

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

IVANA HELENA DE LA-ROCQUE SOARES

ANÁLISE DO USO DE RESÍDUO POLIMÉRICO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA PARA PLACA
CIMENTÍCIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal do Amazonas -
UFAM, como parte dos requisitos para
obtenção do grau Mestre em Engenharia
Civil, área de concentração Materiais e
Componentes de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

MANAUS
2016

IVANA HELENA DE LA-ROCQUE SOARES

ANÁLISE DO USO DE RESÍDUO POLIMÉRICO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA PARA PLACA
CIMENTÍCIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal do Amazonas -
UFAM, como parte dos requisitos para
obtenção do grau Mestre em Engenharia
Civil, área de concentração Materiais e
Componentes de Construção.

Aprovada em 31 de maio de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof^a. Dr^a. Valdete Santos de Araújo, Membro externo
Universidade Estadual do Amazonas

Prof^a. Dr^a. Ângela Mari dos Santos Costella, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho, Membro
Universidade Federal do Amazonas

MANAUS
2016

Ficha Catalográfica
Catalogação na fonte pela Biblioteca Central da
Universidade Federal do Amazonas

S676a Soares, Ivana Helena de La-Rocque
Análise do uso de resíduo polimérico em substituição
parcial ao agregado miúdo na fabricação de argamassa para
placa cimentícia
/ Ivana Helena de La-Rocque Soares.
2016 76 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Vasconcelos, Raimundo Pereira de
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –
Universidade Federal do Amazonas.

1. Argamassa. 2. Placa cimentícia. 3. Resíduo de polímero
PEBD. 4. Compósito.
I. de, Vasconcelos, Raimundo Pereira II. Universidade Federal
do Amazonas III. Título

AGRADECIMENTOS

A Deus pai, filho e Espírito Santo, por estarem conduzindo minha vida e segurando minha mão.

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que agora será minha casa e meu suporte nessa nova carreira de docente a qual abracei de coração.

A família de La-Rocque, Edylene, Jacqueline, Nazaré, Larissa e Priscila, pois estiveram sempre presentes apesar da distância.

Ao meu orientador Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos sempre muito amável, paciente e exigente me incentivando a buscar o melhor resultado.

Ao professor Dr. João de Almeida Melo Filho pela colaboração e pelos conselhos.

A professora Dr^a. Virgínia Mansanares Giacón por me fazer acreditar que era possível esse resultado.

Aos amigos que se tornaram irmãos aqui em Manaus e estiveram sempre em oração comigo.

Aos colegas da turma e em especial ao Lourival Goés, por ter me ofertado a oportunidade de iniciar na docência no ensino superior.

Aos ex-alunos Luana Oliveira e Fernando Flausino que contribuíram literalmente para conclusão dessa pesquisa.

As minhas amigas de sempre Regina Helena, Alita Mussa, Yara Lins e Denize Gutierrez, Anizia Aguiar e em especial a Yuki Almeida por ter suprido minhas mãos quando essas falharam.

Ao colega Adelson Ferreira por dar a oportunidade de escrever essa pesquisa.

Aos Técnicos Nilson Braz e Jorge Santiago pela ajuda nas atividades de laboratório sempre dando oportunidade de mais aprendizado.

A FAPEAM pelo auxílio da bolsa para realização dessa pesquisa.

RESUMO

O grande avanço da construção civil nos últimos anos beneficiou os usuários das edificações pela diversidade em tecnologias de sistemas construtivos. Na cidade de Manaus a inserção das construtoras que vieram de outras regiões e fizeram parcerias locais, trouxe novas tecnologias construtivas. No entanto a localização de Manaus é um fator que dificulta um acesso maior às inovações em virtude do frete, mão de obra não especializada, tributação e outros fatores que oneram o produto final. Surge então a necessidade da utilização de materiais produzidos na própria região que já vem sendo destaque em algumas pesquisas com as fibras e sementes. Com a ideia do desenvolvimento sustentável, outros materiais também têm merecido destaque como os resíduos de polímeros de polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP). Esses materiais em substituição parcial ou total ao agregado na produção de produtos a base cimentícia contribuem para redução dos materiais não renováveis consumidos pela construção civil. A proposta dessa pesquisa teve como objetivo geral de analisar o uso de resíduo de polímero PEBD coletados no distrito industrial de Manaus, utilizando os teores de substituição de 50, 70 e 100% ao agregado miúdo e ainda o teor de 15% de substituição de cimento por metacaulinita na produção de uma argamassa para placas cimentícias. Para atingir o objetivo geral, foram realizados os ensaios de termogravimetria e picnômetro na caracterização do resíduo de PEBD e ensaios físicos, mecânicos e morfológicos na caracterização dos compósitos. Os resultados apresentados de resistência à compressão e tração na flexão demonstraram que o teor de substituição TP50 possui propriedades mecânicas promissoras na produção de placa cimentícia quando comparados aos parâmetros da NBR 15498 (ABNT, 2014) e a estudos anteriores. Para o ensaio do módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*, o TP50 apresentou resultados de acordo com a produção de uma argamassa comum. A conclusão da pesquisa demonstrou que o uso de resíduo de polímero PEBD em substituição ao agregado miúdo na produção de placa cimentícia tem potencial e favorece a redução no consumo de fontes naturais não renováveis.

Palavras-chave: Argamassa. Placa cimentícia. Resíduo de polímero PEBD. Compósito

ABSTRACT

The breakthrough construction in recent years has benefited the users of the buildings for diversity in building systems technologies. In the city of Manaus the inclusion of builders who came from other regions and made local partnerships, brought new building technologies. However the location of Manaus is a factor that hinders greater access to innovations because of shipping, unskilled labor, taxation and other factors contribute to the final product. Then comes the need to use materials produced in the region that has already been featured in some research with the fibers and seeds. With the idea of sustainable development, other materials have also been highlighted as a waste of low density polyethylene polymer (LDPE) and polypropylene (PP). These materials partial or total replacement to the aggregate in the production of cementitious products to contribute to the reduction of non-renewable materials used for construction. The purpose of this research aimed to analyze the use of LDPE polymer residue collected in the industrial district of Manaus, using replacement terores 50, 70 and 100% of the fine aggregate and even the 15% content of cement replacement by metakaolin in producing a mortar cement slabs. To achieve the overall objective, the thermogravimetry and pycnometer tests for the characterization of waste LDPE and physical, mechanical and morphological studies on the characterization of composites were performed. The results presented in resistance to compression and tension in flexion demonstrated that substitution TP50 content has promising mechanical properties in the cement board production when compared to the parameters of NBR 15498 (ABNT, 2014) and previous studies. For testing the modulus of elasticity and Poisson's ratio, the TP50 results presented according to the production of a mortar joint. The conclusion of the research showed that the use of LDPE polymer residue replacing fine aggregate in the production of cement board has potential and favors the reduction in consumption of non-renewable natural sources.

Keywords: Mortar. Cement board. LDPE Polymer Residue. Composito

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema LSF associado à placa cimentícia.....	19
Figura 2 - Placas cimentícias.....	20
Figura 3 - Fibras vegetais de diferentes formas: (a) fios, (b) grampo e (c) polpa.....	23
Figura 4 - Simbologia indicativa de reciclagem.....	30
Figura 5 - Volume percentual de resíduos sólidos.....	30
Figura 6 - Esquema da reação básica de polimerização para formação de polipropileno.....	31
Figura 7 - Esquema da reação básica de polimerização para formação de polietileno.....	32
Figura 8 - Fluxograma da caracterização de materiais.....	36
Figura 9 - Fluxograma dos ensaios realizados.....	37
Figura 10 - Material coletado.....	38
Figura 11 - Tanque de lavagem e separação.....	38
Figura 12 - Flocos do polímero.....	39
Figura 13 - Equipamento de espectroscopia de raio X (EDS).....	40
Figura 14 - Solução padrão e solução de ensaio.....	42
Figura 15 - Material triturado manualmente.....	43
Figura 16 - Equipamento de termogravimetria.....	44
Figura 17 - Mistura do material seco e preparo da argamassa: (a) mistura do material seco e (b) preparo da argamassa.....	47
Figura 18 - Cura úmida dos corpos de prova.....	48
Figura 19 - Moldagem da placa cimentícia - (a) forma metálica e (b) moldagem.....	49
Figura 20 - Cura úmida da placa cimentícia.....	49
Figura 21 - Estereoscópio.....	50
Figura 22 - Saturação dos corpos de prova.....	51
Figura 23 - Imersão dos corpos de prova.....	51
Figura 24 - Prensa hidráulica.....	52
Figura 25 - Placa cimentícia (a) corpos de prova (b).....	53
Figura 26 - Ensaio à flexão em quatro pontos.....	53
Figura 27 - Amostras (a) sem PEBD (b) com PEBD.....	54
Figura 28 - Ensaio do módulo de elasticidade.....	54
Figura 29 - Comparação das soluções.....	56
Figura 30 - Consistência do traço TP50.....	59
Figura 31 - Microscopia ótica do compósito com PEPD (face interna) - ampliação 20x.....	65
Figura 32 - Microscopia ótica do compósito sem PEBD (face interna) – ampliação 20x.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos de resistência à flexão em MPa	21
Tabela 2 - Composição química da metacaulinita	45
Tabela 3 - Consumo de materiais do traço de referência em massa	45
Tabela 4 - Consumo dos materiais em massa	46
Tabela 5 - Massa específica dos materiais	46
Tabela 6 - Propriedades químicas do cimento CPI - S 40.....	55
Tabela 7 - Consistência dos traços com substituição.....	59
Tabela 8 - Resistência à compressão aos 14 e 28 dias para compósitos com PEBD.....	61
Tabela 9 - Resistência à compressão aos 28 dias para compósitos sem PEBD	61
Tabela 10 - Massa seca, saturada e imersa dos compósitos com PEBD.....	63
Tabela 11 - Índice de vazios, absorção de água e massa específica	63
Tabela 12 - Resistência à tração na flexão para as placas cimentícias.....	64
Tabela 13 - Resultado do módulo de elasticidade dos compósitos com e sem PEBD.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia	56
Gráfico 2 - Curva TG e DTG para resíduo de PEBD	56
Gráfico 3 - Curva TG e DTG para PEBD pós-consumo	57
Gráfico 4 - Resistência à compressão dos compósitos aos 28 dias	61
Gráfico 5 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias	63
Gráfico 6 - Módulo de elasticidade dos compósitos	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Centígrados
cm ³	Centímetro cúbico
C ₃ H ₆	Propileno
C ₂ H ₄	Eteno
CaO	Óxido de cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
COPPE	Coordenação de Pós-graduação em Engenharia
CP	Corpo de prova
CP I - S	Cimento Portland Comum com Adição
CRFS	Cimento Reforçado com Fios Sintéticos
DTG	Termogravimetria derivada
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva de raio x
EVA	Copoli (etileno acetato de vinila)
F	Índice de finura
FZEA	Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
FTIR	Espectrometria por transformada de Fourier
GFRC	Glass Fiber Reinforced concrete
GPa	Giga Pascal
g	Gramas
h	Hora
HEC	Hidroexítel Celulose
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
K ₂ O	Óxido de potássio
LABEST	Laboratório de Estrutura de Materiais
LAMAC	Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos
LSF	Light Stell Frame
M	Massa inicial de cimento
m ³	Metro cúbico
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Módulo de finura
mf	Teor de argila
MgO	Óxido de magnésio
Mi	Massa imersa
Mi	Massa inicial
ml	Mililitro
µm	Micrômetro
MO	Microscopia Ótica
MPa	Mega Pascal
Msat	Massa saturada
Ms	Massa seca
mt	Massa total
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

NM	Norma Mercosur
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PE	Poliétileno
PEAD	Poliétileno de Alta Densidade
PEBD	Poliétileno de Baixa Densidade
PET	Poli (terafalato de etileno)
PFF	Perfis Formados a Frio
PMMA	Polimetacrilato de Metila
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVA	Poli (acetato de vinila)
PVC	Poli (cloreto de vinila)
RC	Resíduo de cimento
SiO ₂	Óxido de silício
SO ₃	Óxido de enxofre
TP	Teor de polímero
PVC	Poliétileno de Vinila
TG	Termogravimetria
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
USP	Universidade de São Paulo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
XRD	Difração de Raios X

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Considerações iniciais	14
1.1 Objetivos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	17
2.3 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS E RESÍDUOS EM MATRIZES DE CIMENTO	22
2.4 PLACA CIMENTÍCIA COM MATERIAL POLIMÉRICO	25
2.5 POLÍMEROS – UTILIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.....	28
2.5.1 Utilização	28
2.5.2 Classificação	29
2.5.3 Polipropileno.....	31
2.5.4 Polietileno.....	31
2.6 METACAULINITA	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 – Materiais	37
3.1.1 – Cimento	37
3.1.2 – Água	37
3.1.3 – Areia	37
3.1.4 – Obtenção do resíduo de polímero	37
3.1.5 – Metacaulinita.....	39
3.2 – Métodos	40
3.2.1 – Caracterização do cimento.....	40
3.2.2 – Caracterização da areia	41
3.2.3 Caracterização do polímero	43
3.2.4 Caracterização da metacaulinita	44
3.2.5 - Definição dos traços	45
3.2.6 – Determinação do índice de consistência	46
3.2.7 – Moldagem dos corpos de prova	47
3.2.8 – Moldagem das placas cimentícias com e sem PEBD.....	48
3.2.9 – Análise de microestrutura ótica do compósito	49
3.2.10 – Ensaio de Índice de vazios, absorção e massa específica real	50
3.2.11 – Ensaio de compressão em corpo de prova cilíndrico e flexão em 4 pontos em placa	52

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 – Cimento	55
4.2 - Areia	55
4.3 – Resíduo polimérico	57
4.5 - Consistências das argamassas	59
4.6 - Resistências dos corpos de prova à compressão	60
4.7 – Índice de vazios	62
4.8 - Resistências dos corpos de prova à flexão em quatro pontos.....	63
4.9 – Microestrutura do compósito	64
4.10 – Módulo de elasticidade e coeficiente de <i>Poisson</i>	66
CONCLUSÕES	68
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A construção civil tem demandado atualmente uma grande variedade de novos materiais na execução de obras. Na cidade de Manaus, este setor teve um grande avanço nos últimos anos a partir da chegada das construtoras de outras regiões em parcerias com as construtoras locais. Essa parceria beneficiou o usuário pela diversidade de opções em tecnologia de novos sistemas construtivos, destacando-se o concreto protendido, estruturas pré-moldadas, *light steel frame* e, ainda, uma utilização maior das paredes *dry wall* e das lajes *steel deck*. Essas tecnologias, que tiveram grande avanço a partir da segunda guerra mundial já são praticadas em países da Europa e nos Estados Unidos.

