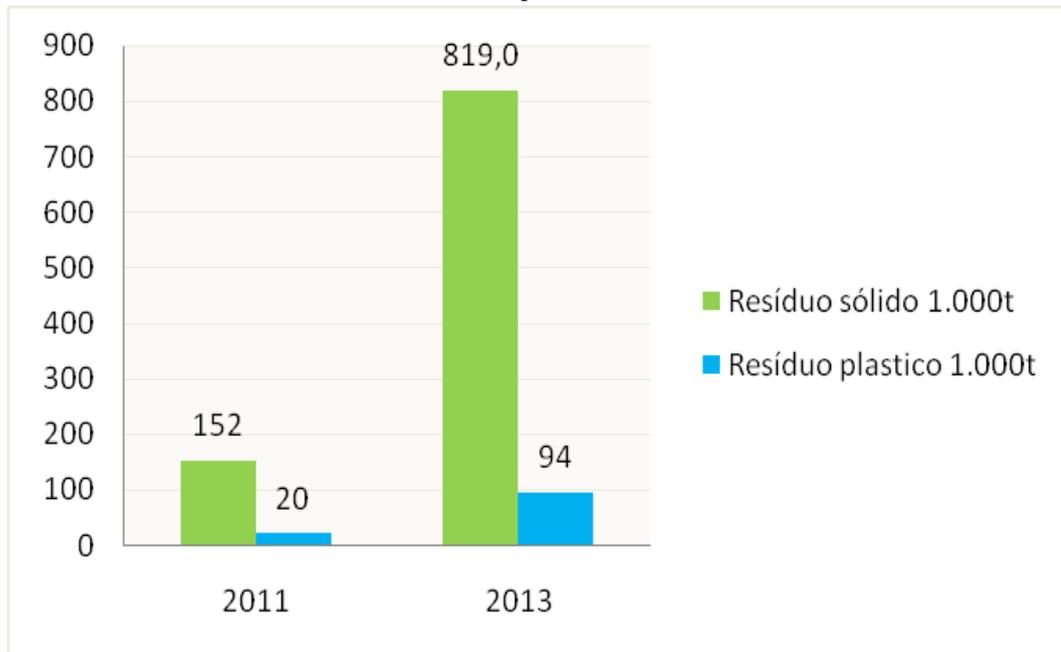
Evolução Anual	Geração de Resíduo (toneladas)
2005	59.615,32
2006	102.914,39
2007	103.982,15
2008	92.997,68
2009	125.728,98
2010	759.625,19

Fonte: SUFRAMA (2012).

De acordo com a SUFRAMA, após o início do tratamento dos dados coletados nos inventários eletrônicos do GRI Group, entre os anos de 2009 e 2010 é perceptível o crescimento abrupto na quantificação dos resíduos sólidos gerados pelo PIM, o que demonstra o quão necessário é sistematizar as informações junto às indústrias. Em 2011 foram gerados 152.759,56 ton de resíduos sólidos. (considerando 44 inventários). Só de resíduos de plásticos foram geradas 20.399,96 ton/ano (considerando resíduos de: plástico polimerizado em processo, bombonas de plástico não contaminado, isopor e filmes e pequenas embalagens de plástico). Dados do último inventário de 2011, publicado em 2012, apontam que dos resíduos industriais gerados pelo Pólo Industrial de Manaus 49% recebe tratamento, 47% é reciclado e 4% vai para disposição final.

Ainda no ano de 2013, foram geradas 819 mil toneladas de resíduos dos quais aproximadamente 94 mil toneladas eram de resíduos plásticos (SUFRAMA, 2014). Dos resíduos gerados em 2013, 43% foram tratados, 32% foram reciclados e 25% foram para destinação final. Nos dados apresentados na Figura 2 pode-se evidenciar o crescimento abrupto da geração de resíduos sólidos do PIM. Conforme evidenciado no gráfico, as ações de redução na geração de resíduos sólidos não têm sido eficientes, ou que externalidades têm influenciado no aumento da geração de resíduos. Visto que houve um crescimento de mais de 500% da geração de resíduos entre o ano de 2011 e 2013.

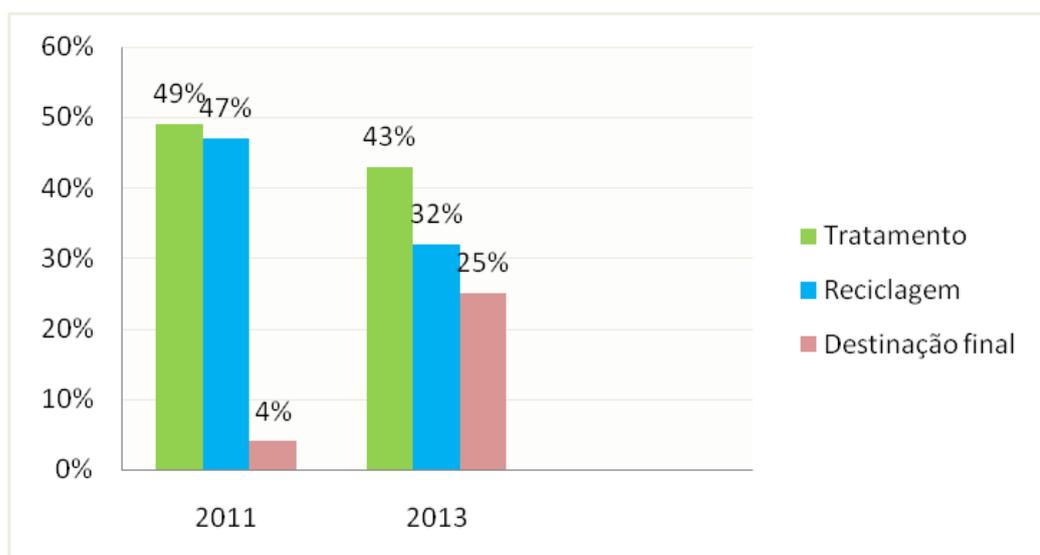
Figura 2 - Aumento da geração de resíduos entre os anos 2011 e 2013 segundo inventários de resíduos consolidados pela SUFRAMA



Fonte: Adaptado de SUFRAMA (2012).

O expressivo aumento da geração de resíduos no espaço de apenas dois anos, é alarmante. O crescimento da geração de plástico também é alarmante e se compararmos a geração de resíduos da Figura 2 com a destinação final representado na Figura 3, pode-se perceber o quanto tem sido insuficiente os trabalhos dos órgãos de regulação para incentivar que a gestão de resíduos do PIM seja mais sustentável (SUFRAMA, 2013).

Figura 3 - Destinação dos resíduos sólidos entre os anos 2011 e 2013 segundo inventários de resíduos consolidados pela SUFRAMA



Fonte: Adaptado de SUFRAMA (2012).

A redução no tratamento e reciclagem dos resíduos sólidos industriais abre precedentes para geração de passivo ambiental no aterro do município, e representa um impacto significativo à vida útil do aterro (que é responsável por receber todo o resíduo sólido urbano da cidade). O envio de 25% dos resíduos sólidos do PIM para o aterro municipal demonstra a falta de alternativas economicamente viáveis para a destinação de resíduos sólidos em Manaus e que a gestão de resíduos das indústrias não tem sido suficientemente eficiente para garantir a reciclagem (SUFRAMA, 2013).

2.3 Resíduos sólidos poliméricos

Os primeiros materiais utilizados como elementos estruturais, de proteção e na fabricação de instrumentos foram encontrados “prontos” na natureza, como pedras, madeiras, folhas de árvores etc. Foi através da observação de processos naturais que os seres humanos se inspiraram e, com algumas modificações, transformaram os materiais existentes, dando origem a materiais artificiais como cerâmica, vidro, papel, borracha, concreto dentre outros. Gradativamente, 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 (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Sua versatilidade é tamanha que, desde então, o plástico é um material essencial para o progresso e de desenvolvimento de pesquisas para indústrias dos mais diversos ramos. Os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas menores, e repetidas, identificadas como monômeros (CALLISTER; RETHWISCH, 2016) que são unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o poli(cloreto de vinila) (PVC). Os polímeros são classificados como termoplásticos (plásticos) que não sofrem reações químicas quando submetidos ao calor, e termofixos, (borrachas e fibras), que alteram sua composição sob aquecimento (DA SILVA SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Os plásticos (polímeros sintéticos), em sua maioria, são oriundos do petróleo, matéria prima de recursos natural não renovável, com custo elevado tendo sua cotação com tendências sempre crescentes representando, inclusive, um fator gerador de influências na econômica mundial. Desta forma o reaproveitamento dos resíduos poliméricos, urbanos e industriais,

constitui um fator de preservação e otimização dos aterros sanitários assim como a maximização de uso da matéria prima, evitando seu desperdício. Os polímeros sintéticos são materiais constituintes na principal matéria prima para fabricação de embalagens e recipientes plásticos assim como nos “plásticos de engenharia” (usados em indústrias como construção civil, automobilísticas, dentre outras). Classificam-se, quanto ao comportamento termomecânico em elastômeros e plásticos. Os resíduos plásticos presentes nos lixões e aterros são constituídos, em sua maioria, pelos termoplásticos convencionais (CORRÊA, 2012). Na Tabela 2, pode ser observada a identificação dos polímeros – termoplásticos – assim como suas principais aplicações e uso.

Tabela 2 - Identificação dos polímeros termoplásticos segundo a composição química

Simbolo	Sigla	Utilização
	Polietileno Teraftalato (PET)	É utilizado em frascos de refrigerantes, de produtos de limpeza e farmacêuticos, em fibras sintéticas, etc.
	Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	São utilizados na confecção de engradados para bebidas, garrafas de álcool e de produtos químicos, tubos para líquidos e gás, tanques de combustíveis, etc.
	Policloreto de Vinila (PVC)	São utilizados em tubos e conexões para água, calçados, encapamentos de cabos elétricos, equipamentos médico e cirúrgico, lonas, esquadrias e revestimentos, etc.
	Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	São empregados nas embalagens de alimentos, sacos industriais, sacos para lixo, filmes flexíveis, lonas agrícolas, etc.
	Polipropileno (PP)	São empregados em embalagem de massa alimentícias e biscoitos, potes de margarina, seringas descartáveis, equipamentos médico-cirúrgico, fibras e fios têxteis, utilidades domésticas, autopeças, etc.
	Poliestireno (PS)	Usado em copos descartáveis, placas isolante, aparelhos de som e de televisor, embalagens alimentícias, revestimento de geladeiras, material escolar, etc.

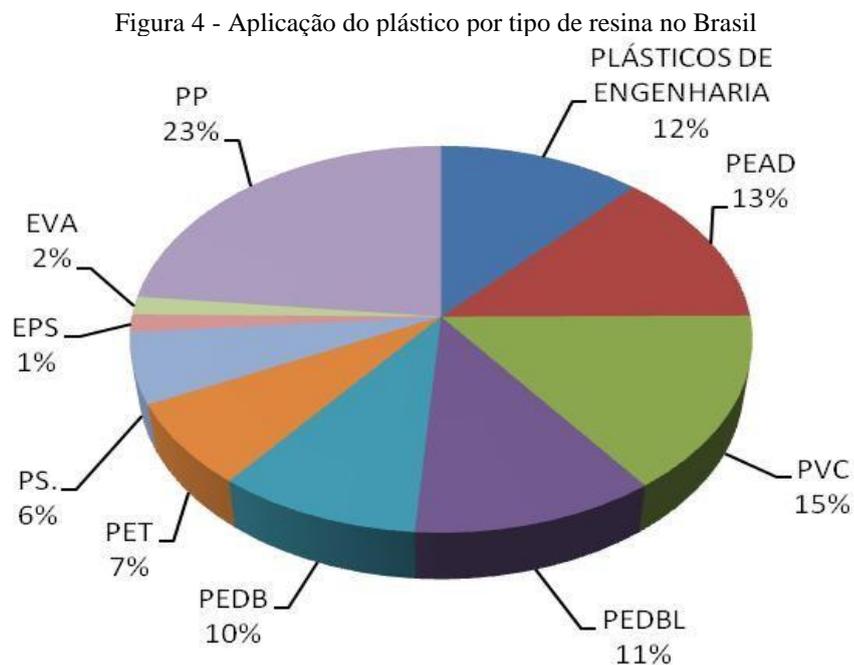
Fonte: Adaptado da ABNT (2018).

Os polímeros mais utilizados no Brasil como *commodities* são: polietileno (PE),

polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliuretano (PU), policloreto de vinila (PVC) e poliéster (PET) (AFINKO, 2018). Outros polímeros são fabricados em menor escala, por terem aplicações específicas são denominados plásticos de engenharia ou especialidades (CORDEBELLO, 2003).

A indústria de transformação de plásticos é a sétima maior da economia nacional, com influência em praticamente todas as cadeias produtivas. O plástico está presente na maioria dos produtos industrializados utilizados pela sociedade contemporânea, é utilizado em praticamente todos os setores da economia, fornecendo produtos para os segmentos de eletroeletrônico, cosméticos, farmacêutico, automotivo, brinquedos, alimentício, construção civil, agrícola, utilidades domésticas, higiene, limpeza, calçados, aviação, construção naval e médico-hospitalar (MEIRELES, 2016).

A Figura 4, elaborado pela ABIPLAST (2014), representa a distribuição das resinas plásticas mais consumidas no mercado brasileiro, e conseqüentemente as principais *commodities* para reciclagem.



Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2014).

De acordo com o que se pode observar do gráfico, o PP é o plástico mais consumido no mercado brasileiro devido a sua versatilidade e resistência mecânica para fabricação de embalagens flexíveis e devido ao seu custo relativamente baixo, elevada resistência química,

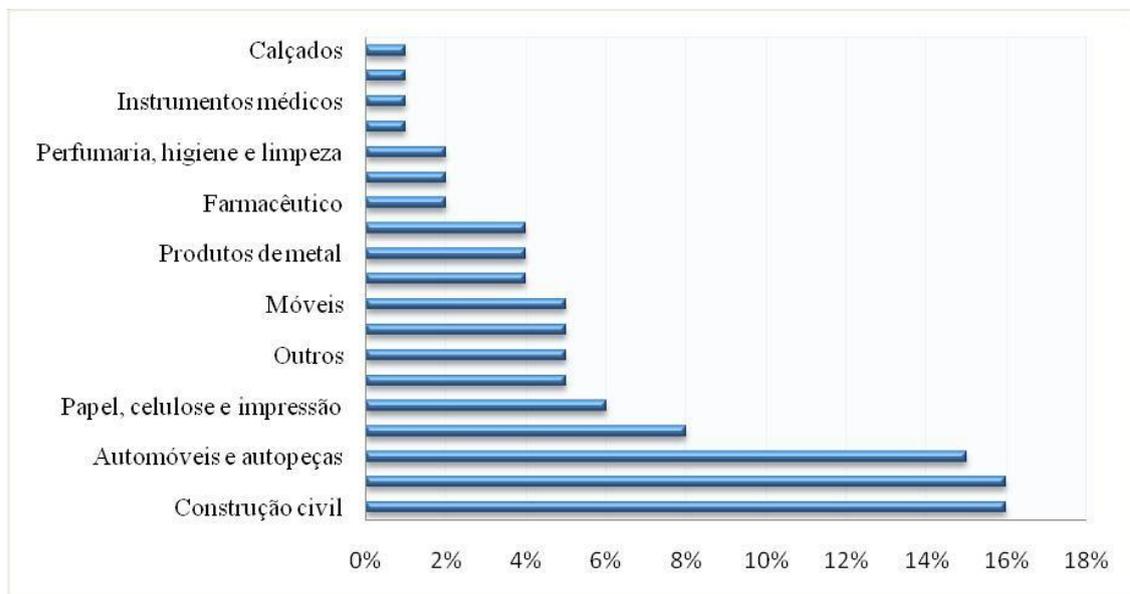
fácil moldagem e coloração, além de altas resistências a impactos de fraturas em comparação com outras resinas plásticas (MEIRELES, 2016).

