



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA FABRICAÇÃO
DE ARGAMASSAS E PLACAS CERÂMICAS PREMOLDADAS
FABRICADAS A PARTIR DE MATRIZ SÍLICO-ALUMINOSA
DESTINADAS A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Ronaldo Nonato Ferreira Marques de Carvalho

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientadores: José Antonio da Silva Souza

Alcebíades Negrão Macêdo

BELÉM – PA – BRASIL

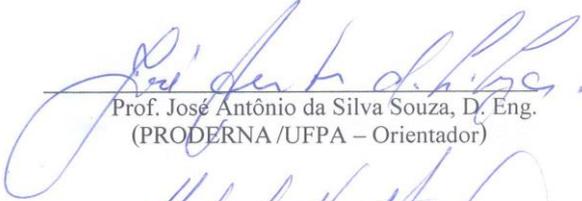
MAIO DE 2014

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA FABRICAÇÃO DE
ARGAMASSAS E PLACAS CERÂMICAS PREMOLDADAS FABRICADAS
A PARTIR DE MATRIZ SÍLICO-ALUMINOSA DESTINADAS A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

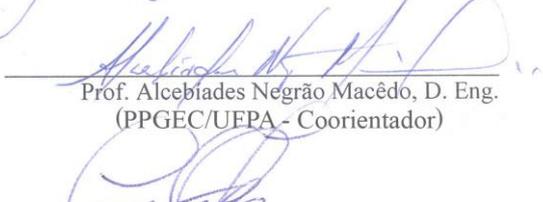
Ronaldo Nonato Ferreira Marques de Carvalho

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

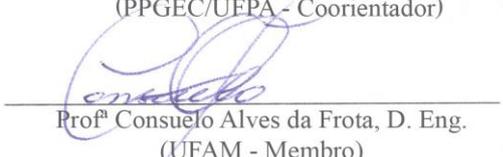
Aprovada por:



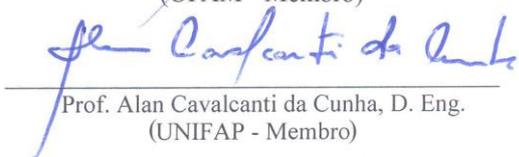
Prof. José Antônio da Silva Souza, D. Eng.
(PRODERNA/UFPA – Orientador)



Prof. Alcebiades Negrão Macêdo, D. Eng.
(PPGEC/UEPA - Coorientador)



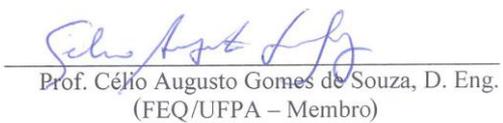
Prof. Consuelo Alves da Frota, D. Eng.
(UFAM - Membro)



Prof. Alan Cavalcanti da Cunha, D. Eng.
(UNIFAP - Membro)



Prof. João Nazareno Nonato Quaresma, D. Sc.
(PRODERNA/UFPA - Membro)



Prof. Célio Augusto Gomes de Souza, D. Eng.
(FEQ/UFPA – Membro)

BELÉM – PA – BRASIL

MAIO DE 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Carvalho, Ronaldo Nonato Ferreira Marques de, 1947
Reciclagem de resíduos industriais na fabricação de argamassas e placas cerâmicas premoldadas fabricadas a partir de matriz sílico-aluminosa destinadas a construção civil/ Ronaldo Nonato Ferreira Marques de Carvalho.- 2014.

Orientador: José Antônio da Silva Souza;
Coorientador: Alcebiádes Negrão Macêdo.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2014.

1. Argamassa. 2. Engenharia de materiais. 3. Indústria de construção- resíduos industriais. 4. Resíduos como material de construção- reaproveitamento. I. Título.

CDD 22. ed. 620.136

À minha mãe Zuema Abdon (In memória) por ter tido a paciência de me carregar durante meses em seu ventre e depois me criar com muito carinho e amor. Foi mulher empreendedora, me ensinando sempre o verdadeiro significado da “sopa de pedra”, da resignação, do enfrentamento às diversidades, da paciência, e de nunca agir sem antes refletir, preservando o bom caráter e as atitudes de bondade.

AGRADECIMENTOS

A todos os Espíritos de luz que sob o manto da virgem de Nazaré e de Jesus Cristo, sempre estão ao meu lado, em todos os momentos e principalmente nos mais difíceis.

Aos meus permanentes protetores, São Judas Tadeu, Santo Expedito e São Cristóvão, além de todos os santos que a minha fé atinge.

Ao meu Orientador Prof. Dr. José Antonio da Silva Souza e co-orientador Prof. Dr. Alcebíades Macêdo respectivamente, pela substancial transmissão de conhecimentos e pela paciência.