Para a cidade de Manaus, ainda é um grande desafio o acesso à inovação em virtude da sua localização geográfica que onera o produto final em função do frete rodovial ou aéreo, da mão de obra pouco especializada, tributação e outros. Neste cenário, destaca-se a necessidade de se obter produtos com materiais produzidos na própria região. Marques (2009) ressalta que a busca por inovações tecnológicas de cada região pode promover o seu desenvolvimento sustentável quando associada à vocação das potencialidades de cada município.

O conceito de sustentabilidade contempla, além dos materiais aproveitados da própria natureza como as fibras vegetais e sementes, também os materiais reciclados diversos e, entre eles, o polímero de polietileno de baixa densidade (PEBD) utilizado na fabricação de embalagens de alimentos como sacolas, filmes flexíveis e ainda embalagens industriais. Como corolário, surgiu a proposta de produzir um material compósito (argamassa para placa cimentícia) que aproveite os resíduos de PEBD oriundos da coleta seletiva realizada pelas fábricas de reciclagem de Manaus, em substituição à areia.

Outro fator motivador dessa pesquisa é o grande consumo de materiais não renováveis, como a areia, na produção de materiais a base de cimento. Conforme Freitas (2013), a construção civil absorve de 15 a 50% dos recursos extraídos do meio ambiente.

Para Orteni Junior (2007), é necessário o acesso às informações que esclareçam o custo, desempenho estrutural, as propriedades físicas e mecânicas das

inovações a serem estabelecidas. A presente pesquisa, na produção do compósito, realizou ensaios mecânicos de compressão axial e tração na flexão e ensaios de índice de vazios para placa cimentícia.

Os teores de substituição do agregado miúdo por resíduo de polímero foram dosados para 50, 70 e 100% considerando a pesquisa realizada por Santos (2012) que utilizou Poli (tereftalato de etileno) PET em substituição ao quartzo com variação das partículas em 30% de partículas grossas, 50% média e 20% fina e, ainda, aos estudos de Oliveira (2015) que utilizou 100% de substituição de polipropileno PP e PEBD em substituição a areia.

O compósito aqui produzido teve ainda a substituição parcial de 15% do cimento por metacaulim adotando as conclusões de Santos Júnior, Silva e Borja (2012), com o objetivo de reduzir o consumo de cimento, diminuir a porosidade e melhorar a resistência, para os traços de 50, 70 e 100% ensaiados.

1.1 Objetivos

Objetivo geral:

Analisar o uso de resíduo de polímero PEBD em substituição parcial ao agregado miúdo na confecção de argamassa para aplicação em placas cimentícias, levando-se em consideração suas propriedades físicas e mecânicas.

Os objetivos específicos:

Estudar o melhor percentual de resíduo de polímero PEBD, em vários teores de substituição ao agregado miúdo na produção de argamassa e a influência da metacaulinita em substituição ao cimento.

Caracterizar física e mecanicamente os compósitos produzidos com e sem PEBD.

Analisar a interface entre o material polimérico e a matriz cimentícia e o índice de vazios, absorção e massa específica por meio de ensaios morfológicos.

Realizar uma análise comparativa dos resultados da pesquisa com os resultados obtidos no estudo de Oliveira (2015) e com as prescrições da NBR 15498 (ABNT, 2014) que trata dos requisitos e métodos de ensaio para placa de fibrocimento sem amianto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Após a segunda guerra mundial, os países que precisavam se reerguer buscaram alternativas construtivas que possibilitassem construções mais rápidas, dessa forma a Europa e América do Norte avançaram em tecnologias pré-fabricadas que transformaram o processo artesanal da construção em um processo de montagem. Essa mudança no processo foi considerada um grande avanço na construção. Kohler (2010) comenta que a industrialização da construção se consolidou em 1980 com a introdução em massa de novos sistemas construtivos necessários para atender a demanda e reduzir os custos.

A introdução desses sistemas como os pré-fabricados, mecanização e produção em escala, sofreram alguns obstáculos devido à falta de tecnologia nacional e importação de sistemas acarretando a volta ao processo tradicional construtivo.

Nos processos construtivos assim como nos produtivos a construção civil é, entre os setores industrializados, aquele considerado o menos avançado conforme Orteni Junior (2007). Para o mesmo autor, o setor da construção civil é resistente à mudança e dessa forma demanda maior tempo para absorver as inovações tecnológicas dos processos, materiais e métodos construtivos.

A construção civil no mundo vem sendo beneficiada nos últimos anos com os avanços tecnológicos oriundos de pesquisas que desenvolvem sistemas e materiais construtivos alternativos. Esses benefícios trouxeram aos canteiros de obra uma construção menos artesanal, mais limpa e rápida.

Nesse momento, quando surgem as inovações, a preocupação com a questão da sustentabilidade torna-se bastante relevante. Silva (2010, p.7) define desenvolvimento sustentável “como uma forma de desenvolvimento que utiliza o meio ambiente e emprega os recursos naturais sem prejudicar sua utilização pelas gerações futuras”. Sustentabilidade é uma preocupação mundial e está sendo adotada em todos os setores da economia. Assim empresários e pesquisadores devem estar sempre buscando métodos e técnicas construtivas com menor desperdício e favoráveis ao aumento da qualidade e durabilidade.

Cientistas e engenheiros usaram a combinação de vidros, metais, cerâmica e polímeros para produzir uma nova geração de materiais. Esses materiais compósitos

foram criados com o propósito de melhorar as características mecânicas de resistência, rigidez e tenacidade em condições ambientais e altas temperaturas (CALLISTER, 2012).

Os materiais compósitos, assim como nas outras engenharias, foram introduzidos na construção civil como alternativa em substituição a outros materiais convencionais. Surgiram então, as placas cimentícias muito utilizadas atualmente como elementos divisórios e de fechamento em substituição às alvenarias comuns.

O processo construtivo ainda é muito desatualizado e arcaico, de acordo com Pontes (2010), dessa forma, as placas cimentícias tornam-se indispensáveis como método de inovação. O autor comenta que as placas cimentícias agregam valor a obra, otimizam espaço físico, tempo e qualidade de acabamento. Trata-se de uma alternativa na construção seca que permite menos geração de resíduo e menos sobrecarga nas fundações e lajes.

A construção artesanal, o grande consumo de água, a operação lenta nos transportes verticais e horizontais, a baixa produtividade, maior canteiro de obras, maior geração de resíduo e ainda a necessidade de rasgos em paredes para instalações elétricas e hidráulicas, são características de uma construção convencional que podem ser inconvenientes no momento em que se optar por um sistema construtivo (PONTES, 2010).

No Brasil, a taxa de crescimento do setor da construção civil em média de 11,6% no ano de 2010, atingiu seu melhor desempenho dos últimos 24 anos. Essa boa fase é o resultado de um conjunto de fatores como: o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), o Programa Minha Casa Minha Vida, a redução de impostos, o aumento de crédito, a queda na taxa de juros e o aumento de crédito na crise financeira de 2009 com o apoio dos bancos públicos ao setor produtivo. Dos novos produtos que surgiram com o crescimento do setor da construção civil, com utilização em pisos e fachadas, destacam-se as placas cimentícias de acordo com SPECK (2014).

2.2 PLACAS CIMENTÍCIAS

Placa cimentícia de acordo com Loturco (2003) é uma chapa delgada que contém cimento Portland na composição. A principal matéria prima das placas cimentícias é o cimento que, depois de endurecido, torna-se um material frágil apresentando deformação e resistência à tração de baixa capacidade (SPECK, 2014).

As placas cimentícias que surgiram na década de 70 para utilização de paredes sólidas, divisórias e mezaninos, desenvolveram-se no mercado de construção a seco de acordo com Cichinell (2007). Conforme o autor, ainda há uma dificuldade em difundir o conceito *fast construction* o que acarreta um desconhecimento técnico do produto e dificulta sua utilização.

De acordo com Zatt (2010), as placas cimentícias necessitam de estrutura autoportante para sua sustentação, o mais comum é o *Light Steel Framing* (LSF) composto por elementos leves em perfis formados a frio (PFF) que servem para dar a forma e sustentação à edificação, conforme Figura 1.



Figura 1 - Sistema LSF associado à placa cimentícia

Fonte: Pontes (2010)

Dessa composição de um material metálico e um material cimentício (Figura 2 a seguir), nasce um novo sistema construtivo autoportante.



Figura 2 - Placas cimentícias

Fonte: <http://www.aecweb.com.br/catalogo-de-produtos-construcao-civil>

Toda inovação tecnológica, apesar de estar respaldada pelas normas, leva um tempo para se consolidar no mercado em virtude das adaptações de serem inseridas ao processo existente, pois alteram esses processos. Essas adaptações requerem treinamento adequado para a mão de obra, assim como, necessitam os profissionais e consumidores de estabelecer a confiança no produto final.

Para Pontes (2010), as placas cimentícias além de agregar valor à obra pela otimização do espaço físico, tempo e qualidade de acabamento, podem, inclusive, ser aplicadas em áreas internas e externas. Essa eficiência de utilização do espaço físico nos projetos é uma necessidade crescente do mercado da construção civil, em virtude da necessidade de melhor aproveitamento das áreas e liberdade na criação do *layout*.

As placas cimentícias em relação ao sistema de vedação tradicional apresentam vantagens na sua utilização, pois permitem um canteiro de obras mais limpo pela redução do número de atividades, melhor controle com menor desperdício de materiais, prazo e custo reduzido, acabamento que eliminam o revestimento e facilidade para manutenção das instalações elétricas e hidráulicas embutidas (SILVA, 2004).

Essa alternativa é uma grande aliada na redução de desperdícios na indústria da construção civil, pois se trata de construção seca utilizando apenas a mão de obra de montagem dos perfis e das chapas.

As placas cimentícias também conhecidas como chapas cimentícias foram inicialmente fabricadas com uma mistura de cimento Portland reforçadas com fibra de amianto, mas com a descoberta de que estas fibras provocavam danos à saúde, elas

foram substituídas por fibras vegetais tornando-se sustentável, de baixo custo e grande disponibilidade se comparadas às fibras sintéticas (TORGAL E JALALI, 2010).

Em relação aos tipos de fibras sintéticas e fibras de vidro que substituíram o amianto, Cichinell (2007) cita os tipos de placas disponíveis no mercado: Placas de cimento Portland composta por agregados leves reforçados com telas de fibra de vidro nas superfícies; Cimentos com Fios Sintéticos (CRFS), composto por cimento Portland, agregados naturais, celulose e fios sintéticos; *Glass Fiber Reinforced Concrete* (GFRC), composto por cimento Portland, agregados e fibras de vidro.

A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 15498 (ABNT, 2014) que define os requisitos e métodos de ensaios em placas cimentícias sem amianto, divide as placas em duas classes:

Classe A – são placas indicadas na aplicação de ambientes externos pela exposição direta ao sol, chuva, calor e umidade. São classificadas em quatro categorias, conforme sua resistência à tração na flexão.

Classe B – São placas indicadas na aplicação interna e externa não sujeitas à ação direta do sol, chuva e umidade. São classificadas em cinco categorias conforme a resistência à tração na flexão. Essas placas quando utilizadas em ambientes externos, devem receber tratamento contra intempéries.

A Tabela 1, de acordo com a NBR 15498 (ABNT, 2014) também define as características físicas e mecânicas para os diversos processos de fabricação e diferentes matérias primas utilizadas em placas. Dentre as características físicas estão a resistência à tração na flexão, permeabilidade, densidade aparente e absorção de água.

Categoria	Classe da placa	
	Classe A	Classe B
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

Tabela 1 - Requisitos de resistência à flexão em MPa

Fonte: NBR15498 (2014)

Para os ensaios de aceitação a NBR 15498 (ABNT, 2014) define que devem ser realizados nas instalações dos fabricantes onde cada um destes deve retirar as amostras do produto pronto. Para os ensaios tipo, deve ser verificada a conformidade de produtos novos ou modificados na formulação ou método de fabricação. Os dois tipos de ensaios estão apresentados no Quadro 1.

Ensaio Tipo	Ensaio de Aceitação
Resistência à tração na flexão	Controle geométrico
Permeabilidade	Resistência à tração na flexão
Envelhecimento acelerado por imersão em água quente	Densidade aparente
Envelhecimento acelerado por imersão/secagem	Absorção de água
Comportamento sob ação do fogo	-
Verificação dimensional por imersão e secagem	-

Quadro 1 – Ensaio de aceitação

Fonte: NBR 15498 (2014)

A especificação das placas cimentícias para Freitas e Castro (2006) é fundamental para evitar riscos de patologias de fissuração no corpo da placa, trincas em juntas e revestimentos e ainda destacamento destes.

2.3 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS E RESÍDUOS EM MATRIZES DE CIMENTO

Ardunay, Claramunt e Toledo (2015) comentam que desde os tempos antigos os materiais frágeis na construção já eram reforçados com fibras, mas somente a partir de 1940 é que a fibra vegetal, como reforço de materiais à base de cimento, foi desenvolvida como provável substituição ao amianto. Esses autores também ressaltam que nos últimos anos houve um aumento no interesse pelo uso de fibras de celulose (Figura 3) como reforço de compósitos convencionais, pois se trata de materiais renováveis e não agressivos ao meio ambiente.



Figura 3 – Fibras vegetais de diferentes formas:
(a) fios, (b) grampo e (c) polpa

Fonte: Ardu Nay, Claramunt , Toledo Filho, 2015

Marques (2009) estudou a potencialidade das fibras vegetais de *arumã* como reforço de matrizes cimentícias, visto que essas fibras possuem a capacidade de melhorar algumas propriedades desse tipo de compósito com baixo custo em relação às fibras convencionais. Para avaliar o desempenho das matrizes cimentícias, foram realizados ensaios físicos e mecânicos. Os resultados demonstraram potencial de uso para a matriz reforçada com a fibra estudada.

Conforme Oliveira (2012), qualquer compósito cimentício reforçado com fibra vegetal, independente da funcionalidade e por ser considerada uma nova tecnologia, necessita de caracterização química e mecânica desses novos materiais.

O autor citado acima realizou estudo com fibras de juta e malva em compósitos cimentícios observando as propriedades físico-mecânicas e química dessas. Os compósitos foram produzidos com matriz auto-adensável e livre de hidróxido de cálcio (CH). Para os compósitos foram realizados ensaios de tração direta e tração à flexão em quatro pontos. Os resultados demonstraram que é uma alternativa para construções sustentáveis.

Além das fibras vegetais, os resíduos estão cada vez mais sendo pesquisados como alternativa sustentável para uso como materiais na construção civil com o objetivo de reduzir custos de produção.

O uso de resíduo de lã de vidro (RLV), proveniente das indústrias, é uma alternativa na composição de placas cimentícias. Santos (2014) incorporou resíduo de lã de vidro moído na argamassa para placa cimentícia substituindo parcialmente a

fração fina de areia. O material foi recebido em forma de manta e posteriormente desfiado manualmente, moído duas vezes consecutivas e peneirado para se obter um *filer*. O estudo analisou a resistência à tração na flexão com ensaio das placas em estado saturado (imersos em água) por 24 horas antes do rompimento. O estudo demonstrou que a placa produzida com lã de vidro atendeu aos requisitos da norma 15498 (ABNT, 2007) na resistência à flexão, classificando-as em classe A de categoria 3 e classe B de categoria 2, podendo ser utilizadas interna e externamente nas edificações.