A resina com maior projeção de crescimento é a de plásticos de engenharia impulsionada pela aplicação em automóveis e eletroeletrônicos. Os plásticos de engenharia são resinas transformadas por nanotecnologia para atender a requisitos específicos de um produto, entre os quais se podem destacar as Poliamidas (PA), os Policarbonatos (PC), os Poliuretanos, (PU, TPU, PUR) e os Fluoropolímeros (PTFE). Essas resinas tem o objetivo de atender a parâmetros técnicos que as tornam indicadas (ou não) para aplicações em ligas metálicas ou plásticos de menor rendimento (CORRÊA, 2012).

Na Europa e nos Estados Unidos, esse consumo girava naquela ocasião em torno de 100 kg/hab (DE OLIVEIRA, 2012). O consumo anual médio per capita de plástico no Brasil era de cerca de 30 kg por habitante (MEIRELES, 2016).

Presente nas mais variadas linhas de produção o consumo de resinas plásticas no Brasil é diretamente ligado à produção industrial nacional. O consumo brasileiro de plásticos em 2016 foi de 6,1 milhões de toneladas. No ano de 2015 o consumo foi cerca de 10% menor (ABIPLAST, 2011). O gráfico da Figura 5 representa a distribuição do uso de resinas plásticas nas principais atividades industriais brasileiras.

Figura 5 - Distribuição da aplicação de resinas plásticas por setor da indústria



Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2016).

A principal matéria-prima para a fabricação dos plásticos são combustíveis fósseis, sendo que 4% da produção mundial de petróleo e gás são usadas como matéria-prima para a

produção de plásticos, e outros 3 a 4% são usados como energia no seu processo de fabricação. Por ser dependente de um recurso natural finito, a produção do plástico é diretamente dependente do uso racional e sustentável, do petróleo mundial. O que reitera a necessidade econômica, social e ambiental de reinserir o resíduo plástico em um constante processo de reciclagem.

Quanto à geração de resíduos plásticos pelas indústrias do PIM, foram identificados dois grandes grupos para classificação: plásticos industriais e plásticos domésticos, dando alusão à fonte de geração do resíduo. A fonte de geração caracteriza a qualidade do resíduo plástico de origem industrial que está sendo produzido (MEIRELES, 2016).

a) Plásticos domésticos:

Produzidos nas áreas administrativas das indústrias: copos, pratos, colheres, embalagens garrafas PET, filmes, sacos e outros. São provenientes da coleta seletiva da empresa onde todos os tipos de plásticos são acondicionados juntos, são pouco valorizados para reciclagem.

b) Plásticos de processos industriais:

Resultantes da produção de resinas livres de matéria orgânica, água ou impurezas, resultantes dos rejeitos dos equipamentos de injeção extrusão, são produzidos em grande escala e saem da linha de produção, direto para reutilização ou reciclagem na própria unidade da fábrica ou unidades de reciclagem externas. Estes materiais podem apresentar coloração ou aditivos na resina, mas são de boa qualidade para reciclagem.

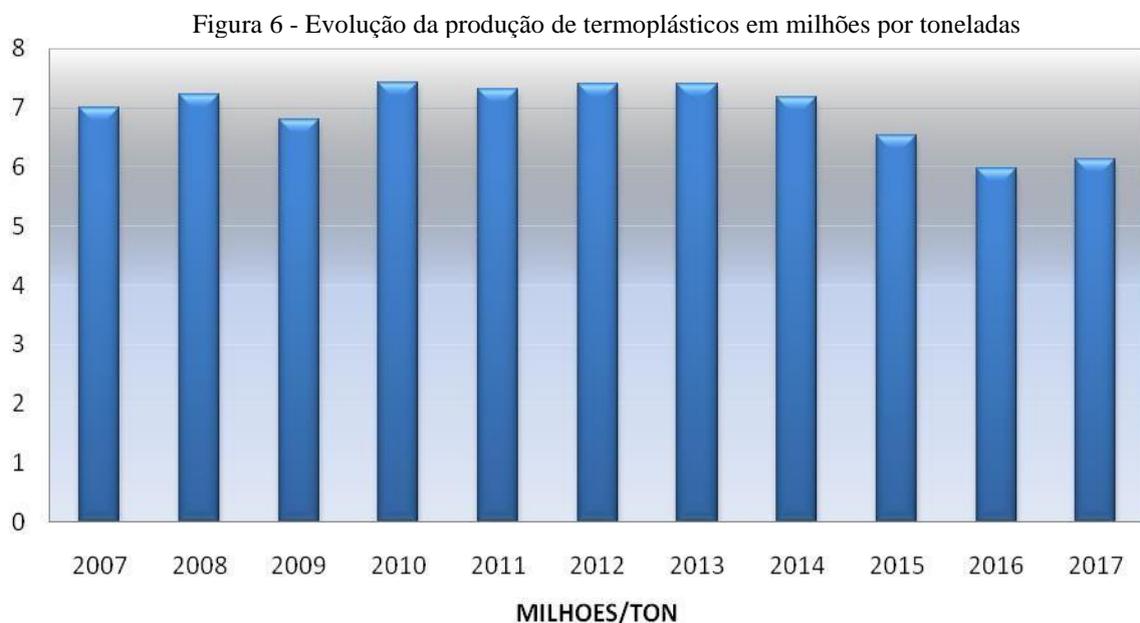
Sabe-se que os plásticos são descartados pelas indústrias em grandes volumes e a larga variedade de plásticos existentes no mercado a gestão de resíduos poliméricos é complexa e a destinação escolhida irá depender de diversos fatores: tecnologia disponível, qualidade de segregação do resíduo, logística, custos e etc.

Os resíduos plásticos se enquadram na classificação de resíduos Classe II, ou seja, resíduos sólidos não perigosos (ABNT, 2004). Apesar disso, quando descartados inadequadamente, como em rios, encostas, lixões, etc., os plásticos causam diversos danos ambientais (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005). A maioria dos plásticos não são biodegradáveis, muito pelo contrário, são materiais extremamente duráveis e, portanto, boa parte dos plásticos produzidos e descartados hoje irá persistir no ambiente por muitos anos, tornando-se um problema ambiental em potencial, se não for destinado corretamente.

O desenvolvimento da cadeia de reciclagem do plástico no Brasil vem acompanhando

a crescente demanda por resinas plásticas e concorre com a oferta de matéria prima virgem. A necessidade de consumo de resina plástica nas indústrias brasileiras tem movimentado esse mercado e crescido junto com o mercado de resina virgem. As empresas recicladoras são os principais consumidores de resíduo plástico, essas empresas reprocessam o material, para a fabricação de novos produtos. Além dos ganhos ambientais com a manutenção de uma matéria prima na cadeia de produção, são reconhecidos os ganhos sociais e econômicos com a reciclagem, é possível economizar até 50% de energia com o uso de plástico reciclado.

No gráfico da Figura 6 é apresentada a produção nacional de termoplásticos no ano de 2016. Apesar do ano de 2016 ter sido considerado de queda no mercado de resinas plásticas, o volume de produção ficou próximo de 5,82 milhões de toneladas, movimentando cerca de R\$ 65,70 bilhões (ABIPLAST,2016).



Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2016).

No Brasil, o maior mercado é o da reciclagem primária, a reciclagem de um único tipo de resina separadamente. Um mercado crescente é o da chamada reciclagem secundária, o processamento de polímeros, misturados ou não. Em 2011, cerca de 21,7% dos resíduos plásticos foram reciclados no Brasil, representando aproximadamente 953 mil toneladas por ano (CEMPRE,2015).

As dificuldades logísticas da cidade de Manaus também influenciam no tratamento do resíduo, a distância da cidade de outros grandes centros comerciais e a dependência do sistema de transporte aéreo e fluvial encarecem a logística reversa. O mercado de tratamento de resíduos é totalmente dependente das empresas instaladas em Manaus, sem a possibilidade

de envio de resíduo às empresas de outras regiões, devido aos altos custos de transporte. Com a dependência do mercado interno de Manaus, os custos aqui praticados são manipulados por um grupo de empresas, que dominam o tratamento de resíduos industriais do PIM, uma vez que uma parcela considerável dos plásticos recicláveis é produzida pelo PIM. O que é fortalecido pelas exigências da legislação e das necessidades do mercado que só esse grupo consegue atender (MEIRELES, 2016).

As dificuldades logísticas da cidade de Manaus também influenciam no tratamento do resíduo, a distância da cidade de outros grandes centros comerciais e a dependência do sistema de transporte aéreo e fluvial encarecem a logística reversa. O mercado de tratamento de resíduos é totalmente dependente das empresas instaladas em Manaus, sem a possibilidade de envio de resíduo às empresas de outras regiões, devido aos altos custos de transporte. Com a dependência do mercado interno de Manaus, os custos aqui praticados são manipulados por um grupo de empresas, que dominam o tratamento de resíduos industriais do PIM, uma vez que uma parcela considerável dos plásticos recicláveis é produzida pelo PIM. O que é fortalecido pelas exigências da legislação e das necessidades do mercado que só esse grupo consegue atender (MEIRELES, 2016).

Notoriamente, O PIM oferta e demanda de resinas plásticas. A reciclagem do plástico industrial e a reinserção da mesma no mercado local é um fator para promover a sustentabilidade da Amazônia, assim impulsionar a sustentabilidade da indústria de reciclagem. Promover a sustentabilidade empresarial também é um fator de manutenção e regulação do mercado, pois fortalece as instituições e os sistemas de governança que sustentam as empresas e promovem o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental (LIMA, 2018).

2.3.1 O resíduo plástico e suas destinações pós-consumo

Dentro do contexto de responsabilidade socioambiental, conhecer os processos de produção industrial e principalmente seus impactos tornou-se uma necessidade para as empresas que buscam se desenvolver sustentavelmente. A geração e má gestão dos resíduos sólidos já representam um impacto ambiental. A partir do levantamento bibliográfico realizado e do conhecimento da realidade do município, pode-se afirmar que os processos de tratamento e destinação final de resíduos plásticos industriais disponíveis em Manaus se limitam a três sistemas: reciclagem, aterro sanitário e incineração. Desta forma os gestores dão preferência a processos de disposição em aterro ou incineração, elas atropelam de alguma

forma a seqüência primordial estabelecida pela PNRS, que concebe a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final (MEIRELES, 2016).

Grande parte dos resíduos plásticos industriais não é reciclada, é preciso indicar alternativas disponíveis para destinação e tratamento dos mesmos, alternativas que sejam econômica e ambientalmente sustentáveis. Os resíduos sólidos do PIM apresentam-se como um problema de impacto ambiental e contribui de forma negativa para a sustentabilidade ambiental do município, porém, simultaneamente oferece recurso para movimentação do mecanismo crescente do desenvolvimento do mercado local. Com o crescimento das exigências ambientais, a reciclagem também tendo sido apontada de forma crescente como opção de destinação cada vez mais utilizada no pós-consumo, assim como a incineração. O aterro representa a última alternativa desejável (MEIRELES, 2016).

A maioria dos artigos plásticos vendidos, especialmente as embalagens e outros bens não-duráveis, torna-se resíduo em menos de um ano, ou, no pior cenário, após um único uso. Ainda assim, os resíduos plásticos são valorosas fontes de matérias-primas, e podem ser transformados em energia ou em outros materiais poliméricos (AL-SALEM et al., 2010).

Quantidades importantes de resíduos plásticos, muitas vezes microscópicos devido a sua degradação incompleta, têm se acumulado nos aterros e no meio ambiente, causando danos ambientais e problemas relacionados à gestão desses resíduos. Tais danos podem ser a liberação de tóxicos para o meio ambiente (plastificantes e outros aditivos), a ingestão de plásticos por organismos, causando muitas vezes a sua morte, ou a simples presença de resíduos, impactando visualmente o ambiente. Além disso, devido à imensa variedade de plásticos existentes no mercado e do grande volume descartado, a gestão de resíduos plásticos é complexa, e a destinação escolhida irá depender de diversos fatores, como do tipo de polímero ou do produto descartado, dentre outros (HOPEWELL et al., 2009).

Segundo a hierarquia da gestão de resíduos, apresentada na Figura 7, as opções adequadas de destino dos resíduos plásticos incluem redução, reuso, reciclagem, incineração e disposição em aterros.

Figura 7 - Hierarquia da gestão de resíduos em ordem decrescente de preferência



Fonte: Adaptado de Hopewell (2009).

Vazadouros a céu aberto, que são, popularmente, chamados de lixões, são ainda, infelizmente, os tipos mais comuns de disposição de lixo em países em desenvolvimento. Os resíduos são simplesmente jogados em uma área a céu aberto, sem qualquer tipo de controle ou tratamento. Além dos problemas ambientais causados pelos lixões, como a contaminação do ar por emissões da degradação da matéria orgânica e contaminação dos lençóis freáticos e corpos d'água próximos, por não haver qualquer tipo de impermeabilização do solo, a questão social também é um fator preocupante (CEMPRE, 2015).

A incineração é o processo de queima e descaracterização de resíduos sólidos, facilitando, assim, a sua disposição, já que ocorre uma drástica redução no volume do material final. Contudo, esse processo apresenta dois aspectos bastante preocupantes: a emissão de gases a partir da combustão dos resíduos e a destinação das cinzas formadas e dos particulados retidos nos sistemas de lavagem dos gases. Um dos maiores problemas da incineração é a emissão de dioxinas e furanos. Assim, os investimentos nesse sistema acabam sendo bastante elevados, pois se faz necessário acoplar um mecanismo de lavagem dos gases, que muitas vezes é mais caro do que o próprio forno de incineração, e toda a operação precisam incluir manuseio e destinação adequados dos rejeitos gerados. É uma técnica muitas vezes utilizada para o tratamento de resíduos perigosos (SANTOS 2010).

2.4 Resíduos poliméricos na Construção Civil

2.4.1 Resíduos poliméricos

Existe uma grande quantidade de resíduos poliméricos com potencial de emprego na

construção civil e que ainda são ignorados pelo mercado e até mesmo por pesquisadores, sendo necessária a identificação, caracterização, estudo de viabilidade econômica em consonância com o compromisso e responsabilidade sócio-sustentável com meio ambiente (ÂNGULO *et al.*, 2001).

De acordo com Wiebeck (2005), os polímeros de engenharia vêm para substituição, na maioria dos casos, dos metais, visando à redução de custos e o aumento da qualidade dos processos e produtos na indústria.

Por apresentarem propriedades requeridas às aplicações de engenharia, estes polímeros estão sendo cada vez mais usados. Os polímeros possuem propriedades diferentes de outros materiais utilizados na construção civil com densidade variando de 920 kg/m³ a 2700 kg/m³, baixo módulo de elasticidade em relação aos metais e também apresentam valores de resistência no comportamento à compressão, tração e flexão (WIEBECK, HARADA, 2005). Sendo assim, os plásticos de engenharia são definidos como sendo materiais estáveis, por determinados períodos, em aplicações onde podem sofrer esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos e ambientais (CRAWFORD, 1987).