O aproveitamento de rejeitos das embalagens de cimento produzidos pela construção civil com grande volume de descarte em aterros e lixões, de acordo com Silva (2013), vem se tornando importante sob o ponto de vista ambiental e socioeconômico. O mesmo autor desenvolveu em seu trabalho um material compósito de matriz cimentícia com adição de fibras de papel *kraft* de embalagens de cimento e emulsão à base de poli (cloreto de vinila) PVC ou PVAc. No estudo foram avaliados diferentes traços observando o desempenho mecânico, as propriedades térmicas e a variabilidade microestrutural do compósito.

O estudo citado ainda contemplou ensaios físico-químicos analisados por microscopia de varredura (M.E.V.), termogravimetria (TGA), difração de raios-X (XRD), microscopia ótica (M.O.) e espectrometria por transformada de Fourier (FTIR) e também ensaios mecânicos de flexão de 3 pontos e levantamento experimental quanto ao comportamento termofísico. Os compósitos que foram produzidos com 12% de fibras, 3% de emulsão polimérica à base de PVAc e 20% de areia fina lavada, apresentaram melhores resultados em relação às amostras sem adição de fibra. Houve também um aumento no módulo de elasticidade com ganhos de resistência mecânica. Para os ensaios de tenacidade, condutividade e resistividade o estudo concluiu que o compósito é uma alternativa viável para utilização de placas de forro nas edificações.

Nos últimos anos a pesquisa para o desenvolvimento sustentável verde na construção e materiais de construção tem atraído à atenção de pesquisadores (THIAN; ZHANG E YE, 2015).

Com intuito de reduzir o impacto ambiental, Ferreira (2014) desenvolveu em sua pesquisa, o reaproveitamento de resíduo polimérico (polietileno e polipropileno) em substituição total da areia para produzir uma argamassa.

A areia tem-se constituído um material com possibilidade de substituição por polímeros (resíduos plásticos), motivo pelo qual vem obtendo destaque em pesquisas no campo da construção civil (CANELLAS, 2005).

2.4 PLACA CIMENTÍCIA COM MATERIAL POLIMÉRICO

Gradativamente os polímeros naturais e sintéticos foram introduzidos na construção civil como aditivos para argamassa e concreto. Podemos citar entre estes, o copoli (etileno acetato de vinila) EVA ou o poli (cloreto de vinila) PVC e o polímero de celulose hidroxietil celulose HEC.

Para Oliveira (2015) os polímeros naturais estão presentes nos organismos dos animais e vegetais e possuem ligações proteicas como a lã. Os polímeros sintéticos são produzidos em laboratório com a finalidade de imitar os polímeros naturais, como exemplo, os originários do petróleo e seus derivados.

Santos (2013) desenvolveu o estudo do compósito de cimento e copolímero EVA como agregado leve, proveniente da indústria de calçados, na fabricação de placas cimentícias. Essas placas seriam empregadas em piso flutuante com o propósito de reduzir os impactos e ruídos nas edificações de múltiplos pavimentos. O beneficiamento do material foi realizado após a coleta na indústria de calçados da Paraíba, os retalhos foram moídos em moinho de faca rotativo até obter um agregado com diâmetro de 4,8 mm. Foram confeccionadas placas de 35 x 35 cm a partir da argamassa produzida com EVA. As placas foram classificadas em: EVA_ar0 com base sem relevos e espessura total de 2,5 cm, EVA_ar1 com altura total de 3,5 cm com relevos e bolsões de ar de 1 cm de altura cada um, EVA_ar2,5 com altura de 5 cm com relevos e bolsões de ar de 2,5 cm cada um. Foram ensaiadas 10 placas de cada tipologia com dimensões de 1,05 x 1,05 cm. O cimento utilizado na pesquisa foi o CPII-F32 e dosagem no traço de 1:5 em volume para moldagem das placas que foram submetidas à prensa hidráulica com carga de 300 kg para reduzir a quantidade de cimento e tornar o material mais resiliente. Após os 28 dias de cura as placas foram ensaiadas como material resiliente entre o contrapiso e a laje.

Os resultados demonstraram que as placas de EVA, conforme desempenho alcançado pode classificar-se como material alternativo utilizado na redução de ruído e impactos entre piso de edificações de múltiplos pavimentos.

Kohler (2010) estudou o uso de placas cimentícias (com resíduo de borracha de pneu) utilizada em habitações populares na cidade de Santa Cruz do Sul no Rio Grande do Sul. Por se tratar de um material mais dúctil, a borracha em substituição parcial do agregado favorece ao concreto uma maior deformabilidade. O estudo foi realizado com uma avaliação pós ocupacional devido à falta de dados científicos sobre as características das habitações. Foram realizados ensaios de estanqueidade, resistência a fogo, corpo mole, corpo duro e conforto térmico que demonstraram resultados favoráveis conforme prescritos pelas normas técnicas.

Considerado um polímero natural de celulose, a utilização de fibras de papel reciclado tornou-se o centro das atenções em virtude da abundância e renovabilidade apresentando grande vantagem para economia e o ambiente (ASHORI; TABARSA E VALISADECH, 2011).

Ashori, Tabarsa e Valisadeh (2011) investigaram o efeito de reforço pelas fibras do papel de jornal reciclado em placas de cimento. Foram avaliadas as propriedades mecânicas e físicas das placas com fibra de papel e cloreto de cálcio (CaCl_2) como acelerador para melhorar essas propriedades. As amostras foram produzidas com placas de densidade $0,7 \text{ kg/m}^3$ com índice de fibra/cimento de 10:90, 15:85 e 20:80 em peso e 3% e 5% de CaCl_2 como acelerador. Quando o teor de fibras foi aumentado de 10% para 20%, houve uma redução considerável das propriedades mecânicas e físicas. O melhor resultado obtido nas propriedades mecânicas e físicas do compósito foi com a adição de 10% de papel reciclado e 5% de (CaCl_2).

Speck (2014) adicionou fibras de vidro, fibras de polipropileno, telas de fibra de vidro e telas metálicas de aço com o objetivo de melhorar as propriedades funcionais das placas cimentícias e evitar as patologias de destacamento e fissuras. Foram produzidas 12 placas com dimensões de 15 x 115 cm para cada variação de fibra utilizada e 45 corpos de prova de 50 x 150 mm para ensaios de caracterização do material. Os percentuais de fibras utilizados nos testes foram de: 0,05%, 0,018% e 0,021% para polipropileno; 0,05%, 0,03% e 0,08% para fibra de vidro de 0,6 mm e 0,05%, 0,03% e 0,08% para fibra de vidro de 13 mm. A adição de fibras e telas foi utilizada para combater as fissuras aumentando a tenacidade do conjunto. Nos ensaios de flexão, as fibras de propileno e fibra de vidro de 0,6 mm não apresentaram valores significativos em relação ao aumento da resistência mecânica. Os resultados mais expressivos foram apresentados nos ensaios de 0,08% de fibra de vidro 13 mm onde a resistência aumentou de 10,54 MPa para 12,12 MPa. As telas de aço apresentaram os

melhores resultados com 14,98 MPa seguida pela tela de fibra de vidro com resistência de 12,83 MPa e 11,76 MPa para menor e maior abertura de malha respectivamente.

Oliveira (2015) produziu placa cimentícia a partir do estudo de argamassa com polímeros produzida por Ferreira (2014) em substituição total do agregado. As dosagens estudadas no traço permitiram observar a resistência à tração na flexão para 8 corpos de prova de 10 x 40 cm e 1 cm de espessura e 20 corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro com 10 cm de altura ensaiados à compressão aos 28 dias. O polímero utilizado na argamassa foi fragmentado para obtenção de flocos que foram peneirados com objetivo de deixar a granulometria do material semelhante à areia utilizada em argamassa convencional. Os polímeros selecionados foram o polietileno de baixa densidade e polipropileno. Foram ensaiados 4 traços para resistência à compressão axial com variação da adição do polímero. Os resultados demonstraram que os traços 1:1 e 1:0,53 ambos com a mesma relação água e cimento de 0,45 apresentaram os melhores resultados de resistência à tração de 5,7 e 5,8 MPa, respectivamente. As placas cimentícias foram classificadas como classe B categoria 1, conforme prescrito pela norma NBR 15498 (ABNT, 2014).

Santos (2012) utilizou partículas de PET incorporados em compósitos cimentícios com o objetivo de criar um material sustentável para a construção civil com adequadas condições físico-mecânicas. As partículas do PET foram utilizadas em teores de substituição às partículas de quartzo utilizadas como agregado natural. Os teores foram determinados de acordo com distribuição granulométrica das partículas de PET e foram então definidos em 80% sendo 30% de partículas grossas e 50% de partículas médias, 70% sendo 50% de partículas médias e 20% de partícula finas e 100% variando as partículas.

O autor citado acima selecionou o cimento *Portland* ARI PLUS tipo V com menor teor de adições com a função de fase matriz. A dosagem utilizada na argamassa foi de 1:3 com variação da relação água e cimento (A/C) de 0,45 e 0,55 para fabricação de 224 corpos de prova cilíndricos ensaiados a compressão após 20 dias da moldagem. Foram comparados os resultados da resistência à compressão e módulo de elasticidade dos materiais dosados com diferentes teores de substituição. Santos observou que as propriedades físicas e mecânicas do compósito permitem o seu uso,

não estrutural, na construção civil e reduz o impacto ambiental causado pelos resíduos de polímeros.

Peruzzi, Ferreira e Zurstrassen (2003), utilizaram em placas cimentícias, fibras de vidro convencional protegidas superficialmente com fibras de látex e sílica ativa contra ataque em meio alcalino. A fibra de vidro apesar do baixo custo, alto módulo de elasticidade e boa resistência à tração, degrada-se em meio alcalino proveniente do cimento *Portland*. No estudo, as placas foram produzidas com argamassa padrão contendo fibra de vidro em uma das faces e foram submetidas à ensaio de flexão após 28 dias de cura em câmara úmida. Após 5 anos no processo de hidratação acelerada, o resultado demonstrou que não houve proteção efetiva da fibra como revestimento contra o ataque alcalino.

As propriedades mecânicas da fibra de bagaço, subproduto da indústria açucareira da cana, e fibras de aço com ultra volume de cinzas volantes foram estudadas por Tian; Zhang e Ye (2015), onde foi investigada a resistência à tração axial, resistência à compressão, flexão e módulo de elasticidade. O teor de fibra foi utilizado em uma variação de 3% a 8% e 12% de fração de volume com cinzas volantes. Os ensaios de compressão axial foram realizados em corpos de prova cúbicos de 50 x 50 x 50 mm. O módulo de elasticidade foi determinado em corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento com idades de 7, 14, e 28 dias e os ensaios de flexão foram realizados em corpos de prova com 350 x 100 x 100 mm. Nos resultados foram observados que a crescente utilização de cinzas volantes aumentou a ductilidade do compósito, mas diminuíram a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura. Foi observado também que o aumento da fibra do bagaço, com o teor de 3% a 8% e 12%, aumentou a porosidade na matriz diminuindo a resistência mecânica do compósito.

2.5 POLÍMEROS – UTILIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

2.5.1 Utilização

De acordo com Lima; Rocha e Konagano (2012), a crescente evolução no mundo da química orgânica associada ao desenvolvimento tecnológico possibilita a procura, a descoberta e a utilização de materiais poliméricos em um grande leque de aplicações,

pois se trata de um material atual, acessível e muito importante. Para a construção civil, pode-se dizer que a importância do uso dos polímeros tem uma grande contribuição social técnica e econômica.

Para os autores citados acima, os polímeros possuem propriedades diferentes de outros materiais utilizados na construção civil com densidade variando de 920 kg/m^3 a 2700 kg/m^3 , baixo módulo de elasticidade em relação aos metais e também variação nos valores de resistência no comportamento à compressão, tração e flexão o que dificulta o estudo de suas características em função dessa diversidade.

Os resíduos de polímeros são os materiais mais encontrados no lixo e ocupam grande volume em relação ao peso, são muito descartados pelos consumidores, por serem muito utilizados em embalagens e levam cerca de 400 anos para degradar-se. Esses fatores estimulam a reciclagem e o gerenciamento desse resíduo.

Os polímeros são formados por moléculas longas e possuem entidades estruturais com unidades denominadas *meros* palavra originária do grego que significa parte. Para um *mero* é denominado monômero e quando esse *mero* se repete na cadeia denomina-se polímero (CALLISTER, 2012).

A matéria prima do polímero pode ser de origem animal, vegetal ou mineral. Suas propriedades são diferentes dos materiais usados na construção civil, possuem resistência mecânica diversa e um mesmo material pode apresentar valores diferentes de resistência à tração, flexão ou compressão e suas vantagens são: resistência à corrosão, plasticidade, baixa densidade, isolante térmico, pequeno peso específico, possibilidade de coloração como parte integrante do material, facilidade de adaptação à produção em massa, além do relativo baixo custo. Apresentam também algumas desvantagens, tais como: baixa resistência aos esforços de tração, baixa resistência a impactos e a altas temperaturas, deformação sob carga, dilatação elevada e rigidez (LIMA; ROCHA E KONAGANO, 2012).

2.5.2 Classificação

A classificação do polímero quanto ao comportamento de aquecimento de acordo com Mano; Pacheco e Bonelli (2005):

Termoplásticos – que se fundem ao serem aquecidos e quando resfriados se solidificam, como exemplo o polietileno e o poli (terefalato de etileno) PET.

Termorrígidos – quando aquecidos transformam-se em massa insolúvel e infusível por meio de reações químicas, como exemplo a resina fenólica e a borracha vulcanizada.

A NBR 13230 (ABNT, 2008) para facilitar a reciclagem, identifica os termoplásticos utilizados na fabricação de embalagens e recipientes, conforme a Figura 4.

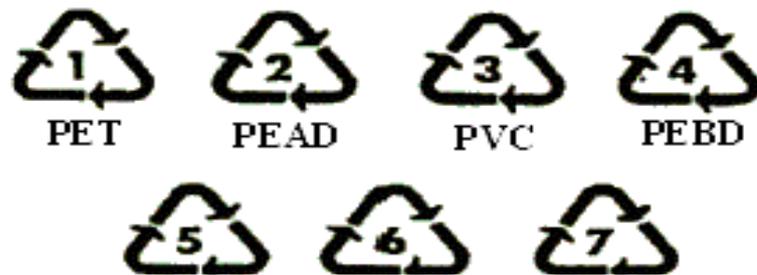


Figura 4 - Simbologia indicativa de reciclagem

FONTE: NBR 13230 (2008)

Cestari e França (2013 apud Parente, 2006) apresentam na Figura, 5 o volume percentual dos tipos de plásticos presentes nos resíduos sólidos urbanos.

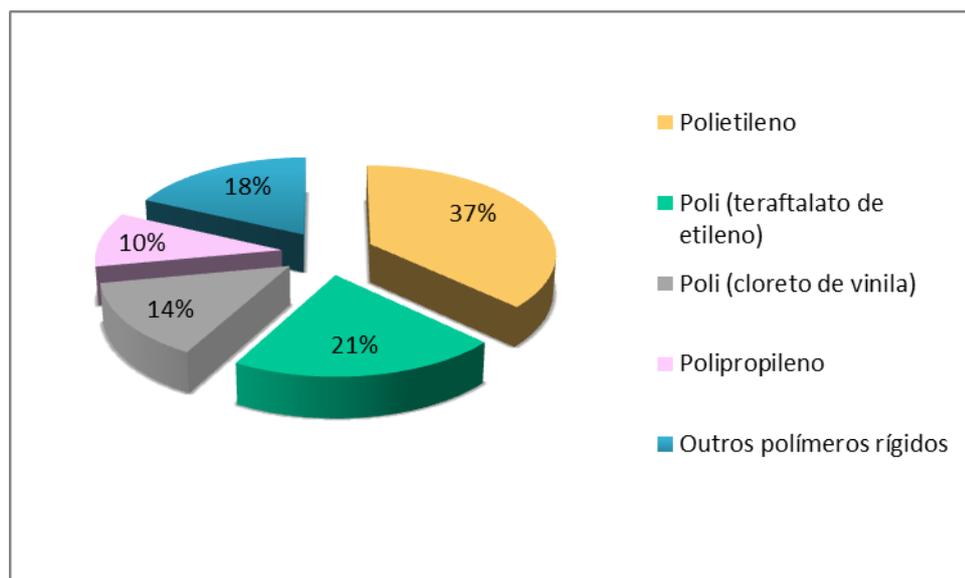


Figura 5 – Volume percentual de resíduos sólidos

Fonte: Parente (2006 apud Cestari e França, 2013 adaptado)

2.5.3 Polipropileno

Na indústria dos polímeros, o polipropileno (PP) é um dos mais utilizados devido ao seu baixo custo, inércia química, facilidade de processamento e versatilidade. É um material semicristalino com densidade aproximada de 900 kg/m^3 e índice de refração de 1,49. É originário pelo monômero chamado propileno (C_3H_6) conforme Figura 6. Possui massa molar entre 80.000 e 500.000. Possui (temperatura de transição vítrea) T_g de 4 a 12°C e (temperatura de fusão) T_m de 165 a 175°C , tem alta cristalinidade de 60 a 70% (Blass, 1988). De acordo com Callister (2000) tem boa resistência mecânica e dureza. Possuem respectivamente, módulo de elasticidade, resistência à tração, resistência ao escoamento e alongamento em torno de 1.14-1.55 GPa, 31-41.4 MPa, 31.0-37.2 MPa e 100-600%.

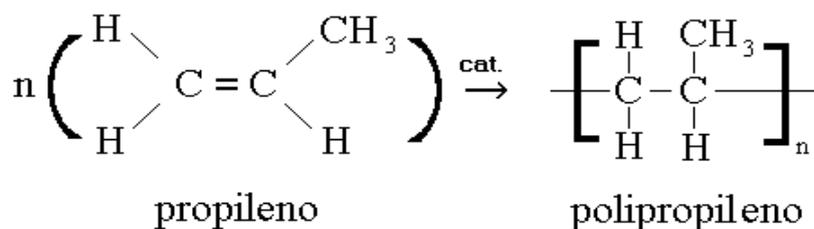


Figura 6 - Esquema da reação básica de polimerização para formação de polipropileno

Fonte: Strapasson, 2004

De acordo Strapasson (2004), o comportamento mecânico do PP depende da sua mobilidade molecular, da sua estrutura e das condições de ensaio.

2.5.4 Polietileno

O polietileno (PE), em função das suas características químicas, físicas, elétricas e seu baixo custo tem uma grande aplicação na confecção de peças e equipamentos, embalagens, tubos e outros. Devido a essa ampla utilização o PP e PE estão sempre presentes no lixo urbano em um número expressivo sendo necessária a reciclagem desses polímeros (STRAPASSON, 2014).

Fabricado a partir do etileno ou eteno (C_2H_4) conforme figura 7, o PE é um gás obtido de forma abundante e como produto residual do *cracking* (decomposição térmica) do petróleo. São os produtos plásticos vinílicos mais simples e possuem massa molar entre 4.000 a 20.000 em média, alguns podem superar a 100.000. Possuem diferentes denominações conforme sua massa molar como (PEAD) polietileno linear de alta densidade e baixa pressão com T_m de 130 a 135 °C , LDPE (PEBD) polietileno ramificado de baixa densidade e alta pressão com T_m de 109 a 125 °C e (PEUAPM) polietileno ultra-alta massa molar e de altíssima massa molar com T_m de 135 °C (STRAPASSON, 2014). Conforme Coutinho, Mello e Santa Maria (2013), o PEBD apresenta uma combinação única de propriedades, com alta flexibilidade, alta resistência ao impacto e tenacidade. Possui densidade de 912 – 925 kg/m³, módulo de elasticidade de 0,102 – 0,240 GPa e resistência à tração de 6,9 – 16 MPa.

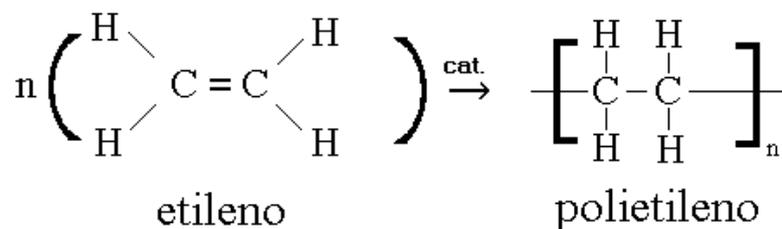


Figura 7 - Esquema da reação básica de polimerização para formação de polietileno

Fonte: Strapasson, 2004

2.5.5 Processo de produção do polietileno e polipropileno

O etileno e propileno são originários do petróleo bruto que contém hidrocarbonetos que formam monômeros, essa matéria prima é obtida no refinamento de petróleo e de gás natural por meio de um processo denominado de craqueamento. Os monômeros sofrem um processo químico para serem transformados em monômeros de hidrocarbonetos e outros monômeros de carbono que serão utilizados na fabricação de produtos poliméricos. Em usina de polimerização, os monômeros serão polimerizados e produzirão resinas de polímero para serem utilizadas em um novo processo que pode incluir adição de plastificantes, tintas e substâncias químicas

resistentes ao fogo. As resinas finais de polímeros apresentam-se geralmente em forma de bolhas ou grãos que seguem para serem processadas por meio de aquecimento, moldagem e resfriamento (FREUDNRICH, 2016)

Para o mesmo autor, o processamento do polímero para transformá-lo em produto depende do tipo de produto, podendo ser:

Extrusão – por meio de aquecimento dos grânulos misturados de forma mecânica em uma longa câmara forçados por uma pequena abertura e resfriados com ar ou água. Esse método é utilizado para produção de filmes plásticos.

Moldagem por injeção – por meio de aquecimento dos grânulos misturados de forma mecânica em uma longa câmara forçados sob bastante pressão para dentro de um molde resfriado. Este processo é utilizado na fabricação de embalagens.

Moldagem por sopro – é uma técnica utilizada juntamente com a moldagem e injeção. Os grânulos são aquecidos e comprimidos em um tubo líquido. A resina entra no molde frio e o ar comprimido é soprado para dentro do tubo da resina que é expandida contra as paredes do molde. Esse método é utilizado para fabricação de garrafas.

Moldagem por rotação – os grânulos de resina são aquecidos e resfriados em um molde que pode ser girado em três dimensões. A rotação distribui igualmente a resina ao longo das paredes do molde. Esse método é utilizado na fabricação de equipamentos, brinquedos e outros.

2.6 METACAULINITA

De acordo com Désir et al (2001), a busca por materiais que possam oferecer mais resistência à pasta, argamassa e concretos, tem exercido um grande esforço na área de caracterização dos materiais.

Para Daros (2009) metacaulinita é um material pozolânico que possui elevada reatividade a partir da calcinação das argilas caulinitas. O surgimento dessa nova opção no Brasil trouxe uma elevada resistência e durabilidade para os concretos.

Melo Filho (2005), define metacaulinita como uma sílica amorfa do resultado da calcinação de argila caulinita que apresenta grande pozzolanicidade obtida pelo aquecimento a temperaturas que variam entre 500^o C a 650^o C e moída até a finura de 700 m²/kg ou 900 m²/kg.

Conforme Marques (2015), a caulinita está presente em algumas argilas e estas quando finamente moídas e submetidas a elevadas temperaturas, tornam-se um material pozzolânico mais reativo com o hidróxido de cálcio do cimento *Portland* formando um composto com propriedades cimentícias.

De acordo com Mota et al (2015), muitos estudos são registrados avaliando a influência da metacaulinita em matrizes de cimento para algumas propriedades no estado fresco, tais como: tempo de pega, exsudação, calor de hidratação, retração e trabalhabilidade. Os resultados desses trabalhos demonstraram que o aumento do teor de substituição do cimento por metacaulim, aumenta o retardo no tempo de pega, reduz a exsudação, diminui o calor de hidratação para pozzolanas de baixa reatividade, aumenta para as de alta reatividade e ainda reduz a retração.

A metacaulinita, do ponto de vista econômico, torna-se viável na substituição parcial do cimento para produção de argamassa e concreto de alto desempenho, porém as características do produto, tais como: tempo de queima, atividade pozzolânica e grau de finura são fundamentais para um bom resultado, conforme (DÉSIER, 2001).

O uso de metacaulinita em concretos e argamassas tem se mostrado eficiente, pois além de diminuir os poros das matrizes, reduz o consumo de concreto e ainda aumenta a resistência à compressão (MARQUES, 2015).

Oliveira (2012) relata que a metacaulinita apresenta grande disponibilidade no Brasil, possui baixo custo e que seu uso como alternativa de material cimentício reduz o impacto ambiental pela redução de CO₂ produzido na indústria da construção civil.

Mota et al (2015), avaliaram o desempenho de argamassas inorgânicas produzidas com a pozzolana metacaulim tomando como referência os traços de 1:1:6 e 1:0,5:0,45 (cimento:cal:areia). Os autores utilizaram os teores 0%, 8% e 15% de metacaulim tanto para substituição quanto para adição do cimento. Os melhores resultados no incremento das propriedades mecânicas e relacionadas à durabilidade, foi verificado para as amostras de 15% de substituição e adição.

Santos Júnior, Silva e Borja (2012) estudaram substituição do cimento por metacaulim com teores de 5%, 10% e 15% para argamassa de reforço estrutural e

estabeleceram a confecção de quatro traços de referência sendo um destes sem adição. O fator água e cimento de 0,45 manteve-se constante em todos os traços.

Nos resultados apresentados pelos autores, os teores de substituição de 10% e 15% obtiveram melhor desempenho quando comparados ao traço sem adições, pois o metacaulim exerce um efeito de microfiller diminuindo o índice de vazios da argamassa aumentando a resistência.

Lima e Toledo Filho (2008) estudaram matrizes com teor de 30% de substituição de cimento por metacaulinita em compósitos reforçados com fibras de sisal. Os resultados alcançados demonstraram um aumento da resistência à compressão e redução da porosidade.

Para Oliveira et al (2004), em argamassas e concreto, o uso de metacaulinita como material pozolânico tem recebido muita atenção nos últimos anos. Em seu estudo, observando as potencialidades do caulim calcinado, em substituição ao cimento, o autor utilizou teores de 10, 20, 30 e 40% para uma argamassa de referência com água/aglomerante de 0,4. No ensaio de resistência à compressão e propagação de onda ultra-sônica foi demonstrado que o teor de 30% apresentou os melhores resultados quando calcinados a temperatura de 700^o a 800^o C, pois modificam a estrutura dos poros da argamassa.

No estudo realizado por Oliveira (2011) foram estudados 3 tipos de argila de uma jazida no município de Itacoatiara no Amazonas observando na composição de cada uma aquela que tivesse o maior teor de caulinita que é a matéria prima da metacaulinita. Para o ensaio de resistência à compressão, foram utilizados em substituição ao cimento, os teores de 20, 30 e 40% de metacaulinita. Nos resultados foi observado que o teor de 30% demonstrou o melhor resultado para os tempos de cura de 7 e 28 dias com valores maiores que a argamassa padrão.

Para essa pesquisa foram utilizados teores de 15% de metacaulinita em substituição ao cimento com o objetivo de melhorar a resistência e diminuir o consumo deste.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa iniciou pela análise de dados dos resultados alcançados no e de Oliveira (2015) para definir o traço dos ensaios e teores de substituição da areia por PEBD e da pesquisa de Santos Júnior, Silva e Borja (2012) para teores de substituição do cimento por metacaulinita. Os melhores resultados de resistência obtidos pelos autores serviram de parâmetro para esse estudo.

Foram caracterizados na segunda etapa, os materiais utilizados nesta pesquisa conforme Figura 8 e definidas as dosagens para os traços.



Figura 8 – Fluxograma da caracterização de materiais

Para a terceira etapa dessa pesquisa, foi analisado o índice de consistência das argamassas e foram moldados os corpos de prova para o ensaio de compressão axial com os teores 15% de substituição de cimento por metacaulinita, passando a mistura a ser denominada no presente trabalho de material cimentante e teores de 50, 70 e 100% para o agregado (areia por polímero). Nessa etapa também foi determinado o índice de vazios, ensaio de absorção e massa específica real para os corpos de prova produzidos conforme cada traço definido.

Na quarta etapa, considerando o traço para o qual foi obtido o melhor resultado nos ensaios mecânico e físico dos corpos de prova, utilizou-se este para produção da argamassa na moldagem da placa cimentícia, a qual foi ensaiada a flexão, sendo os resultados comparados com os obtidos para o mesmo tipo de ensaio, porém, em uma placa sem teor de substituição, aqui denominada de placa de referência. Também foram determinados o coeficiente de *Poisson* e o módulo de elasticidade dinâmico utilizando o método com ondas sonoras para os compósitos com e sem teores de substituição.

Na quinta etapa, foi observado o comportamento da matriz por meio de análise empregando o microscópio ótico.

Na Figura 9 está demonstrado o fluxograma dos ensaios realizados nas etapas descritas anteriormente.