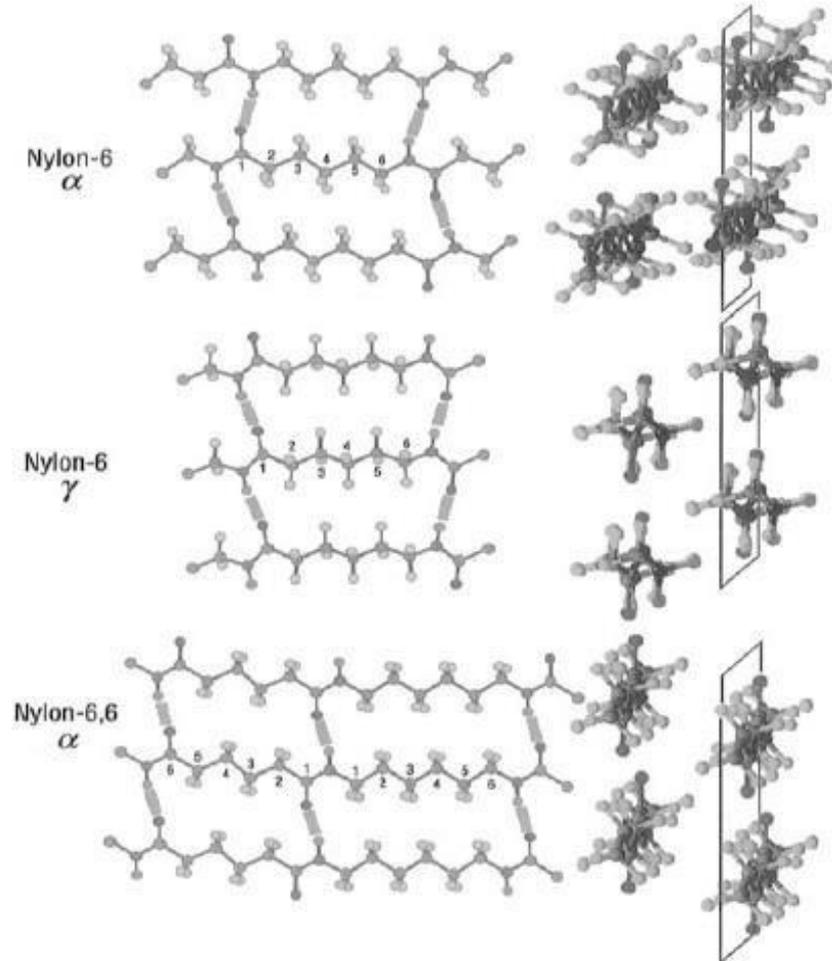
2.4.2 Poliamidas

As poliamidas (PAs) estão entre mais importantes termoplásticos de engenharia. Primeiramente introduzidas em na forma de fibras, sua gama de aplicação se expandiu consideravelmente desde então, e hoje são encontradas na forma de filmes, fibras, extrusados, injetados, moldados e outros, em uma ampla gama de aplicações. Facilidade de processamento, resistência ao desgaste e à abrasão, redução de custo e peso, são algumas das vantagens que as poliamidas oferecem nas aplicações de engenharia. Suas limitações primeiramente se encontram em suas propriedades mecânicas, em particular na sua sensibilidade a triaxialidade de tensões e fragilidade ao entalhe (TZIKA *et al.*, 2000). Limitações nas propriedades mecânicas, baixa temperatura de deflexão, alta absorção de água e instabilidade dimensional têm frustrado os engenheiros quanto ao uso das poliamidas como componentes estruturais. Estas limitações têm estimulado as pesquisas acadêmicas e industriais realizadas no estudo de desenvolvimento de materiais resistentes a estas condições limites (UNAL *et al.*, 2004).

As poliamidas são constituídas basicamente de segmentos de polietileno (grupos metilenos $-(CH_2)_n-$) separados por unidade de peptídeos (grupos funcionais amida $(-CONH-)$) (DOMININGHAUS, 1993). Tais polímeros são denominados de poliamidas alifáticas,

enquanto que as poliamidas que apresentam anéis benzênicos em suas unidades de repetição são poliamidas aromáticas. Podem-se classificar as poliamidas em dois grupos: (a) polímeros produzidos a partir da reação de policondensação entre diaminas e ácidos dicarboxílicos e (b) polímeros produzidos a partir da policondensação de aminoácidos (HERMES, 1996). Estas unidades de peptídeos possibilitam a ligação do hidrogênio com a cadeia do polímero (Figura 8) (DASGUPTA *et al.*, 1996).

Figura 8 - Representação da poliamida 6 e da poliamida 6,6



Fonte: Dasgupta et al. (1996).

A nomenclatura das poliamidas é definida pelo número de átomos de carbonos que separam o grupo amida de repetição na cadeia polimérica, (CHEMSYSTEMS, 2009). No caso de poliamidas com dois precursores, o primeiro algarismo indica o número de átomos de carbono presentes na diamina usada como monômero, enquanto que o segundo algarismo indica o número de átomos de carbono do ácido dicarboxílico. No caso de poliamidas produzidas por aminoácidos, a nomenclatura indica o número de átomos de carbono presentes no aminoácido. Portanto PA 4,6, PA 6,6, PA 6,10, PA 6,12, assim com PA 6, PA 7, PA 11 e

PA 12 são alguns polímeros que fazem parte da família das poliamidas (ARAÚJO, 2002).

As unidades de peptídeos presentes nas poliamidas possibilitam a ligação de hidrogênio com a cadeia do polímero, proporcionando a PA algumas propriedades típicas. Ou seja, a poliamida é um termoplástico composto por monômeros de amida conectados por ligações peptídicas, podendo conter outros agrupamentos (HERMES, 1996).

Diferentemente da maior parte dos polímeros atualmente, como o polietileno, as poliamidas são semicristalinas, e podem ter seu grau de cristalinidade controlado em larga escala. Esta característica é permitida devido a poliamida apresentar uma estrutura linear que contém os grupos polares amidas, espaçados em intervalos regulares ao longo da cadeia polimérica, o que permite uma cristalização parcial do polímero com elevada atração intermolecular, as seqüências metilênicas presentes nas moléculas das poliamidas conferem flexibilidade molecular nas regiões amorfas do polímero, em temperaturas acima da temperatura de transição vítrea, a combinação destas duas características resulta em um material de alta tenacidade e ótimo desempenho mecânico de uma forma geral (DASGUPTA et al., 1996).

O espaçamento dos grupos amida ao longo da cadeia do polímero é uma característica determinante das propriedades de cada tipo de poliamida, uma vez que quanto menor a seqüência de grupos metilênicos entre os grupos amida, maior será a concentração destes grupos polares em polímeros com cadeias de tamanhos semelhantes. Portanto, poliamidas com grupos amidas mais próximos possuem maior energia coesiva que poliamidas com seqüência metilênicas maiores, e conseqüentemente maior densidade, rigidez, resistência à tração e compressão, temperatura de fusão e deflexão ao calor, resistência a hidrocarbonetos, e capacidade de absorção de umidade (DASGUPTA et al., 1996). A Tabela 3 apresenta algumas propriedades físicas das poliamidas mais usadas atualmente.

Tabela 3 - Propriedades físicas de poliamidas.

Propriedades	Norma	Unidade	PA 6	PA 6,6
Densidade	ISO R1183	g/cm ³	1,14	1,14
Absorção de umidade	ASTM D570	%	1,6	1,30
Resistência à tração na ruptura	ASTM D638	MPa	50	70
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2	2,1

Fonte: Adaptado de DOMINGOS (2011).

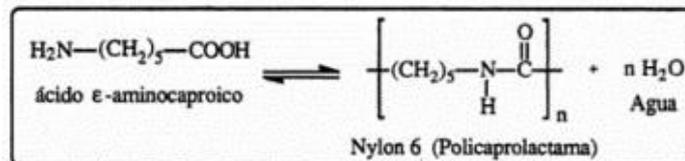
Devido à natureza de suas ligações secundárias, as poliamidas são materiais altamente higroscópicos e o teor de umidade absorvido pelo material afeta significativamente as propriedades mecânicas, bem como as dimensões do produto, uma vez que ocorre um inchamento do material após a absorção. A água exerce um efeito plastificante nas poliamidas, já que estas moléculas se alojam entre as cadeias macromoleculares, reduzindo as forças de atração entre elas e aumentando a mobilidade molecular do polímero. Resultando assim, no aumento da tenacidade e na redução da resistência à tração, compressão e flexão, do módulo de elasticidade e da temperatura de transição vítrea (T_g) (BRYDSON, 1988).

2.4.3 Poliamidas 6

A DuPont foi a primeira empresa a produzir o náilon em escala industrial para aplicação de fibras têxteis, para tecidos na confecção de roupas e pára-quadras em 1940, enquanto que o plástico para moldagem, apesar de ser produzido em 1941, só se tornou popular em 1950 (BRYDSON, 1988).

As poliamidas atualmente formam uma ampla gama de materiais, a depender dos monômeros envolvidos no processo de polimerização. A PA 6, ou náilon-6 em nome comercial, é produzida a partir da policondensação do ácido adípico com hexametileno diamina (HADJUK, 2002). A poliamida 6 é obtida a partir de um ácido dicarboxílico, o ácido adípico, que possui seis átomos de carbono, e uma diamina, o hexano-1,6-diamina, o hexametileno diamina, que também possui seis átomos de carbono (KOHAN, 1973). A Figura 9 mostra a reação de produção de PA 6 a partir do aquecimento do ácido ϵ -aminocaproico e a posterior eliminação de água entre as moléculas de natureza idênticas e formando assim, as cadeias de poliamida (PAINTER, COLEMAN, 1998).

Figura 9 - Produção de PA 6 a partir do ácido ϵ -aminocaproico

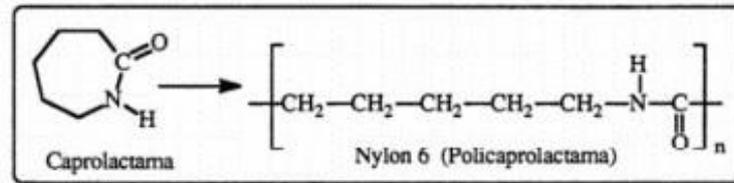


Fonte: Painter, Coleman (1998).

Apurou-se mais tarde que era possível a obtenção da PA 6 pela abertura do anel e então, polimerização da caprolactana, uma amida interna. Este é o processo chamado de polimerização hidrolítica da caprolactana, evidenciado na Figura 10. Neste processo de obtenção uma poliamida é formada pela condensação da caprolactama proveniente da sintetização dacicloexanona via um processo de oximação usando sulfato de hidroxilamônio seguido por um rearranjo catalítico. A caprolactama é um composto cíclico e a cadeia se

propaga através da polimerização iônica (PAINTER, COLEMAN, 1998).

Figura 10 - Produção de PA 6 a partir da polimerização da caprolactama



Fonte: Painter, Coleman, (1998).

Devido as suas boas propriedades, as poliamidas englobam um vasto campo de aplicação na indústria, que vão desde a sua utilização na indústria mecânica em engrenagens, cremalheiras, roscas sem-fim, roldanas, polias, parafusos, buchas, anéis de vedação, gaxetas, mancais (ABIPLAST, 2017).

2.5 Alguns estudos com polímeros

Bomediano *et al.* (2020), realizaram um estudo que teve por objetivo verificar a influência de copolímeros redispersíveis à base de EVA nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas, especialmente a resistência à compressão e o módulo de deformação, com foco em aplicações da construção civil, em que se exige maior flexibilidade para os reparos estruturais, como, por exemplo, para pisos estruturais de concreto. Nesse estudo, para o índice de consistência da argamassa, notou-se que o copolímero A obteve maior espalhamento em relação ao copolímero B. podendo ser explicado pelo aumento no teor de ar incorporado devido à adição de EVA. O aumento da plasticidade e do índice de consistência das argamassas modificadas à ação das partículas poliméricas como esferas, à incorporação de ar e ao efeito de dispersão causado pela ação surfactante dos polímeros nos primeiros minutos de hidratação do cimento Portland. Porém, essa incorporação pode influenciar suas propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão e módulo de deformação.

Segundo Calmon (2019), em sua pesquisa, foi analisado o comportamento de um concreto utilizado em obra e do mesmo concreto reforçado com fibras de polipropileno, poliéster, poliamida, aramida e polpa de aramida, antes e depois de serem submetidos a condições severas de incêndio. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova com adições de fibras a uma taxa de 2kg/m³. As amostras, além da temperatura ambiente, foram submetidas às temperaturas de 300°C, 500°C e 700°C em mufla, bem como a altas temperaturas através de teste de fogo direto. Concluiu as fibras poliméricas podem influenciar significativamente as propriedades do concreto.

No trabalho de Murari (2019) teve como objetivo estudar as dosagens e propriedades

do concreto convencional reforçado com fibras de poliamida e de polietileno, apresentando as vantagens de utilização no concreto, os resultados obtidos dos ensaios mecânicos: ensaios de compressão simples, compressão diametral, e absorção de água de cada dosagem. Concluiu um aumento na resistência a tração nos traços de concreto reforçado com fibras de poliamida e de polietileno.

Silva (2019), analisou os resultados obtidos através do ensaio de flexão de três pontos de corpos de prova em prismáticos elaborados com concreto simples e outros com concreto incorporado com fibra de polipropileno, sendo utilizados traços de 40 MPa e 20 MPa de fck e concluíram que com adição de fibra de polipropileno em uma matriz cimentícia, mesmo com um corpo de prova com um fck inferior, diminui a fragilidade que o corpo tem após o tempo de cura. Assim, mostra que tão importante quanto o fator de compressão do concreto, é o seu comportamento à ductilidade, o que lhe confere maior resistência à tração, uma vez que os elementos estruturais sempre estão submetidos a ações combinadas de esforços. É possível notar que as amostras com fibras, apresentam um maior tempo para chegar ao estado limite último, ou seja, estas amostras apresentam uma deformação maior, reduzindo seu comportamento frágil, logo aumentando a sua ductilidade, devido às pontes de transferência de tensões que as fibras formam nas regiões fissuradas. Tal comportamento aumenta o patamar de escoamento do material, permitindo que o mesmo suporte valores deformações que em outro regime de escoamento (sem fibra) o levaria à fratura. Os concretos reforçados com fibra respondem com uma melhora na resistência à fadiga.

Correa (2019) analisou as propriedades entre um concreto convencional e um concreto com fibras recicladas de polipropileno pós-consumo, os ensaios de compressão axial, compressão diamétrica e resistência à flexão foram realizados utilizando uma relação água-cimento de 0,53% e um teor de argamassa de 55%, as fibras produzidas a partir de materiais reciclados apresentam potencial para uso na construção civil para elementos que não exigem alta resistência. A partir dos resultados obtidos, observa-se que a medida que foi aumentado o teor de fibras polimérica ao concreto, não houve perda de trabalhabilidade e consistência.