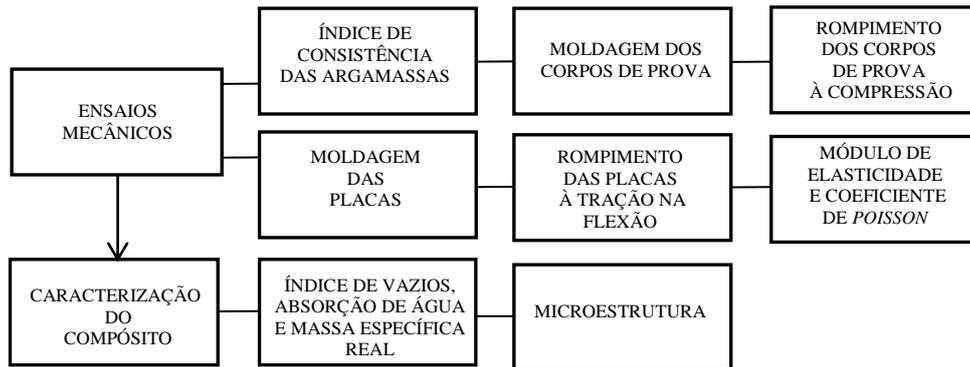


Figura 9 – Fluxograma dos ensaios realizados

Na última etapa foram analisados os resultados alcançados com a pesquisa e comparados com os resultados obtidos por Oliveira (2015) e com a NBR 15498 (ABNT, 2014).

3.1 – Materiais

3.1.1 – Cimento

Para produção da argamassa foi utilizado o cimento *Portland* CPI – S 40 CEMEX com adições e encontrado no comércio de Manaus.

3.1.2 – Água

Foi utilizada água potável captada do sistema de abastecimento da UFAM.

3.1.3 – Areia

O agregado miúdo natural utilizado para argamassa é do tipo areia lavada e coletada em leito de rio, sendo encontrada comercialmente em Manaus.

3.1.4 – Obtenção do resíduo de polímero

Para essa pesquisa foi utilizado o resíduo de polímero de baixa densidade (PEBD) coletado em uma fábrica de Manaus, sendo empregado em substituição a areia para moldagem dos corpos de prova e confecção das placas cimentícias.

O processo de produção é realizado pela fábrica a partir da coleta dos resíduos de polímero das embalagens de sacolas plásticas comuns no distrito industrial de Manaus.

A seguir na Figura 10 são mostradas algumas amostras das embalagens coletadas e prontas para iniciar o processo de reciclagem.



Figura 10 - Material coletado

O material é triturado e passa por processo de lavagem para retirada das impurezas em tanque de lavagem e separação (Figura 11) e classificado por densidade.



Figura 11 - Tanque de lavagem e separação

Fonte: <http://www.agplast.com.br/reciclagem>

Após a classificação o material é separado e transformado em flocos (Figura 12). Em seguida se tornam grãos que são utilizados como matéria prima na fabricação de outros materiais plásticos.

A granulação do polímero (Figura 12) é realizada por meio de fragmentador de facas passando por uma peneira de malha 8 mm e outra de 5 mm. O equipamento utilizado foi o modelo RA 3310 da Rone indústria e comércio LTDA com motor de potência 10 HP, boca de alimentação com dimensões de 310 mm x 200 mm e produção de 200 Kg/h.



Figura 12 - Flocos do polímero

3.1.5 – Metacaulinita

A argila utilizada no processo de fabricação da metacaulinita empregada na presente pesquisa foi coletada na indústria de cerâmica Litiara no município de Itacoatiara localizado a 270 Km da cidade de Manaus e caracterizada de acordo com pesquisa realizada por Marques (2015).

Com a proposta de melhorar a resistência e reduzir o consumo de cimento, a metacaulinita substituiu este com teores de 15% em volume para todos os traços ensaiados na moldagem dos corpos de prova e confecção da placa cimentícia com e sem PEBD.

3.2 – Métodos

3.2.1 – Caracterização do cimento

A determinação química da composição do cimento foi feita pelo ensaio de espectroscopia de raio X (EDS) no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC), empregando o equipamento espectrômetro da marca Panalytical, modelo Epsilon 3 XL (Figura13). O ensaio foi realizado por meio de energia dispersiva em uma amostra de 50 g em pó peneiradas em peneira de malha 200.



Figura 13 – Equipamento de espectroscopia de raio X (EDS)

A massa específica real do cimento foi obtida em ensaio realizado no LABEST - Laboratório de Estrutura de Materiais da COPPE/UFRJ por meio de equipamento AccuPVC 130 marca Micrometrics utilizando o gás hélio.

O módulo de finura foi determinado de acordo NBR 11579 (ABNT, 2012) empregando peneira 75 μ m (n^o 200) para 50g de cimento. O material retido na peneira foi pesado e o resultado foi expresso em percentual conforme a equação 1.

$$F = \frac{RC}{M} 100 \quad (1)$$

Onde:

F - índice de finura;

RC – resíduo de cimento da peneira 75µm (nº 200);

M – massa inicial do cimento em gramas;

C – fator de correção da peneira compreendido ente 1,0 mais ou menos 0,20.

O tempo de pega inicial e final foi obtido em conformidade com a NBR NM 65 (2003). O ensaio foi realizado por meio do aparelho de Vicat e molde tronco-cônico destinado a conter a massa produzida com 500 g de cimento.

3.2.2 – Caracterização da areia

O ensaio para determinação do módulo de finura foi determinado pelo peneiramento em sequência de peneiras conforme prescreve a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e o resultado obtido pela equação 2.

$$MF = \frac{\sum \text{retido}\%}{100} \quad (2)$$

A massa específica real foi obtida pela equação 3 com ensaios realizados no frasco de Chapman, conforme prescreve a NBR 9776 (ABNT, 1987).

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (3)$$

Onde:

500 é massa em gramas da amostra;

200 é o volume inicial em cm^3 ;

L é o volume final em cm^3 .

A massa unitária aparente foi determinada com pesagem do material seco de acordo com a NBR NM 45 (2006).

Para o teor de material pulverulento foram ensaiadas duas amostras contendo 1000g de areia cada uma. A areia foi lavada e seca em estufa e depois pesada para determinação do teor de material pulverulento, atendendo às prescrições da NBR NM 46 (2003).

Para o ensaio de impurezas orgânicas foram preparadas duas soluções sendo a primeira denominada de solução padrão com 2 g de ácido tânico, 10 cm^3 de álcool e 90 cm^3 de água e a segunda solução denominada de solução de ensaio, contendo 30 g de hidróxido de sódio, 970 g de água e 200 g de areia seca (Figura 14), conforme NBR NM 49 (2001). As soluções foram agitadas vigorosamente e colocadas em repouso em ambiente escuro por 24 h.

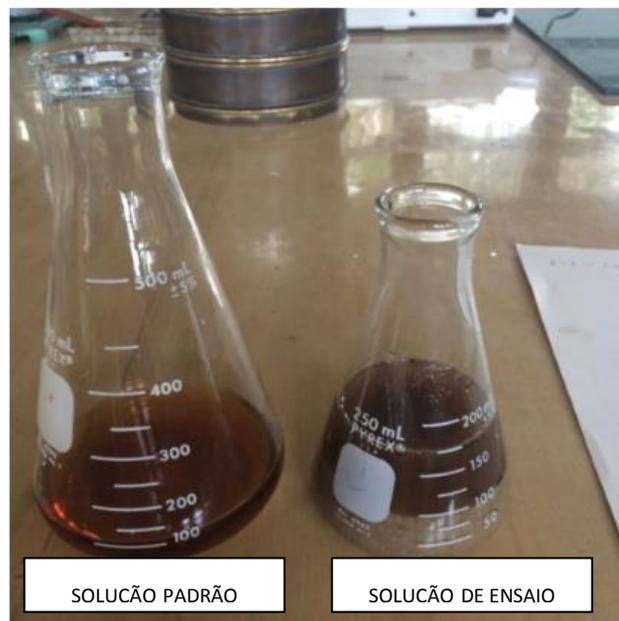


Figura 14 - Solução padrão e solução de ensaio

Para o ensaio de torrões de argila a amostra foi coletada e peneirada conforme recomenda a NBR 7218 (ABNT, 2010), sendo em seguida triturada manualmente

(Figura 15) com cuidado para não esmagar os torrões de argila. O teor foi determinado pela equação 4 a seguir.

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

Onde:

mt é a massa total;

mi é a massa inicial;

mf é o teor de torrões de argila.



Figura 15 - Material triturado manualmente

3.2.3 Caracterização do polímero

A massa específica real do polímero foi determinada por meio de equipamento MVP – 6DC, marca Quantachrome Instruments, empregando gás hélio. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Construções e Ambiente da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP de Pirassununga (FZEA/USP - Pirassununga).

A análise de termogravimetria do resíduo de PEBD foi realizada no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC) da UFAM por meio do equipamento de

termogravimetria modelo SDT Q-600 Simultâneo da TA Instruments (Figura 16). Esse ensaio permitiu determinar a temperatura de degradação do material polimérico pela variação da sua perda de massa.

O equipamento operou com as condições experimentais de atmosfera inerte (N_2), fluxo máximo de 30 ml/min, faixa de temperatura de 25 até 600°C e taxa de aquecimento de 10°C.



Figura 16 – Equipamento de termogravimetria

3.2.4 Caracterização da metacaulinita

A massa específica real da metacaulinita utilizada na dosagem dos traços foi de 2660 kg/m³ obtida por Marques (2015), que empregou para isso o ensaio de Picnômetro a gás hélio. O mesmo autor também realizou o ensaio de termogravimetria (TG) e caracterização química do material.

No processo de preparo da metacaulinita por meio das curvas de TG e derivada de termogravimetria (DTG), Marques (2015) observou que houve perda de massa pela desidroxilação caulinita a partir de 101 °C a 958 °C, conduzido assim, a ausência residual da caulínica, confirmando a condição amorfa da amostra. De acordo com o mesmo autor, a amostra apresentou condições de reagir com o hidróxido de cálcio, garantindo ao compósito melhor resistência mecânica.

Os teores dos elementos químicos mais expressivos demonstrados na Tabela 2 foram Silício, Alumínio e Titânio, que atingiram respectivamente 21,656 %, 13,636% e 2,181%.

Característica Química - Metacaulinita			
Elemento	Quantitativo	Elemento	Quantitativo
Químico	(%)	Químico	(%)
Al	13,636	Sr	0,006
Si	21,656	Y	0,005
P	0,148	Zr	0,177
S	0,000	Nb	0,006
K	0,026	Ru	0,000
Ca	0,077	Ag	0,134
Sc	0,000	In	0,000
Ti	2,181	Eu	0,016
V	0,034	Hf	0,008
Cr	0,018	Re	0,000
Mn	0,009	Ir	0,000
Fe	7667	Ti	0,000
Ni	0,002	Pb	0,003
Cu	0,004	Th	0,006
Zn	0,005		
Ga	0,008		
As	0,002		

Tabela 2 – Composição química da metacaulinita

Fonte: Marques (2015)

3.2.5 - Definição dos traços

O consumo de cimento para 1m³ foi de 872 Kg e são apresentados na Tabela 3 tanto o traço como o consumo de materiais, salientando que esse foi o traço calculado a partir do estudo realizado por Oliveira (2015) que utilizou teor de 100% de substituição de PP e PEBD sem teor de metacaulinita, e nesta pesquisa foi denominado de traço de referência.

TRAÇO UNITÁRIO	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	ÁGUA (kg)
1:1:0,45	872	872	392,4

Tabela 3 - Consumo de materiais do traço de referência em massa

Os traços para moldagem dos corpos de prova foram denominados de TP50, TP70 e TP100 considerando os teores de substituição de polímero para 50, 70 e 100%, respectivamente, os quais são apresentados em peso na Tabela 4.

TRAÇO	CIMENTO (kg)	METAC. (kg)	AREIA (kg)	POLÍMERO (kg)	A/C (kg)
TP50	741,2	130,8	436	436	392,4
TP70	741,2	130,8	261,6	610,4	392,4
TP100	741,2	130,8	-	872	392,4

Tabela 4 - Consumo dos materiais em massa

Em virtude da presença de material de baixa densidade (polímero), na composição da argamassa, o traço foi dosado em volume para a moldagem dos corpos de prova. Para o cálculo dos materiais foi adotada a massa específica real conforme a Tabela 5.

MATERIAIS	MASSA ESPECÍFICA (Kg/m³)
Metacaulinita (*)	2660
PEBD (**)	980

Tabela 5- Massa específica dos materiais

Fonte: Marques (2015)*

3.2.6 – Determinação do índice de consistência

Antes da moldagem dos corpos de prova, foi realizado um teste de consistência (*flow table*) das argamassas propostas nesta pesquisa, com o objetivo de observar o melhor espalhamento para as dosagens com teor de substituição mantendo-se a relação água e cimento de 0,45.

Conforme a norma NBR 13276 (2002), o ensaio consiste em obter o diâmetro (espalhamento) de uma quantidade de argamassa em molde tronco-cônico sobre a mesa de ensaio. Após a retirada do molde a manivela da mesa é acionada fazendo com que essa suba e caia 30 vezes em 30 s. Após a última queda, a forma é retirada e

são realizadas as medidas com paquímetro para três diâmetros. O índice de consistência é definido pela média dos diâmetros em milímetros.

3.2.7 – Moldagem dos corpos de prova

O material polimérico foi primeiramente peneirado na peneira 16 # 1,2 mm e após isso todos os materiais, cimento, água, areia e resíduo polimérico foram pesados e separados, conforme os traços definidos anteriormente. O material seco (Figura 17 a) foi previamente misturado manualmente por 3 min e em seguida, em um misturador, adicionando-se água gradativamente por 30s em velocidade baixa (Figura 17 b). O misturador foi desligado e o material passou a ser novamente misturado manualmente com uma espátula por 30s, depois voltou ao misturador a uma velocidade baixa por 60s e em seguida a uma velocidade alta por mais 60s, completando o processo de mistura.



Figura 17 - Mistura do material seco e preparo da argamassa: (a) mistura do material seco e (b) preparo da argamassa

Após a produção de cada argamassa, conforme os teores de substituição definidos na tabela 4, foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

De cada grupo de corpos de prova foram selecionadas 4 amostras para rompimento à compressão axial com 14 dias e 4 para 28 dias de idade, conforme a

norma NBR 5738 (2003). As 2 amostras restantes foram selecionadas para o ensaio de índice de vazios, absorção e massa específica real.

O grupo das amostras sem PEBD, foram moldados 4 corpos de prova que foram rompidos à compressão aos 28 dias de idade.

Para o processo de cura úmida os corpos de prova foram envolvidos em filme e identificados conforme o teor de substituição da areia por polímero (TP), assim descritos: corpo de prova CP50 (TP50); CP 70 (TP70) e CP 100 (TP100) como podem ser observados na Figura18.

Os corpos de prova foram colocados em local coberto e temperatura ambiente, onde permaneceram até a realização do ensaio de compressão.



Figura 18 – Cura úmida dos corpos de prova

3.2.8 – Moldagem das placas cimentícias com e sem PEBD

A moldagem foi realizada em uma forma quadrada metálica medindo 40 x 40 cm e 1 cm de espessura com fundo falso (Figura 19 a), empregando argamassa com PEBD produzida com o teor de substituição que apresentou o melhor resultado alcançado no ensaio de resistência à compressão e argamassa sem PEBD (figura 19 b). A mistura do preparo da argamassa foi realizada de acordo com o mesmo procedimento definido no item 3.2.7. Foram produzidas duas placas cimentícias, sendo uma com PEBD e outra sem.