Cestari (2001), em sua pesquisa, examinou o efeito da adição de Copolímero Vinil Veova em argamassa para revestimento, confeccionadas com areis de diferentes granulometrias e composição mineralógicas, sendo também estudado o desempenho de revestimento de argamassa modificadas aplicadas sobre paredes de blocos de concreto. As propriedades como consistência, retenção de água, densidade aparente, teor de ar incorporado,

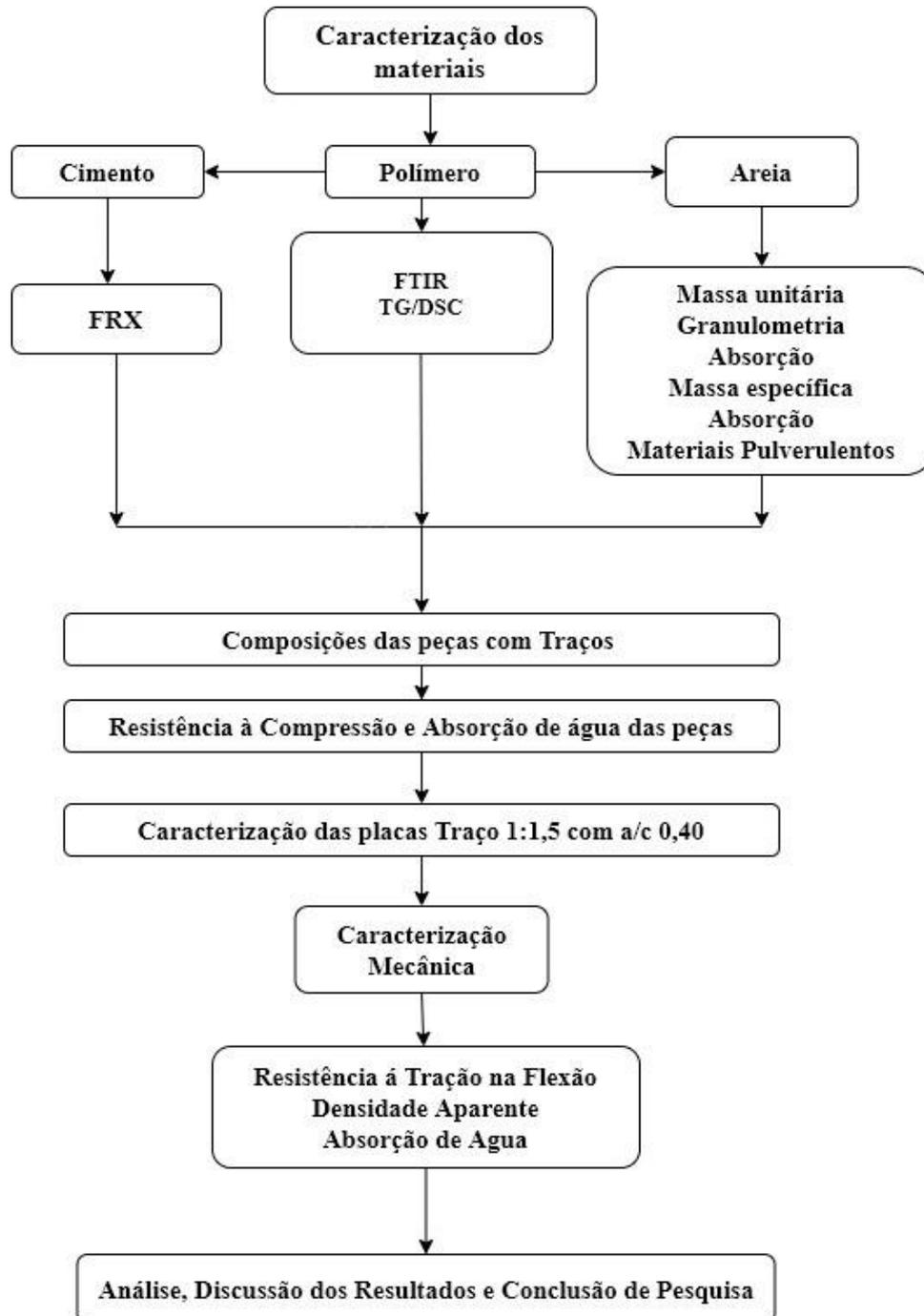
resistência à compressão axial, resistência a tração na flexão, resistência a tração na compressão, módulo de deformação, condutividade térmica e absorção de água. No revestimento foram avaliadas as propriedades de absorção e aderência. Os ensaios demonstraram que as argamassas aditivadas com teores acima de 4% de copolímero sobre a massa de cimento adquiriram melhorias na trabalhabilidade e na retenção de água, diminuição de 10% da relação a/c para a obtenção do índice de consistência padrão, diminuição da permeabilidade e aumento da resistência de aderência independentemente do aumento da quantidade de ar incorporado decorrente a adição do copolímero nas argamassas. O copolímero Vinil Veova demonstrou ser uma excelente alternativa para a modificação de argamassas pré-dosadas destinadas a execução de revestimento de paredes.

Observa um crescente interesse na reutilização de matérias em que sua destinação final seja a deposição em aterros sanitários ou incineração, o que podem ocasionar desastres ambientais, principalmente nos países que normatizações de reciclagem não são aplicadas. É denotada na grande quantidade de pesquisas relacionadas a esse contexto demonstrando o interesse dos pesquisadores pelos compósitos com o objetivo de não só reaproveitar esses resíduos a fim de criar novos materiais com viabilizar soluções alternativas para o meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção das argamassa foram realizadas análises químicas e físicas dos materiais: cimento, agregado miúdo e o resíduo polimérico. A Figura 11 ilustra o fluxograma das seqüências de atividades realizadas.

Figura 11 - Fluxograma com a seqüência de atividades realizadas



Fonte: Autor (2020).

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento Portland

No estudo foi utilizado o cimento Portland CPI-S-40 da marca CEMEX comercializado na cidade de Manaus.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi coletado e doado pela empresa Polimix Concreto Ltda, localizada na cidade de Manaus.

3.1.3 Resíduo Polimérico

Para essa pesquisa foi utilizado o resíduo proveniente de um processo de recuperação de materiais plásticos pela empresa Milplast da Amazônia Reciclagem, situada em Manaus-AM. Este resíduo plástico é destinado ao aterro sanitário da região (Figura 12).

O processo de produção é realizado pela empresa a partir da coleta dos resíduos de polímero das embalagens plásticas comuns no Pólo industrial de Manaus (PIM) que são obtidos pela trituração mecânica (posterior classificação e separação), corte, prensagem e compactação de plásticos para geração de matéria-prima para granulagem. Cerca de uma tonelada desse resíduo é enviado mensalmente para a empresa recicladora, que por sua vez, os condicionam em galpões de armazenamento temporário, onde, posteriormente, terão a destinação definitiva para aterros sanitários e lixões.

Figura 12 - Resíduo polimérico



Fonte: Autor (2020).

3.1.4 Água

Foi utilizada água potável fornecida pela empresa Águas de Manaus S/A, concessionária local de água.

3.1.5 Aditivo

O superplastificante usado na pesquisa foi MC-PowerFlow 1102. É um

superplastificante sintético baseado na nova tecnologia de polímeros policarboxilatos (PCE) desenvolvida pela MC - Bauchemie Brasil. A Tabela 4 demonstra os dados técnicos do superplastificante usado na pesquisa.

Tabela 4 - Dados técnicos do superplastificante

Características	Parâmetros
Produto	MC- <i>POWERFLOW</i> 1102
Estado	Superplastificante líquido
Dosagem recomendada	0,2 a 5,0 %
Cor	Amarelo claro
Densidade	1,07 g/cm ³

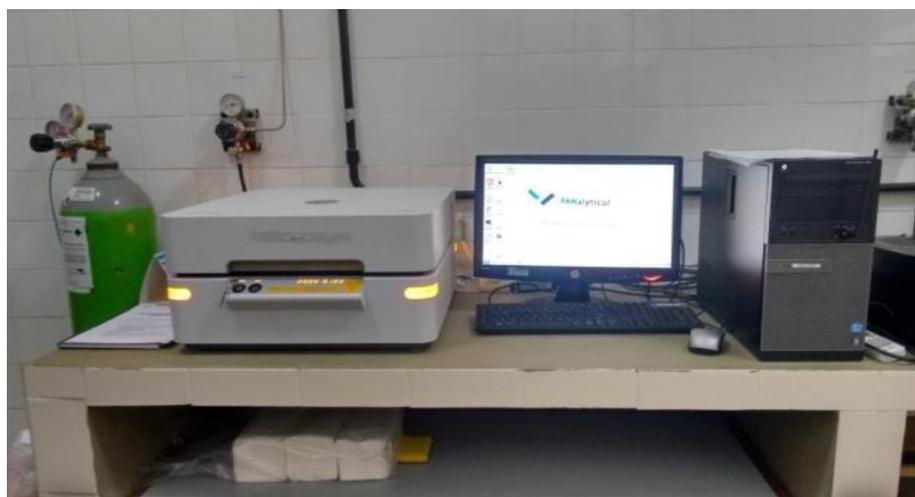
Fonte: adaptado de MC-BAUCHEMIE (2018).

3.2 Caracterização dos materiais

3.2.1 Espectrometria de Fluorescência de Raio-X

Para a análise dos elementos químicos constituintes dos materiais de insumo da argamassa como o cimento Portland foi aplicado o método de espectrometria de fluorescência de Raio-X (FRX) por energia dispersiva. O equipamento utilizado nos ensaios foi o Espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, em ambiente de Gás Hélio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como mostra a Figura 13.

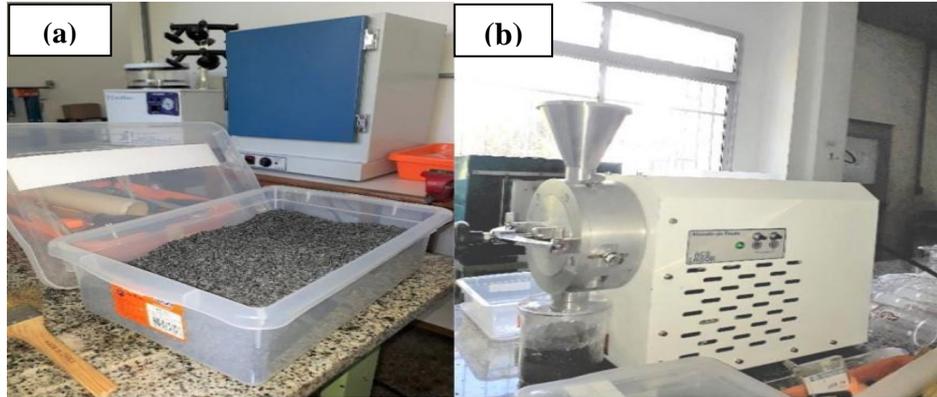
Figura 13 - Equipamento espectrometria de fluorescência de raio X



Fonte: Autor (2020).

Foram entregues 10 g de amostra em pó de cada tipo de materiais e passados na peneira de 75 μ m. O resíduo polimérico foi previamente moído no moinho de facas no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCN), do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) (Figura 14).

Figura 14 - (a): Resíduo polimérico. (b): Moinho de facas ACB Labor



Fonte: Autor (2020).

A moagem foi realizada com resíduo polimérico bruto. Após passar pelo processo de moagem, foi peneirado manualmente em peneira da ABNT n° 100 (abertura de malha 15 μ m).

3.2.2 Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier

A análise de FTIR foi conduzida com espectrômetro com um acessório de amostragem de ATR (IRAffinity-1S, Shimadzu, Japão) resolução 8 cm⁻¹; ganho 1; 4000 a 650 cm⁻¹ e 128 varreduras. O ensaio foi realizado na Central Analítica da Escola Superior de Tecnologia (EST).

3.3 Caracterização do cimento

Para produção da argamassa foi utilizado o cimento Portland CPI-S-40 CEMEX com adições e encontrado no comércio de Manaus. A Tabela 5 caracteriza as propriedades físico-químicas do cimento Portland comum CP I-S 40, onde estão fixados os limites estabelecidos pela norma NBR 5732 (1991) e as respectivas normas que prescrevem os métodos de ensaios dos elementos químicos.

Neste trabalho, os teores de MgO, SO₃ e de CO₂, foram levantados e avaliados pelo ensaio de FRX. Os ensaios para aferição das exigências como resistência à compressão, perda ao fogo, resíduos insolúveis, módulo de finura, massa específica real, foram realizados e os resultados fornecidos pela empresa POLIMIX.

Tabela 5 - Características físico-químicas do cimento Portland comum CPI-S-40

Norma	Ensaio	Limites da NBR 16697/2018 (% da massa)
NBR 16606:2017	Consistência	Normal %
NBR 16607:2017	Início de pega	≥ 1h
	Fim de pega	≤ 10h
NBR 11579: 2012	Finura – resíduo na peneira #75µm	10,0 %
NBR 16372: 2015	Área específica	≥ 280 m ² /kg
NBR 5752: 2014	Teor de adições	≤ 5,0 %
NBR 11582: 2016	Expansibilidade a quente	≤ 5,0 mm
	Expansibilidade a frio	≤ 5,0 mm
NBR 7215: 1996	Resistência compressão 3 dias	≥ 15,0MPa
	Resistência compressão 7 dias	≥ 32,0MPa
	Resistência compressão 28 dias	≥ 40,0MPa
NM 18: 2012	Perda ao fogo (PF)	≤ 4,5%
NM 15: 2012	Resíduo insolúvel (RI)	≤ 5,0 %
NM 16: 2012	Trióxido enxofre SO ₃	≤ 4,0 %
NM 11-2: 2012	Oxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5 %
NM 20: 2012	Anidrido carbônico (CO ₂)	≤ 3,0 %

Fonte: Adaptado da ABNT.

3.4 Caracterização do agregado miúdo

As areias são divididas, conforme a sua granulometria, em muito grossas, grossas, médias, finas e muito finas de acordo com o valor de seu módulo de finura, que é determinado pela soma das porcentagens retidas acumuladas, nas peneiras de série normal divididas por 100 como prescreve a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e o resultado obtido pela Equação 1.

(1)

$$MF = \frac{\sum \text{retido} 100\%}{100}$$

Para o teor de materiais pulverulentos, foram submetidas duas amostras de 1000g cada. A areia foi lavada, seca em estufa e depois pesada atendendo às prescrições da NBR

NM 46 (2003).

Para o ensaio de torrões de argila, as amostras foram coletadas e peneiradas e em seguida trituradas manualmente. O teor foi determinado pela equação 2.

(2)

$$mt = \frac{mi - mf}{mi} \times 100\%$$

Onde:

Mt = massa total;

Mi = massa inicial

Mf = teor de torrões de argila

A Tabela 6 apresenta a caracterização física da areia, como agregado miúdo utilizado nessa pesquisa:

Tabela 6 - Caracterização física da areia, como agregado miúdo utilizado

Normas ABNT	Ensaio	Unidade	Areia
NBR NM 248/2003	Granulometria	Módulo de finura	2,80
		Dimensão máxima	4,75
NBR NM 45/2006	Massa unitária	estado solto	Kg/m ³ 1463
		est. compactado	Kg/m ³ 1579
NBR NM 30/2001	Absorção de água	%	2,59
NBR NM 52/2009	Massa específica	g/cm ³	2,60
NBR NM 46/2003	Material pulverulento	%	2,01
NBR NM 49/2001	Impurezas orgânicas	%	1,02
NBR NM 7218/2010	Torrões de argila	%	0,35

Fonte: Adaptado da ABNT.

3.5 Caracterização do Polímero

A massa específica real do polímero foi fornecida pela Empresa Milplast da Amazônia, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Massa específica do resíduo polimérico

Massa	Específica	Unidade	Laboratório
Resíduo Polímero	1,04	g/cm ³	Milplast da Amazônia

Fonte: Milplast da Amazônia (2018).

3.5.1 Análises Térmicas: Análise de Termogravimetria

A análise de termogravimetria do resíduo polimérico foi realizada no Laboratório de

Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC) da UFAM por meio do equipamento de termo gravimetria modelo SDT Q600 Simultâneo da TA Instruments (Figura 15). O ensaio permitiu determinar a temperatura de degradação do material polimérico pela variação da sua perda de massa. O equipamento operou com as condições experimentais com fluxo de gás N 5.0 de 30 ml/min, faixa de temperatura de 10°C até a temperatura final de 1100°C e taxa de aquecimento de 10°C/min.

Figura 15 - Equipamento termogravimetria modelo SDT Q600 Simultâneo da TA Instruments



Fonte: Autor (2020).

3.6 Métodos

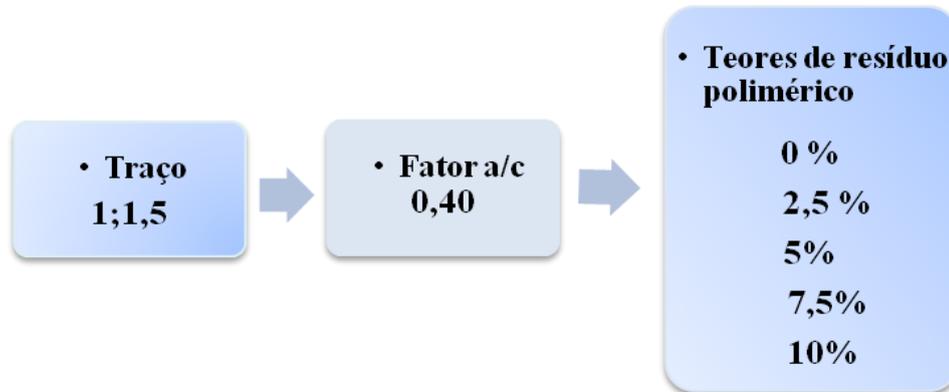
Após a escolha e caracterização dos materiais, foi definida a composição dos traços da argamassa, o fator água/cimento e os percentuais de resíduo polimérico a serem utilizados. Os corpos de prova foram moldados e, após 28 dias de cura, foram submetidos a ensaios para determinação de suas propriedades.

3.6.1 Composição dos traços

As argamassas foram preparadas de acordo com as recomendações estabelecidas pela NBR 16541 (ABNT, 2016), os procedimentos foram modificados, visto que o material não se comporta como uma argamassa convencional e que não existe normativa que defina o procedimento de mistura de argamassas com adições de polímeros. Na composição das peças utilizou-se uma argamassa plástica com o seguinte traço 1:1,5. Para este traço utilizou-se o fator água/cimento (a/c) igual a 0,40. A dosagem recomendada de superplastificante pelo fabricante é de 0,20% a 0,50% de massa total sobre a massa de cimento. Foram produzidas peças com 0% de resíduo polimérico (argamassa de referência) e peças com substituição parcial do agregado miúdo (areia) por resíduo polimérico nos teores de 2,5%, 5%, 7,5% e

10% da massa total do agregado, totalizando 20 composições. A Figura 16, ilustra os fatores considerados na composição das peças.

Figura 16 - Fatores considerados na composição das peças



Fonte: Autor (2020).

3.6.2 Moldagem dos corpos de prova

Para confecção dos corpos de prova foram utilizados moldes cilíndricos conforme a norma NBR 5738 (2015). As dimensões das formas das placas são 40 cm x 40 cm x 1 cm e foram produzidas para determinação da resistência característica à tração na flexão, absorção de água e densidade. Foram confeccionados 20 corpos de prova cilíndricos, com dimensões 5 cm x 10 cm, que foram utilizados para o ensaio de compressão. A Tabela 8 apresenta o proporcionamento dos materiais para o traço determinado.

Tabela 8 - Proporcionamento dos materiais para o Traço 1:1,5 para corpos de prova cilíndrico

Material	Fator a/c 0,40				
	0,0%	2,5%	5,0%	7,5%	10%
Cimento (g)	600	600	600	600	600
Areia (g)	900	855	810	765	720
Resíduo Polímero (g)	000	45	90	135	180
Água (g)	270	270	270	270	270

Fonte: Autor (2020).

O ensaio de consistência adaptado da norma NBR 7215/2019 foram utilizados para determinar o ponto de saturação do aditivo superplastificante e para avaliar sua compatibilidade com o cimento CPI-S-40. O ponto de saturação indica para o superplastificante a dosagem ótima, a partir da qual não se verificam ganhos relevantes de fluidez.

Para a realização do ensaio foi utilizados os materiais componentes conforme o

proporcionamento que estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Proporcionamento de materiais

Material	Teor de aditivo superplastificante (sp)		
	1%	1,5%	2%
Cimento (g)	1000	1000	1000
Água (g)	393,40	390,10	386,80
Aditivo (sp) (g)	6,60	9,90	13,20

Fonte: Autor (2020).

O comportamento reológico das argamassas depende do tipo, seqüência e tempo de amassamento, esses aspectos foram mantidos constantes ao longo de todo o ensaio. Para produção de todas as pastas, foi utilizado um misturador planetário (Figura 17) dotado de duas velocidades, uma lenta, com 30 rpm, e outra rápida, com 60 rpm. A seguinte seqüência adotada para a mistura foi: primeiro manualmente mistura-se o cimento e a areia até ficar homogênea. Segundo, mistura-se o resíduo polimérico, à velocidade lenta, por 5 minutos. Mistura-se a água com o superplastificante; e em terceiro, adiciona-se a mistura da água com o superplastificante à mistura homogênea durante 1 minuto, à velocidade lenta, e, em seguida, a argamassa mistura-se por mais 5 minutos, mantendo a mesma velocidade lenta, até chegar uma pasta pronta homogênea. Seguidamente, as pastas prontas foram acondicionadas em um recipiente plástico, antes da realização do ensaio de consistência, que será adaptado da norma.

Figura 17 - Misturador planetário

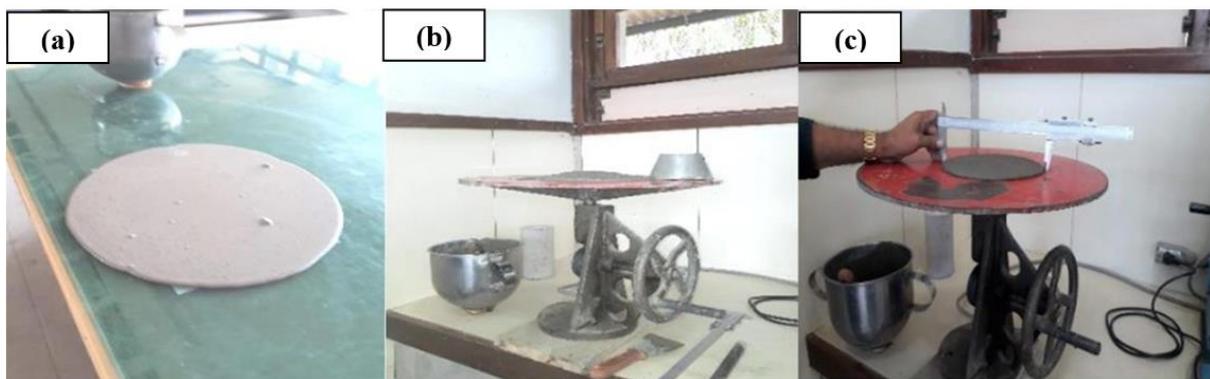


Fonte: Autor (2020).

As argamassas foram submetidas ao ensaio de consistência, onde se seguiu os seguintes passos: colocação da argamassa no tronco de cone. (Figura 18a) e remoção do excesso de argamassa e arrasamento da superfície com auxílio de uma régua, retirada da forma (Figura 18b) O índice de consistência é a média aritmética de dois diâmetros

ortogonais, quando transcorrido em 1 minuto do início do ensaio e mantendo-se o registro de espalhamento médio (Figura 18c). As argamassas foram preparadas com os seguintes materiais: cimento, resíduo polimérico, areia, aditivo superplastificante e água, o traço adotado foi o 1:1,5:0,40 (cimento + resíduo polimérico: areia: água) e foi mantida a relação água/cimento em 0,40. As quantidades de água e superplastificante presente foram devidamente levadas em consideração no cálculo da composição das argamassas.

Figura 18 - Seqüência do ensaio de consistência adaptado da norma: (a) Colocação da argamassa no tronco do cone. (b) Retirada fôrma. (c) Espalhamento médio



Fonte: Autor (2020).

Após a produção de cada argamassa, foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos para cada teor de substituição definidos na Tabela 8. De cada grupo de corpos de prova foram selecionadas 4 amostras para rompimento à compressão axial com 28 dias de idade, conforme a norma NBR 5739 (2018). Para realização deste ensaio utilizou-se uma prensa da marca Cyber-Tronic, modelo YIMC109, com capacidade de 150 toneladas. Os corpos de prova foram colocados em local coberto e temperatura ambiente, onde permaneceram até a realização do ensaio de compressão. A Figura 19 ilustra os corpos de prova utilizados para determinação das propriedades da argamassa produzida com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo polimérico.

Figura 19 - Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor (2020).

3.6.3 Moldagem e produção da argamassas

A moldagem foi realizada em cinco formas quadradas medindo 40 x 40 cm e 1 cm de espessura, empregando argamassa produzidas com o teor de substituição da areia parcial do agregado miúdo (areia) por resíduo polimérico nos teores de 0% (argamassa de referência), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% da massa total do agregado. A Tabela 10 apresenta o proporcionamento dos materiais para produzir cada placa, de acordo com os teores de substituição.

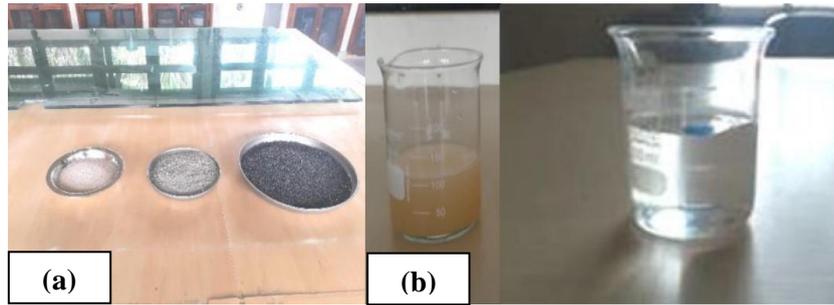
Tabela 10 - Proporcionamento dos materiais para a produção das placas

Material	Fator a/c 0,40				
	0%	2,5%	5%	7,5%	10%
Cimento (g)	1.307	1.307	1.370	1.307	1.307
Areia (g)	1.960	1.911	1.862	1.813	1.764
Resíduo Polimérico (g)	-	49	98	147	196
Água (g)	373	373	373	373	373

Fonte: Autor (2020).

Calculada a massa necessária para produzir as argamassas, foi feita a pesagem de cada material componente: cimento, areia, resíduo polimérico (Figura 20a), superplastificante e água (Figura 20b), para obtenção das placas moldadas em formas quadradas (Figura 21).

Figura 20 - Materiais para moldagem: (a) Cimento, areia e o resíduo polimérico. (b) Superplastificante e água



Fonte: Autor (2020).

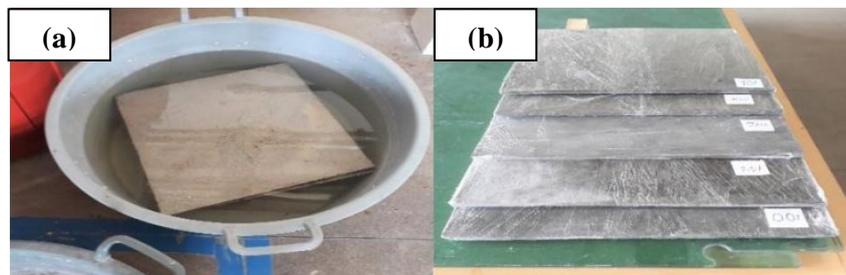
Figura 21 – Placas moldadas em formas quadradas



Fonte: Autor (2020).

Após a desmoldagem, as placas foram submersas em água em um período de 24 horas (Figura 22a). E posteriormente, envolvidos em filme por 28 dias em local coberto e a temperatura ambiente, a fim de garantir uma cura adequada, onde permaneceram até a preparação para o ensaio de flexão (Figura 22b).

Figura 22 - (a) Placas submersas em água. (b) Cura úmida das placas

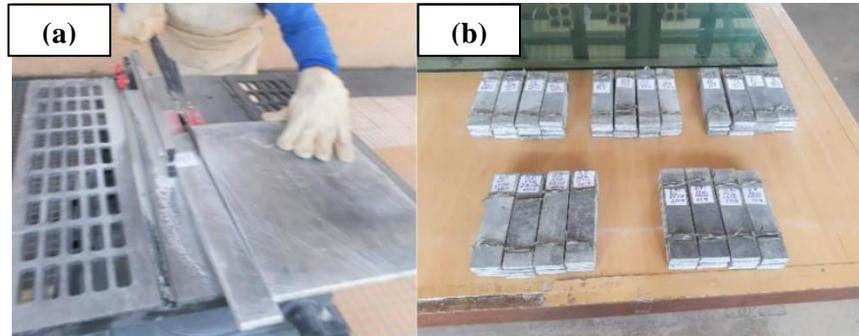


Fonte: Autor (2020).

Em seguida, as placas foram cortadas com o auxílio de uma serra portátil, resultando

em amostras com dimensões de 50 x 200 x 10 mm (largura, comprimento e espessura) para o ensaio de tração na flexão em 4 pontos (Figura 23).

Figura 23 - (a) Corte da placa. (b) Corpos de prova



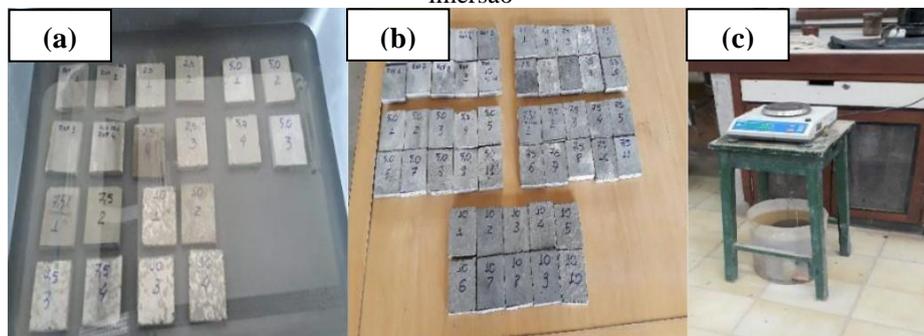
Fonte: Autor (2020).

3.6.4 Ensaio de densidade aparente, absorção de água e tração na flexão em 4 pontos das placas

- Ensaio de densidade aparente, absorção de água

Os corpos de prova foram armazenados em uma sala com temperatura de 23 ± 1 °C antes da execução dos ensaios. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Cada amostra foi composta por quatro corpos de prova para cada teor de substituição e de acordo com as prescrições da NBR 15498 (2016). As amostras foram submetidas à saturação por mais 72 horas (Figura 24a). Após o período de saturação, os corpos de prova foram retirados da água e enxugados suas superfícies com um pano úmido e preparados para a pesagem direta das amostras saturadas para obtenção da massa úmida (m_u) (Figura 24b). Em seguida as amostras foram pesadas por imersão para obtenção da massa imersa (m_i) (Figura 24c).

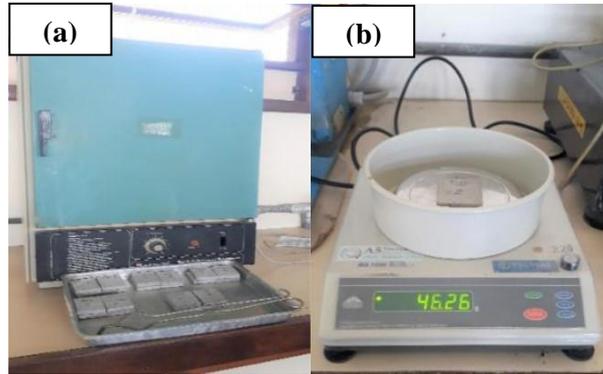
Figura 24 - (a) Amostras em saturação. (b) Amostras preparadas para pesagem. (c) Amostras pesadas por imersão



Fonte: Autor (2020).

Após a pesagem saturada, as amostras foram secas em estufa a uma temperatura de 100°C por mais 48 horas para obtenção da massa final seca (mf), conforme observado na Figura 25.

Figura 25 - (a) Amostras secas em estufa. (b) Amostra seca em pesagem



Fonte: Autor (2020).

Os resultados foram obtidos por meio da média das duas amostras de ensaio de cada traço, a densidade aparente e a absorção de água foram determinadas de acordo com as equações 3 e 4, respectivamente.

$$(3) \quad \rho = \frac{mf}{V}$$

Onde:

ρ = densidade aparente, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

mf = massa do corpo de prova após secagem (g);

V = volume o corpo de prova centímetros cúbicos (cm³).

$$(4) \quad abs = \frac{(mi - mf)}{mf} \times 100$$

Onde:

Abs = absorção de água expressa em (%);

mi = massa inicial, em gramas (g);

mf = massa final, em gramas (g).

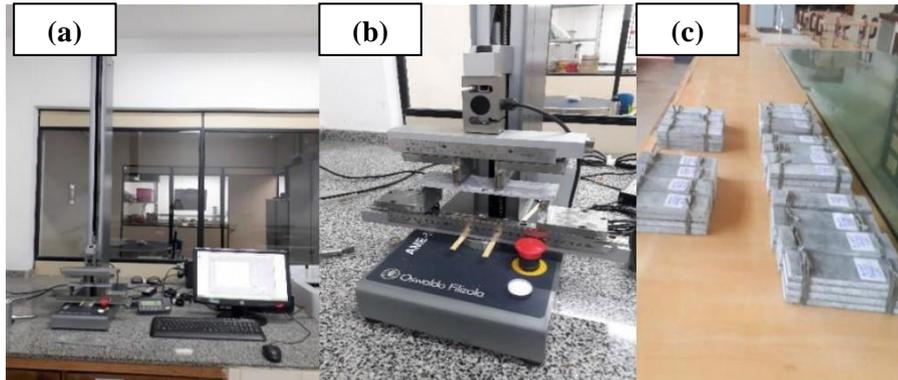
- Ensaio de tração na flexão em 4 pontos

O ensaio de tração na flexão em 4 pontos foi realizado no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos – LAMAC, utilizando uma máquina para ensaios mecânicos marca

Oswaldo Filizola, modelo AME 5KN (Figuras 26a e 26b). A velocidade de carregamento foi de 0,5 mm/min. As amostras foram cortadas com dimensões de (50x200x10) mm a fim de atender a especificidade do equipamento (Figura 26c).