(a)

(b)

Figura 19 - Moldagem da placa cimentícia - (a) forma metálica e (b) moldagem

As placas foram curadas por 28 dias envolvidos em filme (Figura 20), em local coberto e a temperatura ambiente, onde permaneceram até a preparação para o ensaio de flexão.



Figura 20 - Cura úmida da placa cimentícia

3.2.9 – Análise de microestrutura ótica do compósito

A análise ótica da microestrutura foi realizada no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC) na UFAM sendo utilizado um estereoscópio (Figura 21) da marca LEICA EZ4 com lente de aumento de 56x. Essa análise foi realizada na amostra com aumento de 20x que permitiu observar a superfície do compósito. O ensaio foi realizado em duas amostras sendo uma com PEBD e outra sem, com dimensões de 1 cm de largura e 10 cm de comprimento da placa cimentícia submetida à tração na flexão.



Figura 21 - Estereoscópio

3.2.10 – Ensaio de Índice de vazios, absorção e massa específica real

Foi realizado com duas amostras para cada teor de substituição e de acordo com as prescrições da NBR 9778 (ABNT, 2005). As amostras foram secas em estufa a uma temperatura de 65^o C por 72 horas e depois foram submetidas à saturação (Figura 22) por mais 72 horas. Após a 72 h os corpos de prova foram pesados por imersão (Figura 23). Os resultados foram obtidos por meio da média das duas amostras de ensaio de cada traço, de acordo com as equações 5, 6 e 7.

$$\text{Índice de vazios} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (5)$$

$$\text{absorção} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \quad (6)$$

$$\text{Massa específica real} = \frac{M_s}{M_s - M_{sat}} \quad (7)$$

Onde:

M_{sat} é a massa saturada;

M_s é a massa seca em estufa;

M_i é a massa imersa.



Figura 22 – Saturação dos corpos de prova



Figura 23– Imersão dos corpos de prova

3.2.11 – Ensaio de compressão em corpo de prova cilíndrico e flexão em 4 pontos em placa

O ensaio de compressão axial para os corpos de prova cilíndricos e de tração na flexão para as placas foi realizado em prensa hidráulica EMIC DL 30000 (Figura 24), conforme a NBR 5739 (ABNT 2007). A velocidade de deslocamento utilizada para o ensaio foi de 0,2 mm/s à compressão e 0,5 mm/s à flexão. Foram ensaiados oito corpos de prova cilíndricos de cada traço sendo quatro corpos com idade de 14 dias e 4 (quatro) corpos para rompimento aos 28 dias.



Figura 24 - Prensa hidráulica

Para o ensaio de flexão as placas de 40 x 40 x 1cm (Figura 25 a) foram cortadas em dimensões de 10 cm de largura, 40 cm de comprimento e 1 cm de espessura (Figura 25 b), totalizando 8 corpos de prova, sendo 4 sem PEBD e 4 com teor de substituição e foram denominados de CP1, CP2, CP3 e CP4. Esses corpos de prova foram pintados na cor branca para facilitar a observação da formação das fissuras.



(a)

(b)

Figura 25 - Placa cimentícia (a) corpos de prova (b)

O ensaio foi realizado em quatro pontos e as placas foram marcadas com 5 e 15 cm a partir das bordas para o posicionamento dos apoios na máquina (Figura 26).



Figura 26 – Ensaio à flexão em quatro pontos

3.2.12 – Ensaio para determinação do módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*

O ensaio foi realizado para duas amostras com dimensões de 1 cm de largura, 10 cm de comprimento e 1 cm de espessura, que foram retiradas das placas moldadas sem PEBD (Figura 27 a) e com PEBD (Figura 27 b).

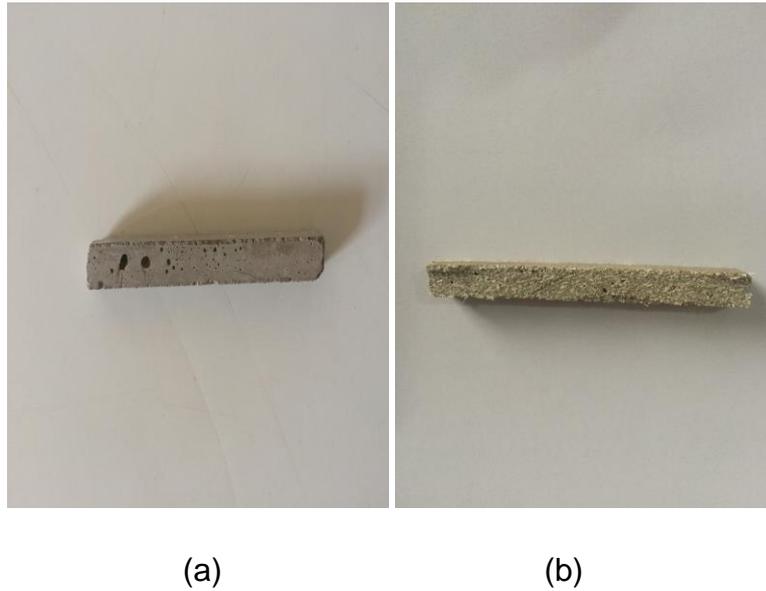


Figura 27 - Amostras (a) sem PEBD (b) com PEBD

O método utilizado foi o de excitação por impulso utilizando o equipamento sonelastic (Figura 28), conforme procedimento descrito na norma ASTM C215 (2008) e ASTM E1876 (2009). Cada corpo de prova foi submetido a um impacto por meio de um excitador mecânico e o som emitido pelo corpo foi captado por um microfone. A partir das frequências de vibração flexional das amostras, o software do próprio equipamento, calculou os módulos elásticos e o coeficiente de *Poisson*.

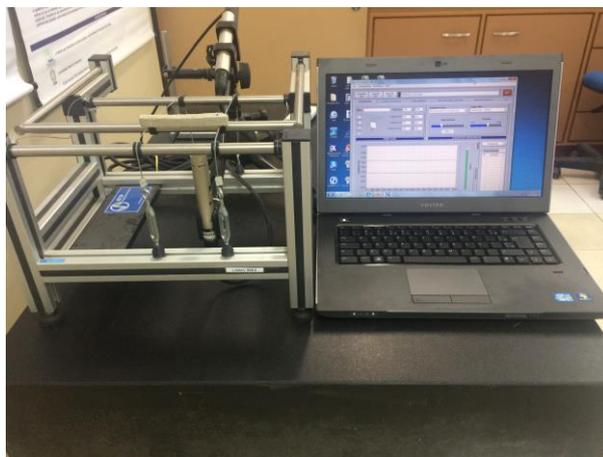


Figura 28 – Ensaio do módulo de elasticidade

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Cimento

O resultado obtido para o módulo de finura de 2,96% ficou dentro dos limites prescritos pela NBR 11579 (ABNT, 2012).

Os tempos de pega inicial e final de 1h45 e 2h45, respectivamente, ficaram dentro dos limites prescritos pela norma NM 65 (2003).

Na análise da composição química, a NBR 5732 (1991) prescreve um limite de 4% de óxido de enxofre (SO_3) e 6,5 % de óxido de magnésio (MgO). Observou-se que o SO_3 ficou acima do valor prescrito em 0,196% enquanto o MgO ficou abaixo do estabelecido.

A massa específica real determinada foi de 3190 Kg/m^3 , o que está de acordo com o tipo de cimento empregado na pesquisa, conforme valores obtidos na literatura técnica.

Na Tabela 6 está demonstrada a composição química do cimento considerando os maiores percentuais.

Substância química	Composição química (%)
CaO	75,73
SiO ₂	11,102
SO ₃	4,196
Al ₂ O ₃	1,964
K ₂ O	1,403
MgO	0,545

Tabela 6 - Propriedades químicas do cimento CPI - S 40

4.2 - Areia

Conforme resultados obtidos na caracterização da areia (Gráfico 1), o módulo de finura da foi de 1,83 o qual não atende a zona ótima, porém este se enquadra na zona utilizável inferior de acordo com a NBR 7211 (2009).

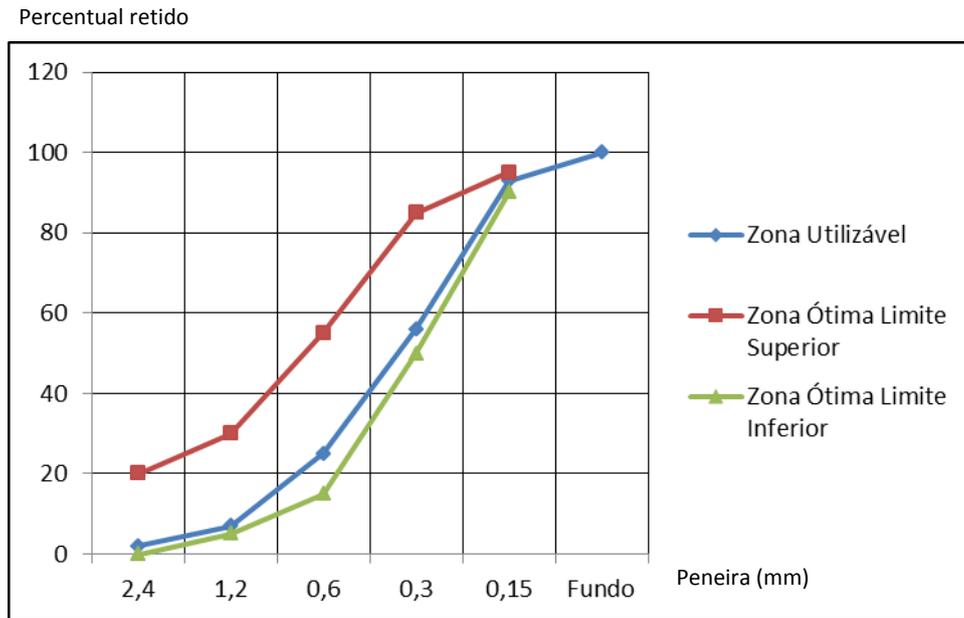


Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia

A massa específica real obtida foi de 2600 kg/m^3 e massa aparente de 1550 kg/m^3 , esses valores ficaram dentro das faixas para um agregado normal.

Após 24 h a solução de ensaio e a solução padrão foram coletadas em tubo de ensaio e ambas foram comparadas observando a cores das soluções (Figura 29). A cor da solução de ensaio, mais clara que a cor da solução padrão, demonstrou um baixo teor de impurezas orgânicas presentes no material ensaiado, atendendo assim, as prescrições da norma NBR NM 49 (ABNT, 2001).

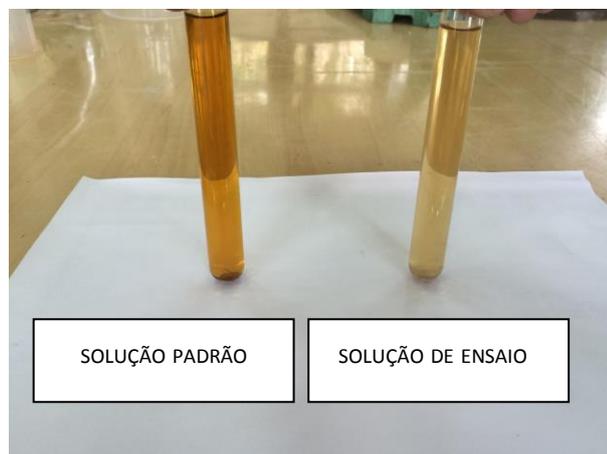


Figura 29 - Comparação das soluções

Os resultados obtidos no ensaio de teor de argila de 0,45% e teor de material pulverulento de 0,52% ficaram dentro dos limites prescritos pelas NBR NM 49 (2001) e NBR NM 45 (2006), respectivamente.

4.3 – Resíduo polimérico

A massa específica real para o resíduo polimérico obtida pelo ensaio de picnometria à gás hélio, apresentou um valor médio de 980 kg/m^3 com desvio padrão de 2 kg/m^3 ficando 6% maior que o valor de 925 kg/m^3 descrito no item 2.5.4.

No Gráfico 2 estão demonstradas as curvas de TG e DTG para o resíduo de PEBD no qual observa-se que primeira inflexão demonstra um evento térmico a $128,69^\circ\text{C}$ correspondente a uma perda de massa relacionada à umidade superficial do material, na segunda a quarta inflexão ocorreu outra perda de massa de 8% pela presença de substâncias voláteis da própria composição do material. Outro evento térmico ocorreu da quarta a quinta inflexão entre $426,55$ a $451,8^\circ\text{C}$ com variação de perda de massa até 79%. Na sexta inflexão ocorreu a temperatura máxima de decomposição a $495,99^\circ\text{C}$ seguindo a um patamar de estabilidade.

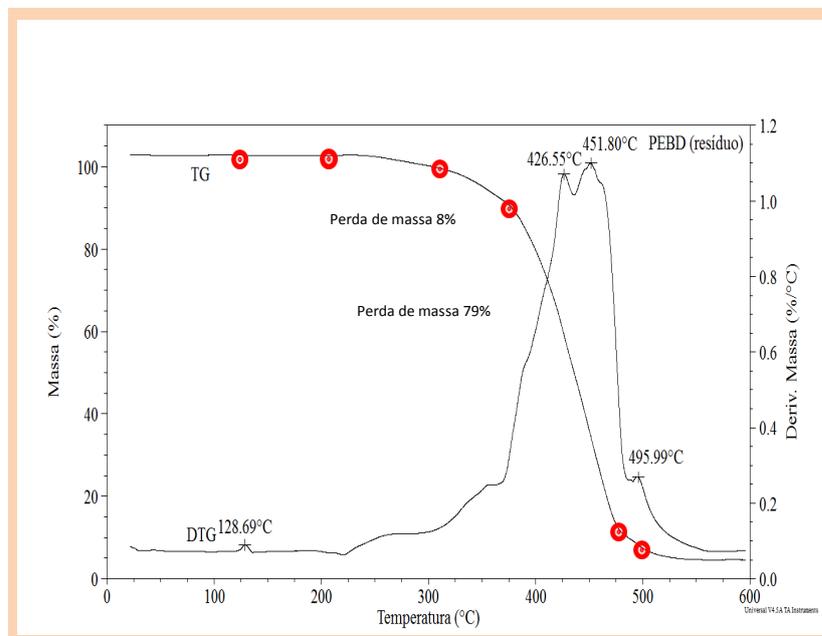


Gráfico 2 – Curva TG e DTG para resíduo de PEBD

De acordo com Carneiro e Marques (2011), as curvas TG e a DTG para o ensaio de PEBD pós-consumo (Gráfico 3), apresentaram temperatura de perda de massa variando de 400^o C a 525^o C e temperatura de degradação de 489,42^o C.

Para o resíduo de PEBD a temperatura de degradação adotada nessa pesquisa foi de 496^o C ficando aproximadamente 1,3% acima da temperatura de degradação do PEBD pós-consumo.

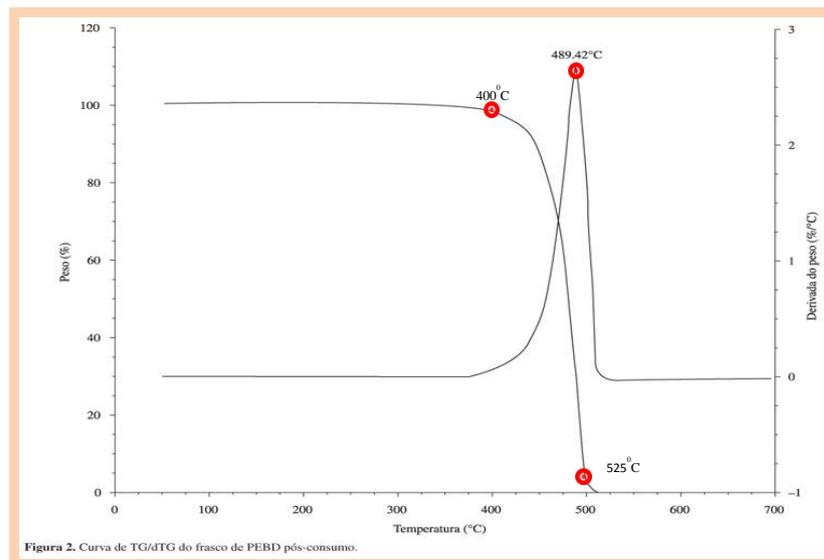


Gráfico 3 – Curva TG e DTG para PEBD pós-consumo

Fonte: Carneiro e Marques (2009)

4.4 - Metacaulinita

No processo de preparo da metacaulinita por meio das curvas de TG e DTG, Marques (2015) observou que ocorreu elevado grau desidroxilação caulinita a partir de 101 °C a 958 °C, conduzido assim, a ausência residual da caulínitica, confirmando a condição amorfa da amostra. De acordo com o mesmo autor, a amostra apresentou condições de reagir com o hidróxido de cálcio, garantindo ao compósito melhor resistência mecânica.

A massa específica obtida foi de 2660 kg/m³ e os teores dos elementos químicos mais expressivos foram Silício, Alumínio e Titânio, que atingiram respectivamente 21,656 %, 13,636% e 2,181%.

4.5 - Consistências das argamassas

A Tabela 7 mostra o resultado de consistência das argamassas. Pode-se observar que o traço TP50 obteve a melhor trabalhabilidade entre os traços analisados. Para o traço TP100 não foi possível definir a consistência devido ao teor de PEBD utilizado que apresentou uma argamassa seca e pouco trabalhável.

TRAÇO	CONSISTÊNCIA (mm)
TP50	175
TP70	155
TP100	-

Tabela 7 - Consistência dos traços com substituição

A Figura 30 mostra o espalhamento obtido para argamassa TP50, a qual apresentou a melhor consistência, conforme já comentado, de acordo com o apresentado na tabela 7.



Figura 30 - Consistência do traço TP50

4.6 - Resistências dos corpos de prova à compressão

Os corpos de prova dos traços TP50, TP70 e TP100 foram ensaiados a compressão e os resultados aos 28 dias (Tabela 8), mostram que o teor de substituição TP50 apresentou maior resistência com média de 19,67 MPa e desvio padrão de 1,76. O traço TP70 apresentou resistência aproximadamente 45% inferior ao TP50. A menor resistência média foi de 8,68 MPa observada no resultado do traço TP100 com aproximadamente 127% de redução em comparação ao TP50. Todos os resultados desse ensaio apresentaram valores superiores ao valor de 5,7 MPa obtido por Oliveira (2015) no traço de referência.

O compósito produzido sem PEBD foram ensaiados aos 28 dias e os resultados (Tabela 9) mostram que a tensão média foi de 40,02 MPa. Em relação à variação nos teores de PEBD para o compósito, foi observado que o resíduo polimérico interfere na redução da resistência à compressão à medida que os teores de substituição em relação a areia vão aumentando. De maneira geral as resistências foram reduzindo de acordo com o aumento no percentual de substituição até alcançar a menor resistência na substituição total da areia pelo resíduo polimérico.

Para melhor representação dos resultados acima descritos, foi utilizada escala logarítmica demonstrada no Gráfico 4.

Em relação ao teor de substituição de 15% do cimento por metacaulinita, pode-se observar que essa contribuiu para aumento da resistência do compósito em todos os traços, quando comparados aos estudos de Oliveira (2015).

Na tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão aos 14 e 28 dias para os compósitos com PEBD.

14 DIAS		28 DIAS	
TP50	TENSÃO MÁX. (MPa)	TP50	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP- A	13	CP- E	18
CP- B	14,6	CP- F	18
CP-C	13,9	CP-G	21,7
CP-D	11,5	CP-H	20,5
MÉDIA	13,25	MÉDIA	19,67
DESVIO PADRÃO	1,405	DESVIO PADRÃO	1,76
TP70	TENSÃO MÁX. (MPa)	TP70	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP- A	11,5	CP- E	12,5
CP- B	11,5	CP- F	13,7
CP-C	12	CP-G	14,2
CP-D	12,8	CP-H	13,9
MÉDIA	11,96	MÉDIA	13,59
DESVIO PADRÃO	0,616	DESVIO PADRÃO	0,735
TP100	TENSÃO MÁX. (MPa)	TP100	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP- A	5,9	CP- E	9,2
CP- B	7,6	CP- F	8,7
CP-C	8,2	CP-G	9,5
CP-D	9	CP-H	8,3
MÉDIA	7,68	MÉDIA	8,68
DESVIO PADRÃO	1,272	DESVIO PADRÃO	2,45

Tabela 8 – Resistência à compressão aos 14 e 28 dias para compósitos com PEBD

Na tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão aos 28 dias para o compósito sem PEBD.

SEM PEBD	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP A	37,1
CP B	43,1
CP C	46,1
CP E	33,8
MÉDIA 40,02	
DESVIO PADRÃO 5,634	

Tabela 9 – Resistência à compressão aos 28 dias para compósitos sem PEBD

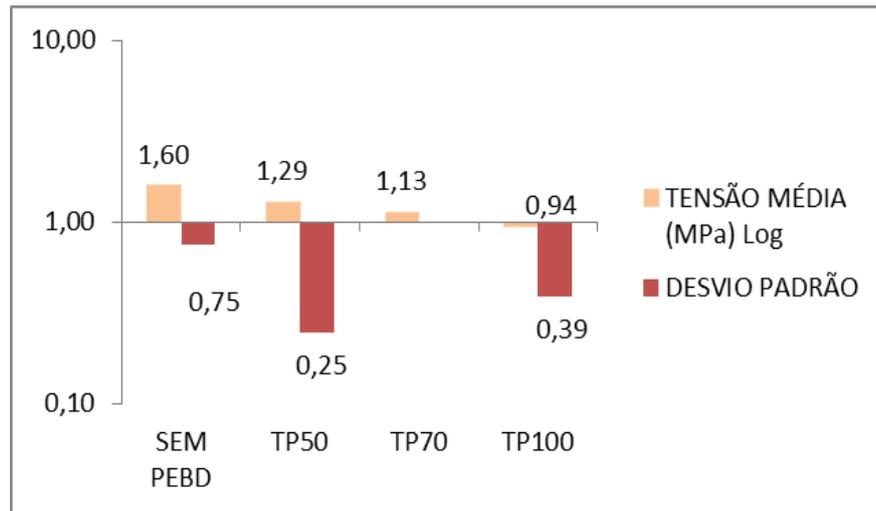


Gráfico 4 - Resistência à compressão dos compósitos aos 28 dias

4.7 – Índice de vazios

O teor de substituição de 50% foi o que apresentou o menor percentual de vazios, com maior massa específica e menor absorção de água em relação aos demais traços. O teor de 100% apresentou maior percentual de vazios, maior absorção de água com menor massa específica. Esses resultados demonstram que conforme o aumento na substituição da areia pelo resíduo de polímero, o compósito apresentou maior índice de vazios com menor massa específica e conseqüentemente uma maior absorção de água.

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos das massas dos corpos de prova por pesagem a seco, saturada e imersa. A média dos resultados (Tabela 11) foi utilizada para determinar o índice de vazios, absorção de água e massa específica seca e saturada do compósito.

TRAÇO	MASSA SECA (Ms)		MASSA SAT. (Msat).		MASSA IMERSA (Mi)	
	Ms1	Ms2	Msat1	Msat2	Mi1	Mi2
TP50	243,3	247,5	269,81	275,93	115,09	111,44
Média	245,4		272,87		113,27	
Desvio	2,96		4,32		2,58	
TP70	Ms1	Ms2	Msat1	Msat2	Mi1	Mi2
	222	218	248,84	247,75	90,79	91
Média	220		248,29		90,9	
Desvio	2,82		0,76		0,14	
TP100	Ms1	Ms2	Msat1	Msat2	Mi1	Mi2
	185,7	190	215,62	218,23	59,75	61,83
Média	187,85		216,92		60,79	
Desvio	5,86		1,84		1,46	

Tabela 10 – Massa seca, saturada e imersa dos compósitos com PEBD

TEORES	ÍNDICE DE VAZIOS (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	MASSA ESPECÍFICA SECA (Kg)	MASSA ESPECÍFICA SATURADA (Kg)
TP50	17,21	11,19	0,0015	0,0017
TP70	17,98	12,86	0,0014	0,0016
TP100	18,62	15,98	0,0012	0,0013

Tabela 11 - Índice de vazios, absorção de água e massa específica

4.8 - Resistências dos corpos de prova à flexão em quatro pontos

A resistência média de 4,25 MPa (Tabela 12) para o TP50 foi maior que o valor médio obtido no estudo de Oliveira (2015) de 4,2 MPa, alcançando assim, o valor mínimo prescrito pela NBR 15498 (ABNT, 2014) de 4 MPa e classificando a placa em classe B de categoria 1. A maior resistência de 5,94 MPa foi obtida para o compósito sem PEBD. Todos os resultados apresentaram resistência superior ao valor mínimo independente da variação no teor de substituição ou do tipo de resíduo polimérico e estão representados em escala logarítmica no Gráfico 5.

Na Tabela 12 estão demonstrados os valores médios da resistência à tração que foram utilizados na comparação dos materiais com e sem PEBD.

TP50	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP 1	5,3
CP 2	4,0
CP 3	3,5
CP 4	4,2
MÉDIA 4,25	
DESVIO PADRÃO 0,759	
SEM PEBD	TENSÃO MÁX. (MPa)
CP 1	8,0
CP 2	5,3
CP 3	5,6
CP 4	4,9
MÉDIA 5,94	
DESVIO PADRÃO 1,41	

Tabela 12 – Resistência à tração na flexão para as placas cimentícias

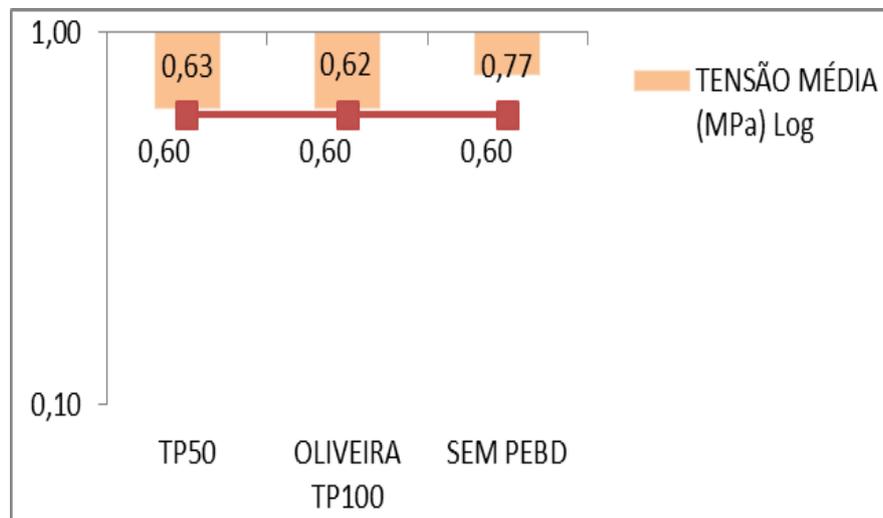


Gráfico 5 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias

4.9 – Microestrutura do compósito

Na análise ótica da amostra do compósito com PEBD, verificou-se uma boa interface desse com a matriz cimentícia (Figura 31) e presença de alguns vazios que podem ter interferido para redução da resistência em relação ao compósito sem PEBD.

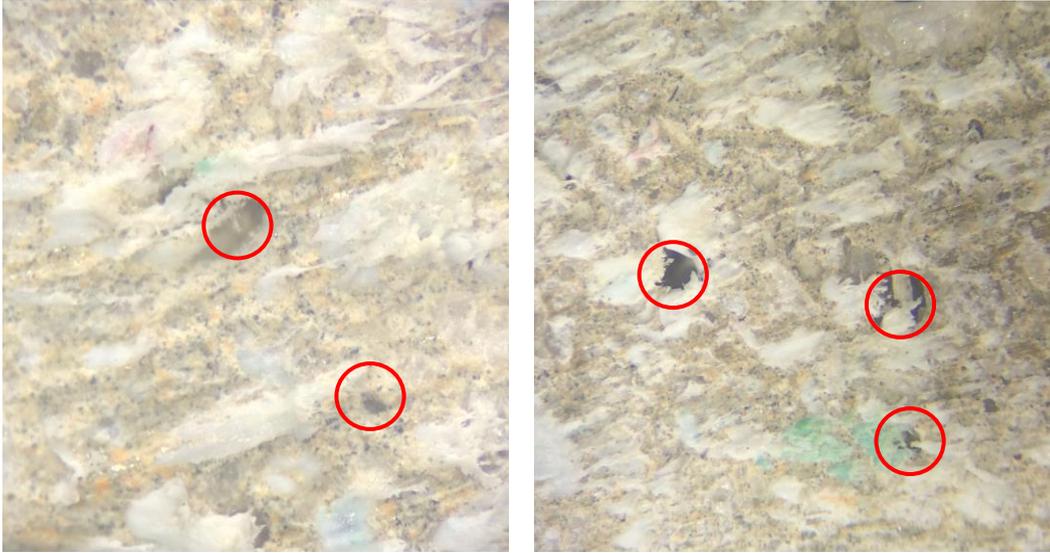


Figura 31 - Microscopia ótica do compósito com PEBD (face interna) - ampliação 20x

O compósito sem PEBD (Figura 32) apresentou uma melhor interface com a matriz cimentícia e sem a presença de vazios quando comparadas ao compósito com PEBD, podendo observar que o teor de substituição do PEBD interfere de forma significativa na redução da resistência do compósito.