Para este ensaio foi produzida a argamassa sem adição de resíduo polimérico (referência) e a argamassa com o teor de substituição que apresentou o melhor resultado alcançado no ensaio de resistência à compressão.

Figura 26 - (a) e (b): Prensa de ensaio à flexão. (c) Corpos de prova



Fonte: Autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultado da Caracterização do cimento

4.1.1 Resultado do módulo de finura

O resultado obtido para o módulo de finura de 2,96%, portanto ficou dentro dos limites de acordo com a norma NBR 5732, que fixa um limite de $\leq 10\%$.

4.1.2 Resultado do Tempo de pega

Foi obtido para o início da pega, 2 h 25 min. e para o fim da pega, 3 h 39 min. A norma fixa limite ≥ 1 hora para o tempo de início de pega e ≤ 10 horas para o fim de pega. Os tempos de início e fim da pega estão em acordo com os tempos fixados pela norma.

4.1.3 Resultados das composições químicas

Na Tabela 11, demonstra o resultado do ensaio de espectrometria por FRX. Principais elementos e as suas proporções presentes na amostra, conforme NBR 16697(2018).

Tabela 11 - Composição química do cimento Portland comum CPI-S-40

Material	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	SO ₃ %	K ₂ O %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %
Cimento Portland	0,33	2,52	12,18	0,50	3,69	0,49	74,79	4,77
Limites % (NBR)	$\leq 6,5$	-	-	-	$\leq 4,5$	-	-	-

Fonte: Autor (2020).

Na análise da composição química, prescreve um limite de 4,5% de óxido de enxofre (SO₃) e 6,5 % de óxido de magnésio (MgO).

4.1.4 Resultados da expansividade e das resistências a compressão

Conforme a Tabela 12, os ensaios de expansividade e de resistência a compressão do cimento Portland CPI-S 40.

Tabela 12 - Características físicas e propriedades mecânicas do cimento Portland CPI-S-40

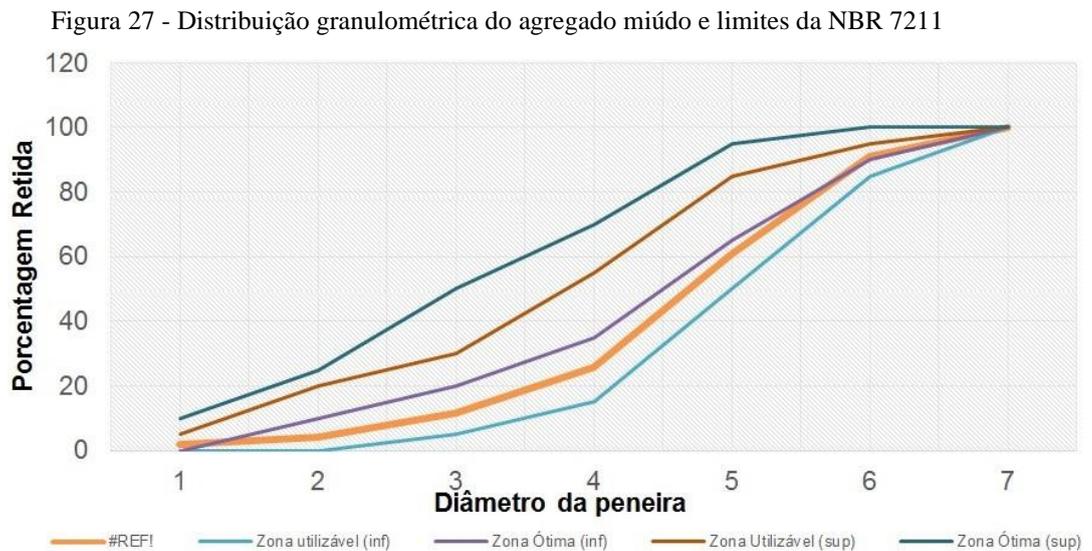
Analises física e mecânica	Resultado	Limites da NBR 16697/2018 (% da massa)
Expansibilidade a quente	5,0 mm	≤ 5 MPa
Resistência à compressão 1 dia	9,9 MPa	-
Resistência à compressão 3 dia	21,5 MPa	≥ 15 MPa
Resistência à compressão 7 dia	30,3 MPa	≥ 25 MPa
Resistência à compressão 28 dia	-	≥ 40 MPa

Fonte: Autor (2020).

4.2 Resultado da Caracterização do agregado miúdo

4.2.1 Resultado do módulo de finura

Os resultados alcançados para o módulo de finura e o diâmetro máximo foram de 2,80 e 4,75 mm respectivamente. De acordo com o módulo de finura a areia utilizada é classificada como areia média que pertence à zona ótima, não apresentando excesso de qualquer tamanho de partícula, produzindo assim uma argamassa mais trabalhável e econômica. Com os resultados obtidos para granulometria do agregado miúdo, foi possível traçar a curva granulométrica ilustrada na Figura 27.



Fonte: Autor (2020).

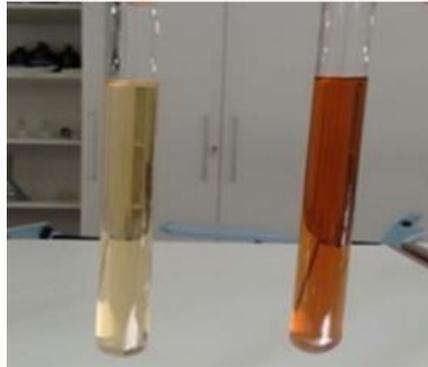
4.2.2 Resultado do teor de material fino que passa através da peneira 75 μ m

Através do ensaio realizado de acordo com a NBR NM 46, valor obtido para o teor de materiais pulverulentos na areia foi 2,01%, o que indica que 97,99% da amostra do agregado miúdo é formada por grãos de areia. A presença de materiais pulverulentos é indesejável na composição do concreto, já que um alto teor diminui a aderência do agregado à argamassa e dificulta a reação de hidratação do cimento com os agregados, prejudicando de forma direta a resistência.

4.2.3 Resultado do teor de impurezas orgânicas

Através do ensaio realizado de acordo com a NBR NM 49 (2001), conclui-se que a areia tem pouca matéria orgânica, pois a coloração foi mais clara que a solução padrão (Figura 28). O teor de argila em torrões obtidos para o agregado miúdo foi igual a 0,35%. Este satisfaz os parâmetros da NM 49 (2001) que estabelece um valor inferior a 1,5%.

Figura 28 - Ensaio de impureza orgânica



Fonte: Autor (2020).

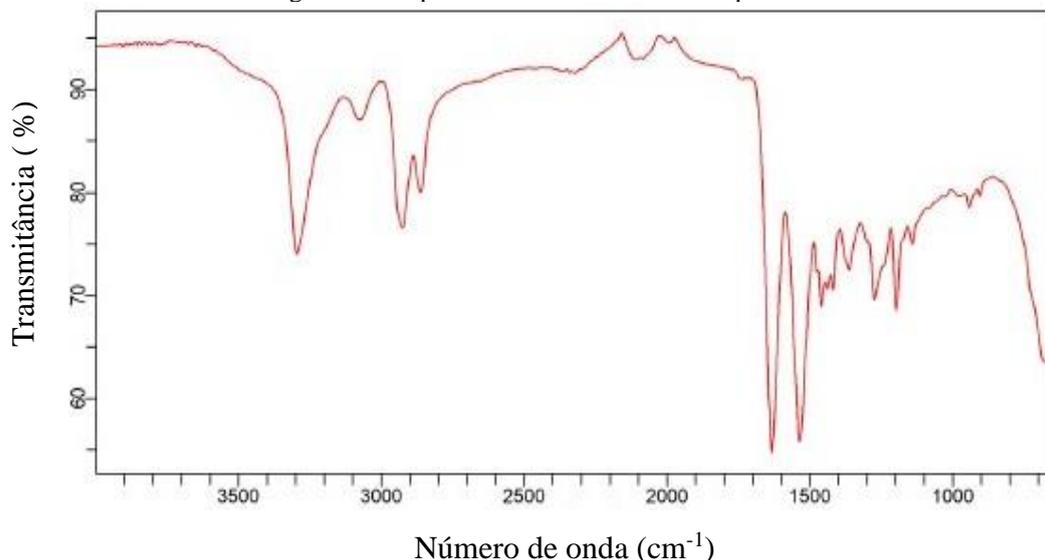
A massa específica real obtida foi de 2600 kg/m³ e massa aparente de 1550 kg/m³, esses valores ficaram dentro das faixas para um agregado normal. A mesma demonstrou um baixo teor de impurezas orgânicas presentes no material ensaiado, atendendo assim, as prescrições da norma NBR NM 49 (ABNT, 2001).

4.3 Resultado da Caracterização do resíduo polimérico

4.3.1 Resultado da análise do FTIR

A Figura 29 mostra espectro de FTIR para o resíduo polimérico, esta análise é baseada na medida de energia absorvida pela vibração de cada uma das ligações químicas existentes na amostra analisada.

Figura 29 - Espectro da análise de FTIR da poliamida 6



Fonte: Autor (2020).

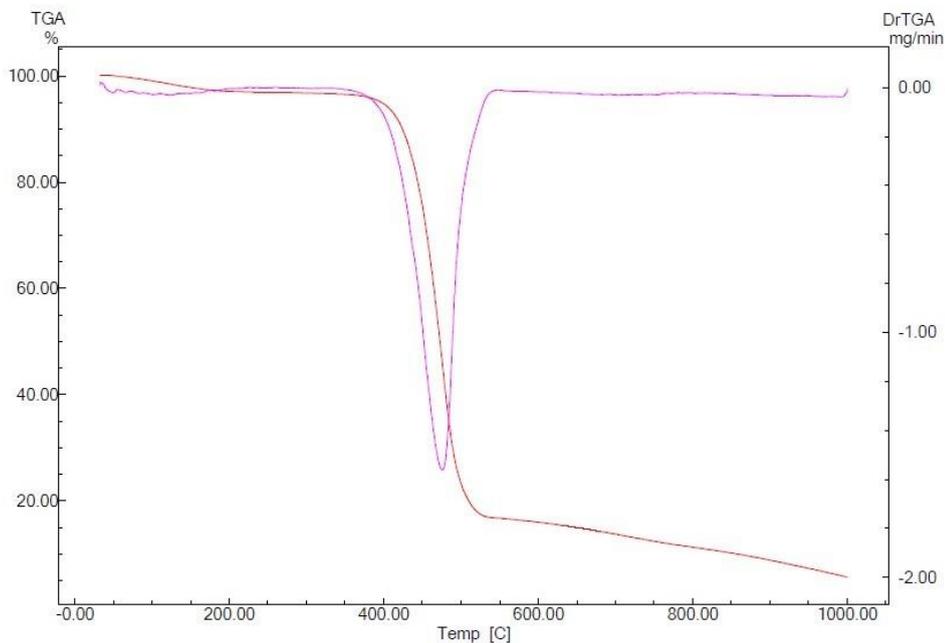
A caracterização por FTIR foi conduzida para verificar alterações nos modos de vibração das ligações moleculares características da poliamida, ou seja, ligações N-H, C-O e C-H. Pode ser observada, na Figura 29, a região entre 3500 e 3300 cm⁻¹, corresponde as

frequências de vibração molecular de estiramento da ligação N-H. As bandas encontradas entre 3000 e 2850 cm^{-1} correspondem às frequências de vibração de estiramento da ligação C-H, como foi encontrado por (OLIVEIRA, 2009). A banda entre 1135 cm^{-1} e 934 cm^{-1} tem sido atribuídas às regiões amorfas e cristalinas. A banda 1135 cm^{-1} provavelmente deve ser atribuída à vibração complexa do grupo amida e cadeia metilênica e/ou combinação de formação (δ) NH e estiramento (ν) O=C-N (EVORA, 2002).

4.3.2 Resultados do Ensaio da Análise de Termogravimetria TG e Derivada de Termogravimetria (DTG)

Na Figura 30, estão demonstradas as curvas de TG e dTG para o resíduo polimérico no qual observa-se que a amostra apresenta estabilidade térmica semelhante de aproximadamente 330°C, e perda de massa relacionada à umidade superficial do material, em seguida, entre as temperaturas de 437,52 a 546,53°C, pode se observar perda de massa ocorrendo pela degradação das cadeias poliméricas, processo de ruptura de ligações primárias devido a energia térmica ou pela presença de substâncias voláteis da própria composição do material até a uma temperatura máxima de decomposição aproximadamente à 696,57°C, onde o material foi todo consumido (BENADUCCI, BRANCIFORTI, 2016).

Figura 30 - Termogramas TG e dTG do resíduo polimérico



Fonte: Autor (2020).

4.4 Análise dos resultados dos métodos de ensaios de dosagem do aditivo superplastificante

4.4.1 Resultados do ensaio de consistência

Para encontrar o teor ótimo do superplastificante MC-PowerFlow 1102, foram ensaiados os teores de 1%, 1,5% e 2% com o cimento CPI-S-40, no ensaio de consistência. Após a retirada do molde, são dados 30 golpes com a manivela num período de 30 segundos, seguidamente é feita a leitura de dois diâmetros com a utilização de um paquímetro. O índice de consistência é definido pela média dos diâmetros em milímetros.

O teor ótimo de superplastificante foi definido com base no resultado do ensaio de consistência. O teor 1,5% de superplastificante gerou uma pasta com boa fluidez e com viscosidade inferior ao teor de 2%. Apesar dos resultados de fluidez e viscosidades da argamassa produzida ficarem próximos, a mistura de 1,5% obteve melhor desempenho.

4.4.2 Resultados da consistência das argamassas

O traço com a substituição de 2,5% de resíduo polimérico obteve a melhor trabalhabilidade entre os traços analisados, considerando que foi gerada uma argamassa com espalhamento médio de 320 mm, enquanto o espalhamento médio para o traço com substituição de 10% foi de 180 mm.

4.5 Caracterização mecânica física e comportamento mecânico dos corpos de prova

Neste item são apresentadas as análises dos resultados dos ensaios de absorção de água e resistência característica à compressão na tração na flexão realizada para os corpos de prova e das placas, com 28 dias de cura.