Figura 32 – Microscopia ótica do compósito sem PEBD (face interna) – ampliação 20x

4.10 – Módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*

Na Tabela 13 estão apresentados os valores médios do módulo de elasticidade dos compósitos TP50 e sem PEBD a partir das frequências naturais de vibração flexional. O valor do módulo de elasticidade de 8,15 GPa obtido pelo compósito TP50 demonstrou maior deformabilidade em relação ao compósito sem PEBD com 29,71 GPa que estão representados em escala logarítmica no Gráfico 6. Essa diferença deu-se pela alta deformabilidade do PEBD com valores de módulo de elasticidade variando de 0,102 – 0,240 GPa, conforme descrito no item 2.5.4, o que reduz as propriedades mecânicas da matriz tornando o compósito mais deformável. O valor de 8,15 GPa para o módulo de elasticidade ficou 1% maior que o valor máximo de 8,05 GPa, de acordo com (SILVA, 2006) no estudo de argamassa para revestimento. Foi observado também que a redução no módulo de elasticidade do compósito com PEBD está relacionada à redução da resistência à compressão e tração, conforme comentado no item 4.6 e 4.8.

O coeficiente de *Poisson* definido pela razão da deformação transversal em relação à deformação longitudinal, o valor obtido foi de 0,25 e ficou muito próximo da variação de 0,1 a 0,2 do estudo de argamassa com influência granulométrica do agregado apresentado por Carneiro (1999).

SEM PEBD	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
Ensaio 1	29,77
Ensaio 2	29,70
Ensaio 3	29,67
MÉDIA 29,71	
DESVIO PADRÃO 0,38	
COM PEBD	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
Ensaio 1	8,15
Ensaio 2	8,17
Ensaio 3	8,15
MÉDIA 0,4	
DESVIO PADRÃO	

Tabela 13– Resultado do módulo de elasticidade dos compósitos com e sem PEBD

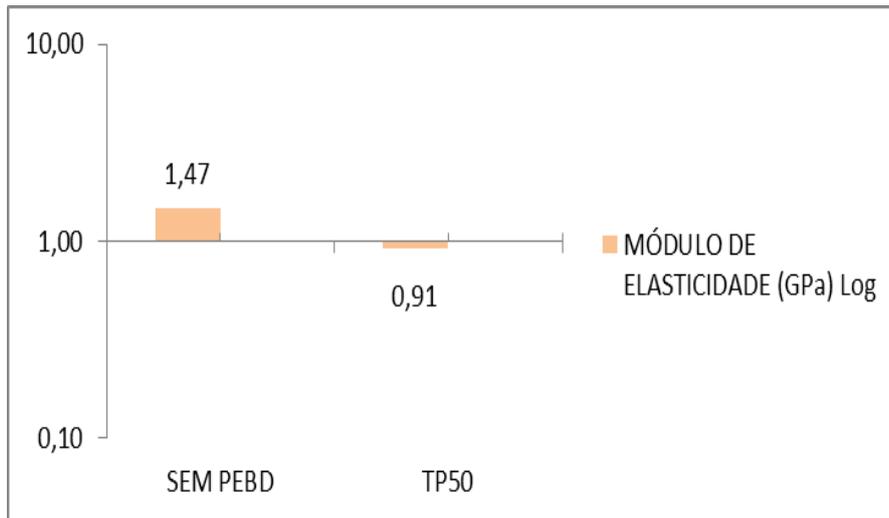


Gráfico 6 - Módulo de elasticidade dos compósitos

CONCLUSÕES

Em relação à resistência, o ensaio de compressão apresentou elevada variação em virtude dos teores de dosagem e o TP100 ficou com resistência de 8,15 MPa que foi aproximadamente 40% superior ao traço de referência de 5,7 MPa de Oliveira (2015). O fator principal para esse resultado pode estar relacionado ao uso da metacaulinita que promoveu um aumento na resistência do compósito.

O índice de vazios, absorção de água e massa específica dos traços TP50, TP70 e TP100 apresentaram resultados que demonstram a interferência da substituição do resíduo de polímero influenciando na redução da resistência dos compósitos quando os teores vão aumentando.

A resistência à tração na flexão de 4,25 MPa para a placa cimentícia com teor de substituição TP50 ficou bem próxima ao traço de referência de 4,2 MPa de Oliveira (2015) com substituição de 100% de PP e PEBD sem o teor de metacaulinita, portanto, o resultado encontrado nessa pesquisa, pode estar relacionado ao tipo resíduo polimérico de PEBD utilizado.

A análise de superfície da microestrutura dos compósitos para os traços TP50 e sem PEBD apresentaram uma boa interface entre o material e a matriz cimentícia. Foram observados alguns vazios na amostra do compósito TP50 que podem ter influenciado na redução da resistência à tração no ensaio da placa cimentícia quando comparado ao resultado obtido na placa sem PEBD.

Para condição de deformabilidade do compósito, de acordo com o valor módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, estes apresentaram resultados com valores médios que atendem à produção de argamassa, conforme literatura apresentada.

O compósito estudado nesta pesquisa apresentou-se como um material frágil, pois o resíduo está disperso na matriz em forma de flocos substituindo a areia, não exercendo assim, função de reforço. No entanto, o TP50 demonstrou condições para reuso do resíduo na produção de argamassa para placa cimentícia.

A conclusão da pesquisa demonstrou que a utilização do resíduo polimérico PEBD como substituição ao agregado natural na produção de argamassa para placa cimentícia tem potencial, favorecendo a redução no consumo de fontes naturais não renováveis.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar o consumo de cimento ideal para resistência mínima da placa com variados teores de substituição de metacaulinita.

Estudar a influência na variação da relação água/cimento para os teores apresentados nessa pesquisa e comparar os resultados.

Realizar estudo de viabilidade econômica para a argamassa com substituição de 50% de PEBD e comparar com as argamassas sem substituição.

Estudar o comportamento mecânico do compósito com PEBD utilizando fibras vegetais como reforço.

Realizar ensaio de tipo conforme prescrito na NBR 15498 para permeabilidade, envelhecimento acelerado por imersão em água quente, envelhecimento acelerado por imersão e secagem e comportamento sob a ação do fogo.

Estudar as variações no módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson* relacionadas aos variados teores de substituição dessa pesquisa.

Avaliar o uso das argamassas com PEBD na fabricação de artefatos pré-moldados, como mourões, cobogós, caixas de passagem, canaletas de drenagem e outros.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 9778. Argamassa e concreto endurecido – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 7211. Agregados para concretos – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica Chapman. Rio de Janeiro, 19877211. Agregados para concretos – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NM 45. Agregados - Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NM 46. Agregados - Determinação de material fino que passa na peneira 75 μ m por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NM 49. Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânica. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 8778. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão do corpo de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 5732. Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 11579. Cimento Portland – Determinação do índice de Finura por meio da peneira 75 μ m (n 200). Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NM 65. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 7218. Determinação do teor de argila em torrões de materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 15498. Placa de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira NBR 15498. Placa de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Simbologia identificativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos - procedimento. NBR 13230. Rio de Janeiro, 2008.

AECWEB. **Portal da arquitetura, engenharia e construção**. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/catalogo-de-produtos-construção-civil>>. Acesso em 01 de fevereiro de 2016.

AGPLAST. Disponível em <<http://www.agplast.com.br/reciclagem>>. Acesso em 01 de abril de 2016.

ARDUNAY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. (2015). Cellulose fiber reinforced cement – based composites: A review. *Construction and Building Materials*, v.79 pp. 115-128.

ASHORI, A; TABARSA, T.; VALIZEH, I. Fiber reinforced cement boards made from recycled newsprint paper: A review. *Material Science and Engineering A* 528 (2011) 7801-7804.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method young's Method for dynamics Young modulus, shear modulus and poisson's ratio by impulse excitation of vibration. E 1876, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional resonant of concrete. C 215, 2014.

CALLISTER JUNIOR, W. D. Ciências e engenharia de materiais: Uma introdução, 5ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CANELLAS, S. S. Reciclagem de PET, visando à substituição de agregado miúdo em argamassa. Dissertação (Mestrado em engenharia de materiais e em processos químicos metalúrgicos) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

CARNEIRO, D. S; MARQUES, M. R. C. Cópia de pirólise de resíduos de polietileno com gasóleo pesado da bacia de campos. **SCIELO BRASIL – Polímeros**. v21, n5, 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282011005000074>> Acesso 06.06. 2016.

CESTARI, S., FRANÇA, D. Polímeros na construção civil. Instituto de macromoléculas. IMA. 7ª Semana de polímeros, 2013, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CICHINELL, G. Paredes ou vedação. **Revista téchne**, São Paulo: PINI, ano 15, 2007.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C DE S. **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicação**, São Carlos, Mar. 2013. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282003000100005>>. Acesso em: 21 maio 2016.

DAROS, B. Estudo do desenvolvimento do concreto auto adensável com metacaulinita. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense: Criciúma, 2009

DÉSIR, J. M.; ALEXANDRE, J. CASTRO, A. M. Estudo da atividade pozolânica da metacaulinita. 45^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2001, Paraná. **Anais...**Santa Catarina, 2001.

FREITAS, A. M. S.; CASTRO, R. C. M. Steel framing: arquitetura. **Manual de construção em aço**. Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro de Construção em Aço CBCA. Rio de Janeiro, 2006. 121.

FREITAS, A. T. H. Uso dos resíduos da construção e demolição em pavimento no campus da UFERSA - Mossoró/RN. Mossoró: UFERSA, 2013.

FREUDRICH, C.; A fabricação dos plásticos. Disponível em: <[http:// www.ciência.hsw.uol.br](http://www.ciência.hsw.uol.br)> Acesso em 19.06.2016.

FERREIRA, A. N. Estudo de viabilidade do plástico reciclado em argamassa sob aspecto da resistência à compressão. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Centro Universitário do Norte: Manaus, 2014.

JUNIOR ORTENZI, A. A fibra de vidro em matrizes poliméricas e seu uso estrutural em construção civil – O estado da arte. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – São Paulo: Universidade de São Carlos, 2007.

KOHLER, A. L. Habitações populares construídas com placas cimentícias com adição de borracha de pneus. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

LIMA, A. C. A. C.; ROCHA, G. S.; KONAGANO, N. Y. H. A utilização de plásticos na construção civil. **COBENGE 2012 - XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA**. Belém, 2012.

LIMA, P. R. L., TOLEDO FILHO, R. D. Uso da metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal. **Ambiente Construído**. Porto Alegre; v. 8, n. 4, p. 7-19 ISSN, 2008.

LOTURCO, Bruno. Chapas cimentícias são alternativas rápida para uso interno ou externo. **Revista Técnica**, São Paulo, PINI, ano 79, 2003.

MANO, E. B., PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. 1924- **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 1º ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MARQUES, M., G., S. Caracterização das propriedades das fibra vegetal de *arumã* para aplicação como reforço à matriz cimentícia. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2009.

MARQUES, M., G., S. Estudo das propriedades físicas e mecânicas e da durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra amazônica. Tese (Doutorado em ciências do programa de engenharia civil) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

MELO FILHO, J. A. Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro COOPE: Rio de Janeiro, 2005.

MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R.; SILVA, A. J. C.; SILVA, G. A.; GALVÃO, S. P.; SOUZA, P. A. S.; OLIVEIRA, R. A. Estudo comparativo entre o desempenho de argamassa inorgânica contendo metacaulim - opções de substituição de parte de cimento e simples adição à mistura. XI Simpósio brasileiro de tecnologia da asrgamassas, 2015, Porto Alegre. **Anais...** Rio Grande do Sul, 2015.

NORMA MERCOSUR. Norma Brasileira NM 65. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA DE, F., M., S. Estudo da substituição parcial do cimento Portland por metacaulinita produzida com argila de indústria cerâmica local em argamassas.

Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2011.

OLIVEIRA, I. R. C. Análise comparativa entre compósitos cimentícios reforçados com fibras de juta e de malva. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2012.

OLIVEIRA, L. B. DE. Confecção de placa cimentícia a base de polímero. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia civil) - Centro Universitário Luterano de Manaus. Manaus, 2015.

OLIVEIRA, M. P.; NÓBREGA, A. F.; CAMPOS DI, M. S; BARBOSA, N. P. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. In: Conferência brasileira de materiais e tecnologia não convencionais NOCMAT, 2004, Pirassununga. **Anais...** São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, R. C. Modelagem numérica de placas espessas usando o método dos elementos finitos com computação paralela (Graduação) – Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

ORTENZI JUNIOR, A. A fibra de vidro em matrizes poliméricas e seu uso estrutural em construção civil – O estado da arte. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – São Paulo: Universidade de São Carlos, 2007.

PERUZZI, A. DE P; FERREIRA, O. P; ZURSTRASSEN, E. Estudo da Proteção da superfície da fibra de vidro convencional visando sua utilização em cimento Portland. In: IV ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 2003, Paraná. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2003.

PONTES, G. Divisórias e fechamentos com placas cimentícias. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 18, 2010.

SANTOS, A.C. D. Investigação do efeito da incorporação do resíduo de PET em compósitos cimentício. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de São João del-Rei – Minas Gerais, 2012.

SANTOS, F., A. Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistema de pisos flutuantes. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.

SANTOS JUNIOR, J. T. S.; SILVA, I. D. G.; BORJA, E. V. Argamassa para reforço estrutural com adição de matacaulim. VII CONNEPI, 2012, Tocantins. **Anais...**Palmas, 2012.

SANTOS, N. A.; VIEIRA, P. L. C.; LOUZADA, D. M.; ARAÚJO, G. S.; DELLA, V. P. Incorporação do resíduo de lã de vidro em argamassa para produção de placas cimentícia. In: 21^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 2014, Mato Grosso. **Anais...**Cuiabá.. 116-022.

SPECK, J. A. Análise do desempenho de placas cimentícias através da adição de fibras e telas, visando à redução de deformações térmicas e patológicas. Dissertação (Mestrado em engenharia de minas, metalúrgica e materiais) Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

SILVA, A. B. C. G. Modelagem numérica de placas laminadas reforçadas com fibras de sisal. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010 p.7.

SILVA DA, M. A. Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagem de cimento. Dissertação (Mestrado em engenharia de materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2013. B

SILVA, M.G.; SILVA, V.G. **Manual de construção em aço:** painéis de vedação. Instituto Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção do Aço CBCA. Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, N. G; CAMPITELI, V. C. Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento. 2^o ENCONTRO DAS ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS DOS CAMPOS GERAIS, 2006, Paraná. **Anais...**Ponta Grossa, 2006.

STRAPASSON, R., Valorização do polímero através de sua mistura e reciclagem. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal do Paraná – Santa Catarina, 2004.

TIAN, HE; ZHANG, Y. X.; YE, L. Mechanical behaviours of green hybrid-reinforced cementitious: A review. *Construction and Building Materials*, v.95, 152-163, 2015.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*, www.Elsevier.com/locate/conbuildmat, 2010.

ZATT, G. Fechamento de paredes de vedação: Sistema Light Steel Framing utilizando placas cimentícias. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.