4.5.1 Caracterização física: absorção de água

Foram destinadas quatro amostras de cada argamassa para a investigação da absorção de água. Suas massas foram aferidas nos estados seco e saturado. As argamassas produzidas variaram no teor do resíduo polimérico, desde a sua ausência total (REF) até a concentração de 10%, e no fator água/cimento 0,40. A Tabela 13 demonstra os resultados de absorção de água das amostras das placas com os teores de 0% (REF), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% aos 28 dias

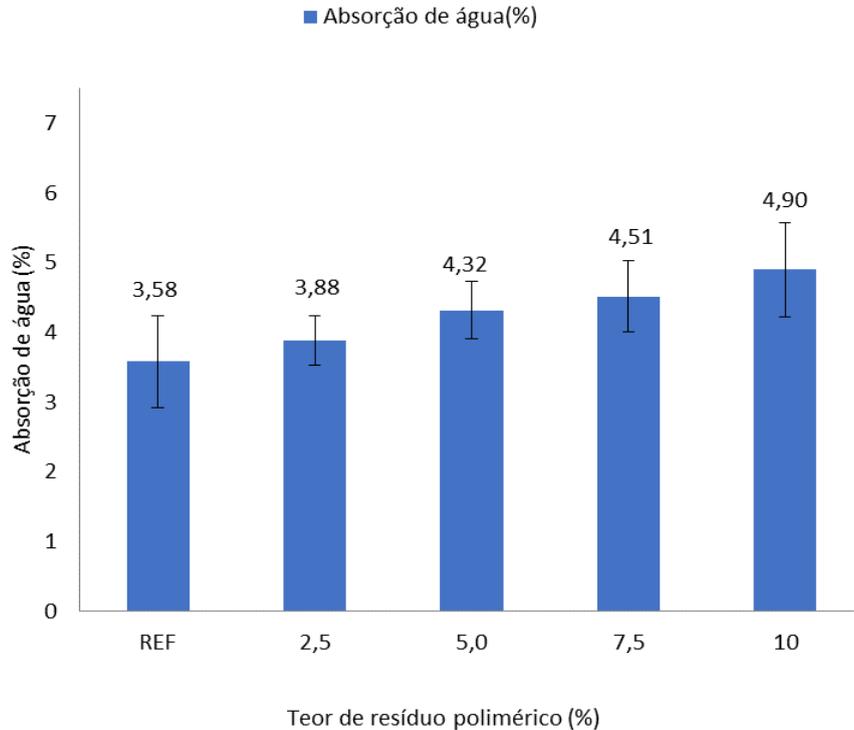
Tabela 13 - Absorção de água aos 28 dias

Teor de resíduo polimérico (%)	Absorção de água (%)	Desvio padrão (%)
REF	3,58	0,66
2,5	3,88	0,36
5	4,32	0,41
7,5	4,51	0,51
10	4,90	0,68

Fonte: Autor (2020).

A Figura 31, ilustra os resultados de absorção de água das amostras das placas no traço de 1:1,5 para a argamassa de referência (REF) e para as argamassas com os teores de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de substituição da areia pelo resíduo polimérico.

Figura 31 - Absorção de água das argamassas: 0%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10%



Fonte: Autor (2020).

Observa-se que a incorporação de resíduo polimérico provocou o aumento da absorção de água nas argamassas em todos os traços com os teores propostos. Para a substituição de 2,5% de agregado por resíduo polimérico, nota-se um aumento cerca de 8% da absorção em relação a argamassa de referência. Nas substituições de 5%, 7,5% e 10% houve um aumento de 21%, 26% e 37%. Este evento demonstra que as amostras das placas apresentam maiores índices de vazios e massas específicas menores, gerando um aumento da porosidade da argamassa e, por conseguinte, contribuindo com o aumento da absorção de água.

4.5.2 Caracterização física: densidade aparente

A Tabela 14 demonstra os resultados da densidade das amostras das placas com os teores de 0% (REF), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% aos 28 dias.

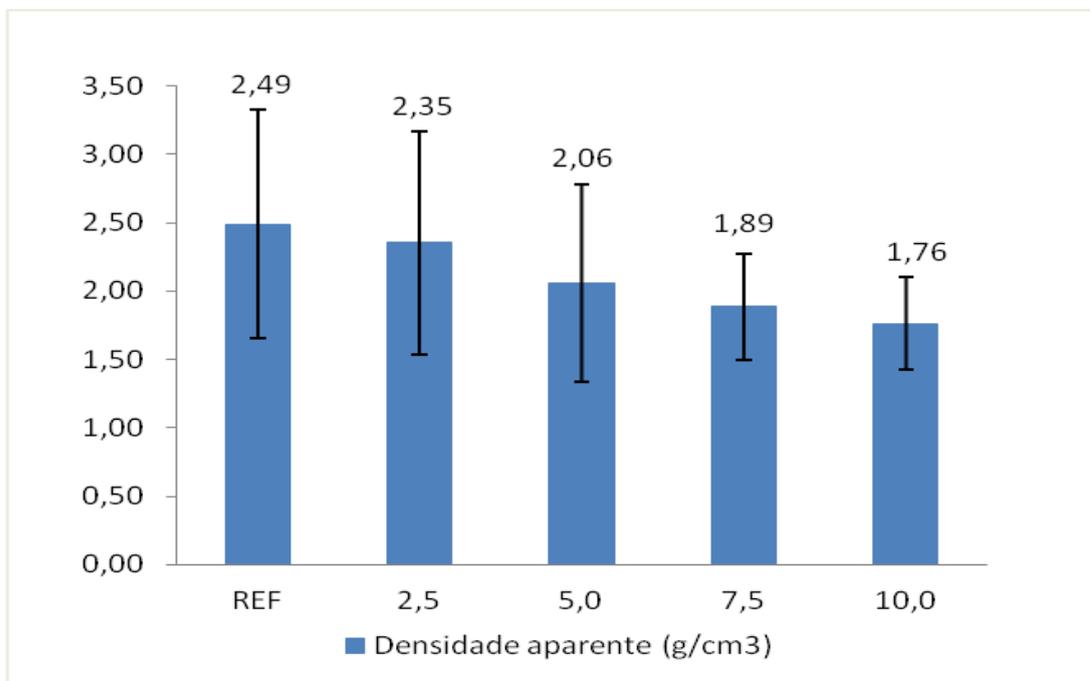
Tabela 14 - Densidade aparente das amostras

Teor de adições	Densidade aparente	Desvio padrão
(%)	(g/cm ³)	(%)
REF	2,49	0,83
2,5	2,35	0,81
5	2,06	0,72
7,5	1,89	0,39
10	1,76	0,34

Fonte: Autor (2020).

Na Figura 32 é demonstrado os valores médios da densidade aparente das argamassas de referência e a das argamassas com os teores de substituição do resíduo polimérico.

Figura 32 - Valores médios da densidade aparente



Fonte: Autor (2020).

Observa-se que a influência da adição do resíduo na diminuição do peso da placa, pois quando maior a quantidade de resíduo adicionado a argamassa, menor o valor da densidade aparente. Essa redução foi de 6%, 17%, 24% e 29% para as substituições de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% respectivamente.

4.5.3 Caracterização mecânica: Resistência a compressão axial

Na Tabela 15, estão demonstrados os valores médios de compressão axial ensaiados para os corpos de prova das argamassas de referência e das com os dos teores de adições para 28 dias.

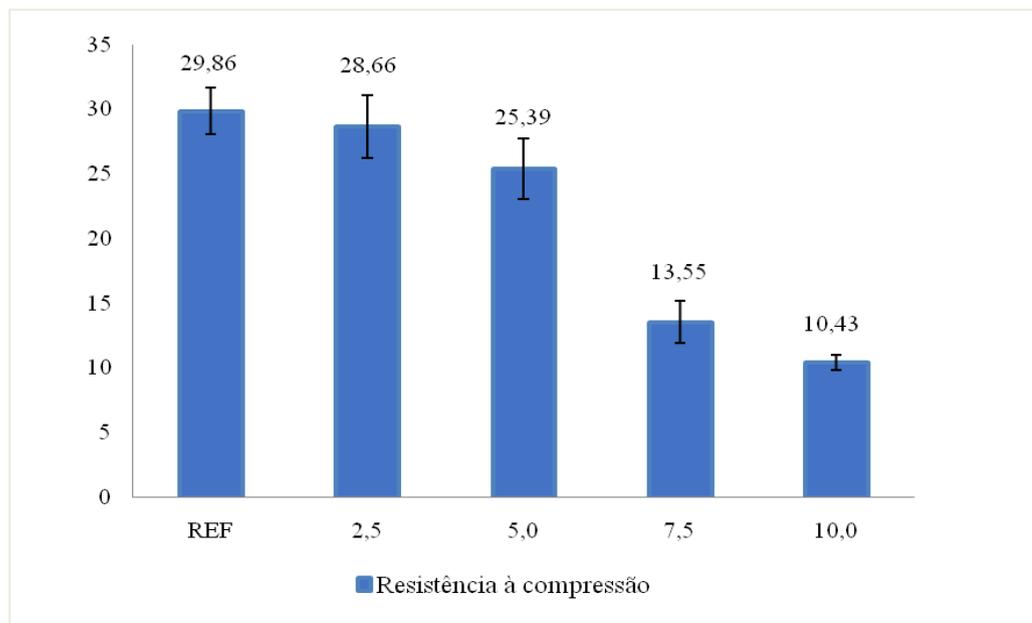
Tabela 15 - Valores resultantes do ensaio de compressão axial (MPa)

Teor de resíduo polimérico (%)	0	2,5	5	7,5	10
Média -Tensão máx (MPa) δ_{max}	29,86	28,66	25,39	13,55	10,43
Desvio padrão c.v %	1,77	2,44	2,37	1,63	0,59

Fonte: Autor (2020).

A Figura 33 ilustra as curvas da resistência característica à compressão das argamassas de referência (REF) e das com os teores de adição de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%.

Figura 33 - Resistência característica à compressão das argamassas de referência (REF) e das argamassas com os teores de adição em %



Fonte: Autor (2020).

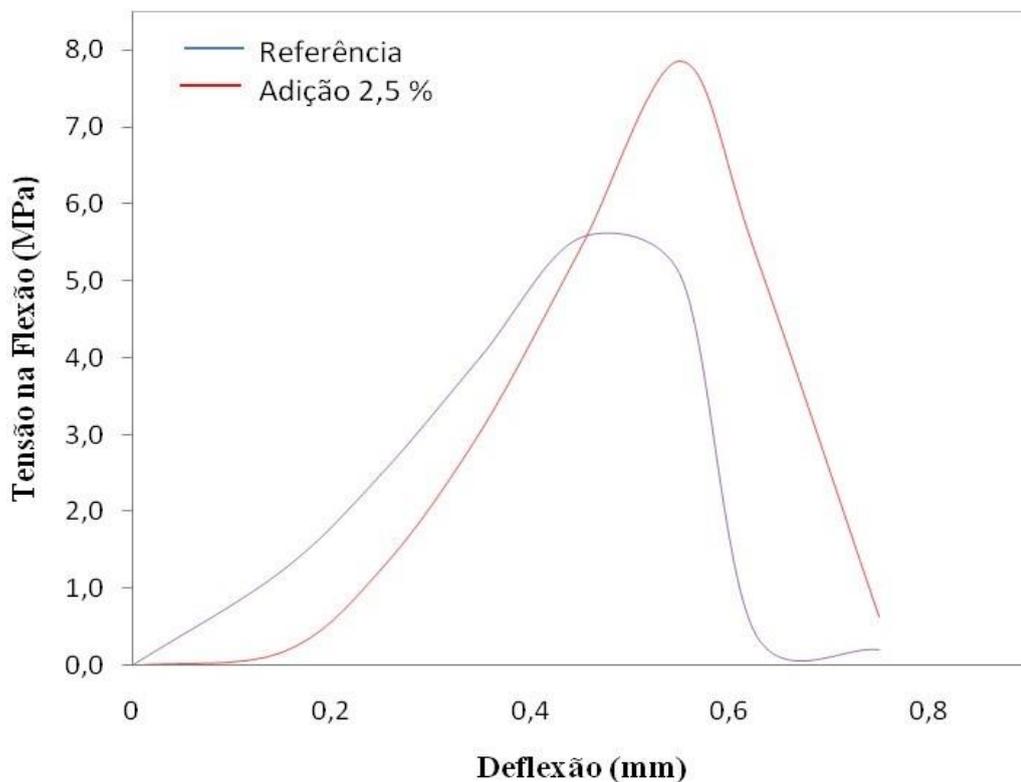
De acordo com os resultados ilustrados na Figura 35, observa-se que a substituição do agregado miúdo pelo resíduo polimérico promoveu a redução da resistência quando comparado à argamassa de referência. O melhor resultado foi observado para o teor de substituição do agregado miúdo por 2,5% do resíduo polimérico, quando a argamassa apresentou um comportamento similar ao concreto de referência. Para os teores de 5,0% 7,5% e 10% de resíduo polimérico, verificou-se uma redução da resistência, quando comparado ao concreto de referência, sendo a menor resistência média para a substituição de 10% do resíduo

polimérico com 10,43 MPa. O melhor desempenho para a argamassa com 2,5% de resíduo polimérico pode ser evidenciado pelo arranjo dos grãos adicionados na matriz, devido a quantidade de índices de vazios associados a natureza higroscópica. (YANG e JIANG, 2003).

4.5.4 Resistência à flexão em quatro pontos

A Figura 34 apresenta curvas típicas do ensaio de flexão da argamassa sem adição de resíduo polimérico e da argamassa com adição de 2,5% de resíduo aos 28 dias de cura.

Figura 34 - Resistência à tração na flexão dos corpos de prova das placas



Fonte: Autor (2020).

Observando-se os resultados ilustrados na Figura 35, a argamassa de referência obteve um valor de 5,56 MPa, com deformação próxima de 0,6 mm e ao adicionar à argamassa o resíduo polimérico o valor da resistência passou para 7,85 MPa e o comportamento de deformação foi próximo à 0,78 mm, denotando uma maior absorção de energia que caracteriza maior tenacidade quando comparado à argamassa de referência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nos ensaios descritos nesta pesquisa, algumas conclusões podem ser observadas:

- **Quanto a Resistência a compressão axial**

Os valores de resultantes do ensaio de compressão apresentaram elevada variação em virtude dos teores de dosagem, a amostra com o teor de 10% em substituição da areia pelo resíduo polimérico foi de aproximadamente 65% abaixo do traço de referência que apresentou 29,89 MPa aos 28 dias de cura. Para a tração com substituição de 2,5% de resíduo polimérico, a resistência a compressão foi de 28,66 MPa aos 28 dias de cura, ficando com um valor próximo ao do traço de referência, demonstrando que a adição do resíduo polimérico em teores maiores podem interferir na resistência a compressão. É possível afirmar que os coeficientes de variação das amostras ensaiadas cv% estão abaixo de 6%, classificando os corpos de prova aceitáveis conforme prescreve a NBR 5739.

- **Quanto à Resistência à tração na flexão**

O ensaio de resistência a flexão evidenciou que com a adição de 2,5% do resíduo polimérico à argamassa o resultado de resistência foi maior comparado ao resultado da argamassa de referência, obtendo 7,85 MPa com uma deformação atingindo cerca de 0,78 mm.

A adição do resíduo polimérico interfere na resistência a compressão axial e à resistência à flexão, evidenciado com a incorporação nos teores gradativos à matriz, podendo ser explicado pelo tamanho das partículas do resíduo e sua natureza higroscópica, que aumenta os índices de vazios e porosidade da argamassa.

- **Quanto à absorção de água e densidade aparente**

Devido à natureza de suas ligações secundárias, as poliamidas são materiais higroscópicos e o teor de umidade absorvido pelo material afeta significativamente as propriedades mecânicas. A absorção de água e a densidade aparente das argamassas com 5%, 7,5% e 10% apresentaram resultados que demonstram a interferência da substituição do resíduo de polímero influenciando na redução da resistência das argamassas quando os teores vão aumentando.

A absorção de água tem interferência direta com a resistência e durabilidade das argamassas estudadas.

Pode ser observada e a influência da adição do resíduo na diminuição do peso da placa,

pois quando maior a quantidade de resíduo adicionado à argamassa menor o valor da densidade aparente.

O emprego de resíduos poliméricos de poliamida à formulações de argamassa é tecnicamente viável. Porém após 5% de substituição, desencadeou uma queda significativa nas características mecânicas referentes à resistência e à absorção de água. E em virtude dos dados obtidos, a porcentagem para emprego desse resíduo polimérico é recomendada é a de 2,5%.

O resíduo polimérico utilizado apresenta necessidade de estudos mais aprofundados para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado, análises microestruturais das argamassas a fim de obter resultados melhores além dos obtidos nesta pesquisa.

A conclusão deste trabalho demonstrou que a utilização do resíduo polimérico como substituição ao agregado miúdo na produção de argamassa pode ser uma alternativa em resposta com a destinação final de resíduos aos aterros e lixões onde ficam depositados inadequadamente, contribuir com a produção científica voltada para pesquisas de materiais alternativos inovadores com a aplicação dos recursos regionais, bem como colaborar com desenvolvimento sustentável do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 12826: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, p.4-8, 2018.

_____. NBR 5738: Modelagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 5739: Ensaio de compressão cp cilíndrico. Rio de Janeiro, p. 13, 2007.

_____. NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

AFINKO - Soluções em Polímeros. **Plásticos mais consumidos em 2017**. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br>>. Acesso em 02 de agosto de 2019.

AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL DO JAPÃO (JICA) & REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Estudo para o Desenvolvimento de uma Solução Integrada relativa à Gestão de Resíduos industriais no Pólo Industrial de Manaus: workshop sobre a estrutura do plano diretor para a gestão de Resíduos industriais do Polo industrial de Manaus. Manaus, Kokusai kogyo co. ltd. ex Corporation, 2009.

ALMEIDA, G. M. Utilização de escória produzida em alto-forno a carvão vegetal como agregado graúdo e miúdo para concreto. Dissertação - Universidade Federal do Pará, 2014.

AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. “The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals”. **Progress in Energy and Combustion Science**, n. 36, p. 103-129, 2010.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, 2001.

ARAÚJO, A. E. F. Fabricação e caracterização de um compósito polimérico a base de endocarpo do coco seco como carga e poliamida 6 como matriz. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

ARAÚJO, R. G. et al. Análise das propriedades micro e macroscópicas de blendas de poliamida 4, 6/poliamida6, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). Perfil 2016. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio der Janeiro, 2001.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia sanitária e ambiental**, p. 65-72, 2006.

BARROS, Regina Mambeli. Tratamento de resíduos sólidos: Gestão, uso e sustentabilidade. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2013.

BENCHIMOL, S. Estrutura Geo-social e Econômica da Amazônia. Edições do Governo do Estado do Amazonas, v.1, 2. ed, p. 263, 1966.

BOMEDIANO, Karen Sorgi; GOMES, Carlos Eduardo Marmorato; FONTANINI, Patrícia Stella Pucharelli. Propriedades da argamassa modificada com polímeros redispersíveis de etileno-acetato de vinila (EVA). **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 419-429, 2020.

BRAVO, S. R. Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim. Dissertação - Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2014.

BRYDSON, R. et al. Informações químicas da estrutura próxima à borda da perda de energia do elétron. Efeitos do furo central nas bordas K do berílio e do boro na rodizita. **The Journal of Physical Chemistry**, v. 92, n. 4, p. 962-966, 1988.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. Rio de Janeiro, 9. ed, 2016.

CALMON, J. L. Concreto Reforçado Com Fibras Poliméricas Submetido a Temperaturas Elevadas. Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

CASTELAR, A.; SICSU, J. (Orgs). Sociedade e Economia: estratégias de crescimento e desenvolvimento. Brasília, 2009. Disponível em:<https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/Livro_SociedadeeEconomia> Acesso em 11 de outubro de 2019.

CESTARI, Danniell de Jesus et al. O efeito da adição do copolímero vinil veova em argamassas de revestimento. 2001.

CHEMSYSTEMS, P. E. R. P. Program. Propylene Oxide; Nexant. Inc.: San Francisco, CA, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). Review 2015. 2015.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Agenda 21 - Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. Disponível em:<<http://bd.camara.gov.br.>>. Acesso em 13 de setembro de 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 01: Diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília, 1986.

_____. Resolução nº 237: Diretrizes para Licenciamento Ambiental. Brasília, 1997.

_____. Resolução nº 275: Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília, 2001.

_____. Resolução nº 313: Inventário nacional de resíduos sólidos industriais. Brasília. 2002.

_____. Resolução nº 316: Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, 2002.

CORDEBELLO, F. S. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Polímeros do futuro: tendências e oportunidades. ABPol. São Paulo. v.12, p.e4-e25. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000400003>. Acesso em: 22 de agosto de 2019.

CORRÊA, L. C. Alternativa para o Plástico: Reciclagem Energética. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia/RBGE. Minas Gerais. ISSN 2237-1664, pp. 6: 49-60. Disponível em: <<http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia>>. Acesso em 22 de agosto de 2019.

CORREA, P. M.; GUIMARÃES, D.; SANTANA, R. M. C. Influência da Concentração de Pet Pós-Consumo nas Propriedades Físicas do Concreto Leve. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 14, n. 3, 2019.

CRAWFORD, R. J. *Plastics Engineering*, Published by Pergamon Press. New York, 1987.

DA SILVA SPINACÉ, M. A.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, v.28, n.1, p.65-77, 2005.

DASGUPTA, S.; HAMMOND, W. B.; GODDARD, W. A. Estruturas cristalinas e propriedades dos polímeros de náilon da teoria. **Journal of the American Chemical Society**, v. 118, n. 49, p. 12291-12301, 1996.

DAVENPORT, R.; RIEPL, J.; SASANO, T. Resinas de Nylon. **Chemical Economics Handbook**, 2001.

DE NEIRA MATTOS, C. AMAZÔNIA. **Revista da Escola Superior de Guerra**, n. 41, p. 313-321, 1969.

DE OLIVEIRA, M. C. B. R. Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil. Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira–Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

DE SOUZA, L. A. S. A gestão ambiental e a solução para os diversos problemas ambientais. Lucas da Arcela Seixas de Souza, 2014.

DIAS, J. M. C. S. et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Embrapa Agroenergia-Documents (INFOTECA-E). Brasília, 2012.

DOMINGOS, E. Utilização de Técnicas Espectroscópicas e Análise Térmica no Monitoramento da Degradação da Poliamida 11 Utilizada em Dutos Flexíveis. Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

DOMININGHAUS, H.; HAIM, J.; HYATT, D. *Plastics for engineers: materials, properties, applications*. **Hanser Publishers**, p. 785, 1993.

EIGENHEE, E. M. Lixo: a limpeza urbana através dos tempos. Porto Alegre: Pallotti, 1 ed., p. 36-48, 2009.

EPA. Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: facts and figures for 2010. **United States Environmental Protection Agency**, Washington, D.C., 2011a.

EPA. Recycling. 2011b. Disponível em <www.epa.gov/wastes/conservation/recycle.htm> Acesso em 27 de setembro de 2019.

ESTATUTO DAS CIDADES. Lei 10.257. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2001. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis2001/110257.htm> Acesso em: 23 out. 2018.

EVORA, M. C. et al. Comparação de técnicas FTIR de transmissão, reflexão e fotoacústica na análise de poliamida-6, reciclada e irradiada. **Polímeros**, v. 12, n. 1, p. 60-68, 2002.

FERNANDES, A.L. Oferta e demanda de agregados para a construção civil no município de São Carlos-SP. Dissertação - Centro Universitário de Araraquara, 2007.

FRANÇA, S. B. I. Meio ambiente e sustentabilidade. **Revista Jus Navigandi**, 2018. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/68390/meio-ambiente-e-sustentabilidade>>. Acesso em: 20 de agosto. de 2019.

FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-UFPE. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pernambuco, 2013. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/estudosepublicacoes/publicacoes/publicacoesabetre/UFPEFADETecnologiasRSU2013.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503- 1510, 2012.

GUALANO, B.; TINUCCI, T. Sedentarismo, exercício físico e doenças crônicas. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 25, p. 37-43, 2011.

HADJUK, E. F. Nylon fibers. **Chemical economics handbook**, 2002.

HARADA, J.; WIEBECK, H. Plásticos de Engenharia-Tecnologia e Aplicações. São Paulo, SP: Ed. Artliber Ltda, 2005.

HERMES, M. E. O suficiente para uma vida: Wallace Carothers, inventor do náilon. **Chemical Heritage Foundation**, 1996.

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastics recycling challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. **Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2115-2126, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica 2000. Rio de Janeiro, 2002.

_____. Indicadores Sociais Municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Estudos e Pesquisas: informação demográfica e socioeconômica. Rio de Janeiro, n. 28, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem estar humano. Brasília, v. 7, 2010.

_____. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

_____. Pesquisa sobre o pagamento por serviços ambientais urbanos pra gestão de resíduos sólidos. Brasília, 2010.

KOHAN, M. I. Nylon plastics. **Journal of Polymer Science part C: Polymer Letters**, 1973.

LIMA, E. A.; MACHADO-FILHO, H. O.; MELO, J. I. M. Aquatic angiosperms in the Environmental Protection Area (EPA) of Cariri, Paraíba state, Brazil. **Rodriguésia**, v. 64, n. 4, p. 667-683, 2013.

LIMA, J. C.; VALLE, M. I. M. Espaços da globalização: Manaus e as fábricas na Amazônia. **Contemporânea**, v.3, n. 1, p 73-88, 2013.

LIMA, T. O.; et al. A efetividade dos Sistemas de Gestão Ambiental como fator competitivo: Estudo de caso de empresas do Polo Industrial de Manaus. **Amazon Business Research**, v. 2, p. 154-174, 2018.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24-51, 2018.

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 45, n. 4, p. 753-785, 2015.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, v. 16, n. 11/12, 2013.

MEDEIROS, C. Globalização e a inserção internacional diferenciada da Ásia e da América Latina. In: TAVARES, M. C. e FIORI, J. L. Poder e dinheiro: uma economia política da globalização. Petrópolis: Vozes, p. 279 – 346, 2012.

MEIRELES V. Gestão e tratamento dos resíduos sólidos plásticos produzidos pelo Polo Industrial de Manaus: tecnologias e sustentabilidade. Dissertação - Universidade Federal do Amazonas, 2016.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte et al. Avaliação da absorção de água e índice de vazios de argamassas incorporadas com politereftalato de etileno. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 26877-26887, 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Lei no 12.305/2010). Bras Diário Of Da União 2011:109.

MONTEIRO, D. É.; DA FONSECA, D. R. Extrativismo e agricultura: uma comparação entre a produção da borracha e do café entre os anos de 1850 e 1930. **Veredas Amazônicas**, v. 2, n. 2, 2012.

MURARI, A. R.; et al. Estudo da dosagem de concreto reforçado com fibras de poliamida e polietileno para utilização em paredes de concreto, p. 1-388–416.

NETO, R. N.; BÓGUS, M., C. Saúde nos aglomerados urbanos: uma visão integrada. Série Técnica Projeto de Desenvolvimento de Sistemas e Serviços de Saúde. Vol 3. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2003. Disponível em: [www.saude.mt.gov.br>arquivo](http://www.saude.mt.gov.br/arquivo). Acesso em 20 de agosto de 2019.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. (Tradução: Salvador Giammusso). 2ª. edição. São Paulo: PINI, 2013.

OLIVEIRA, F. Mudanças na divisão inter-regional do trabalho no Brasil- economia da dependência imperfeita. Edições. 2.ed. Rio de Janeiro: Edições Graal, Rio de Janeiro, 197. p. 72.

OLIVEIRA, F. R. Tingimento da poliamida 6.6 com corantes ácidos, reactivos e directos após modificação superficial com descarga plasmática de Dupla Barreira Dielétrica (DBD). Tese – Universidade do Minho, 2009.

PAINTER, P. C.; COLEMAN, M. M. Essentials of polímero ciência e engenharia. Destech Publications, Inc, 2008

PALMER, R. J. Polyamides, Plastics. In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* 3. John Wiley & Sons, 2001.

PEREIRA, K. O. A.; PEREIRA, K. M. H.; CALGARO, C. (org.). Consumo na Sociedade Moderna: Consequências Jurídicas e Ambientais. Rio Grande do Sul: Educs, 2016. Disponível em: <https://www.ucs.br/mídia/arquivos/rc_meio_ambiente_ebook>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Alagoas: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005.

PLASTIVIDA. “Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP)”. 2010. Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br>> Acesso em: 08 de setembro de 2019.

PLASTIVIDA. Reciclagem. 2009. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/Reciclagem_Oque-e.aspx> Acesso em 09 de setembro de 2019.

POLÍTICA NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. Lei 9795. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.

POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Lei 11.445. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm> Acesso em 16 de setembro de 2012.

PÓLO INDUSTRIAL DE MANAUS (PIM). Portogente, 2016. Disponível em: <<https://portogente.com.br/portopedia/80450-polo-industrial-de-manaus-pim/>>. Acesso em 20 de junho de 2020.

PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Tratamento de Resíduos sólidos, 2013. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com>>. Acesso em 26 de julho de 2018.

RABELLO, M. Aditivção de polímeros. Artliber, 2000.

RADICI, N. Polyamides, Properties and Resistance to Chemicals Agents, 2001.

REY, M.; MEDINA, K. Zona Franca de Manaus: análise dos 50 anos de atuação estatal no âmbito da Suframa em busca da promoção do desenvolvimento da Amazônia. 2019.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Resíduos sólidos: problema ou oportunidade? **Interciência**. Rio de Janeiro, 2009.

RIVAS A.; MOTA J.; MACHADO J.; Instrumentos econômicos para proteção da Amazônia: A experiência do Pólo Industrial de Manaus. 1a Ed. Curitiba, 2009.

RODRIGUES, L. F. Fundamentos da Economia. Instituto Federal Minas Gerais, Campus Ouro Preto. Cuiabá, Mato Grosso do Sul, 2012. Disponível em: <

<https://www.ifmg.edu.br/ceadop3/apostilas/fundamentos-de-economia/view>>. Acesso em 19 de junho de 2020.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2008.

SANTOS, A. G.; FERRARI, A. K. Influência do resíduo de PVC como agregado no concreto para peças de pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, v.19, n.3, p. 39-51, 2018.

SANTOS, A. S. F, AGNELLI, J. A. M., MANRICH, S. “Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas”. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004.

Santos, A.C.D. Investigação do efeito da incorporação de resíduos de PET em compósitos cimentícios. Dissertação - Universidade Federal de São João Del-Rei, 2012.

SANTOS, G. D. S. Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros. Dissertação - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SILVA, J. C.; et al. Reciclagem energética: uma solução inovadora para o plástico não reciclável. *E-xact. UniBH. Belo Horizonte*. v.4, n. 2, p. 87-96, 2011. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/346/179>>. Acesso em 22 de agosto de 2019.

SILVA, V. A.; et al. Análise do comportamento de estruturas de concreto com fibra de polipropileno sob flexão. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 12, n. 2, p. 23-29, 2019.

SIQUEIRA, M. M.; MORAIS, M. S. M. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. **Ciência e Saúde**, v. 14, n. 6, p.2115- 2122, 2009.

SOARES, P. V. Gestão de Resíduos: a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Responsabilidade de Todos. Conteudo Juridico, Brasília, 2020. Disponível: <https://conteudojuridico.com.br/consulta/Artigos/32643/gestao-de-residuos-apoliticanacional-de-residuos-solidos-e-a-responsabilidade-de-todos>. Acesso em: 28 de agosto 2020.

SOUZA, Márcio. História da Amazônia. Manaus: Valer, 2009.

SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M.A. “A tecnologia da reciclagem de polímeros”. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SUFRAMA. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. http://www.suframa.gov.br/zfm_historia.cfm. Acesso em 29 de outubro de 2019.

SUFRAMA. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Inventário anual de resíduos sólidos industriais 2012 - (dados de 2011) - polo industrial de Manaus. Manaus: Grupo de gestão de resíduos industriais. Manaus, 2012.

SUFRAMA. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Inventário anual de resíduos sólidos industriais do polo industrial de Manaus. Manaus: Grupo de gestão de resíduos industriais. Manaus, 2014.

TOSTA, P. S. P. Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, executado no

sistema de logística reversa de acordo com a lei nº 12.305/10. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 14, n. 8, 2019.

TZIKA, P. A.; BOYCE, M. C.; PARKS, D. M. Micromecânica de deformação em poliamidas endurecidas por partículas. **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, v. 48, n. 9, 1893-1929, 2000.

ÜNAL, H. B.; et al. Sulama suyu dağıtımına çiftçi tepkileri: Menemen Sol Sahil sulama sistemi örneği. **Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi**, v. 41, n. 3, p. 165- 175, 2004.

WEI, E. P.; KONTOS, H. A.; BECKMAN, J. S. Mechanisms of cerebral vasodilation by superoxide, hydrogen peroxide, and peroxynitrite. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 271, n. 3, p. H1262-H1266, 1996.

YANG, J.; JIANG, G. Estudo experimental das propriedades dos materiais permeáveis do pavimento de concreto. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 3, p. 381-386, 2003.