Ao Prof. Dr. Miguel A. de Lalor Imbiriba, pelo parecer favorável à minha licença para cursar doutorado no PRODERNA

Aos Profs. M. Sc. Mauro Veloso, Prof^a. Dra. Cybelle Salvador Miranda, Prof^a. M. Sc. Rossana Miranda, pela primorosa companhia nos árduos momentos de estudos.

À Arquiteta e urbanista M. Sc. Dinah Reiko Tutya, à Estagiária do Curso de Engenharia Química, Adna Santana, às Estagiárias de Arquitetura: Mônica Soares, Brena Bessa, Lídia Basile, Zâmara Elaine Lima, Emanuella Godinho, Laura Costa, Karina Pamplona e Amanda Farias, pela grande ajuda nas buscas e dedilhados computacionais.

À Mestra em Engenharia Química, Keila Castro e ao doutorando Diego Hildebrando Santos pelas peregrinações às análises laboratoriais.

Ao Mestre Dilson Pereira Cardoso, pelas análises reológicas.

Ao Técnico do Laboratório de Engenharia Civil Arnaldo Machado da Silva e ao Sr. Carlos Alberto Souza Miranda, pelas colaborações nos Laboratórios de Engenharia Civil e de Engenharia Química.

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D. Eng.)

RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS E PLACAS CERÂMICAS PREMOLDADAS FABRICADAS A PARTIR DE MATRIZ SÍLICO-ALUMINOSA DESTINADAS A CONSTRUÇÃO CIVIL

Ronaldo Nonato Ferreira Marques de Carvalho

Maio/2014

Orientadores: José Antonio da Silva Souza e Alcebíades Negrão Macêdo

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

Propõe-se à fabricação de placas estruturadas com trama de dutos em PVC, preenchidas com argamassa composta por materiais rejeitados da construção civil, além de cinzas volantes de carvão mineral, da Cal hidratada e cimento Portland, inspiradas na técnica tradicional da taipa-de-mão empregada no Estado do Pará. O produto final é um sistema construtivo contemporâneo e ecológico, destinado a execução de painéis divisórios, tendo por objetivo a redução residual e o reaproveitamento de materiais rejeitados, cujo descarte acarreta danos ambientais. Os rejeitos apresentam características físico-químicas que permitem sua reciclagem, aumentando a duração de seu ciclo de vida. Visando desenvolver material argamássico, tendo como características a plasticidade, a elasticidade e a resistência mecânica, foram realizados experimentos com traços compostos pelos rejeitos e cimento Portland devidamente processados e dosados para a confecção de corpos de prova. Estes foram submetidos aos ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à compressão, resultando na seleção do composto mais adequado, no que se refere a utilização no fabrico de placas cerâmicas taipadas, montáveis para uso em painéis divisórios. As placas foram submetidas aos ensaios de compressão e tração.

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFGA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D. Eng.)

**RECYCLING OF INDUSTRIAL RESIDUES IN THE MANUFACTURE OF
MORTARS AND PREMOLDED CERAMIC PLATES MANUFACTURED
FROM MATRIX SILICO ALUMINOSO DESTINED TO CIVIL
CONSTRUCTION**

Ronaldo Nonato Ferreira Marques de Carvalho

May/2014

Advisors: José Antonio da Silva Souza and Alcebíades Negrão Macêdo

Research Area: Use and Transformation of Natural Resources

It is proposed to manufacture plates in structured network of PVC pipes, filled with mortar composed of rejected materials of civil construction, and coal fly ash, hydrated lime and Portland cement, inspired by the traditional technique of earth construction called “taipa de mão”, employed in the State of Pará, Brazil. The final product is a contemporary and ecological construction system for the execution of partition panels, aiming the decrease and the reuse of waste construction’ materials, whose disposal causes environmental damage. The rejected materials have physical-chemical characteristics which allow its recycling, increasing the duration of their Life Cycle. Aiming to develop mortar’s material having characteristics as plasticity, elasticity and mechanical strength were made experiments with traces consisting of construction waste and Portland cement, duly processed and dosed for the confection of test bodies. These were submitted to the tests absorption of water, porosity, density, compressive strength and toughness, resulting in the selection of the most appropriate compound, in respect to use in manufacturing mountable ceramic plates for use in partition panels. The plates were submitted to the tests of compression and tension.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA E ESTADO DA ARTE	6
2.1 - A TAIPA	6
2.1.1 - A taipa como patrimônio cultura: o ‘saber fazer’	6
2.1.2 - A Taipa como método construtivo.....	9
2.1.3 - Uso da Taipa na Habitação paraense	13
2.2 - OS PAINÉIS E SUAS UTILIDADES NA ARQUITETURA HISTÓRICA E CONTEMPORÂNEA	15
2.2.1 - A Projetualidade e a flexibilização da Arquitetura	15
2.2.2 - Alternativas de Flexibilidade	19
2.3 - CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS.....	22
2.3.1 - Construção civil e resíduos	22
2.3.2 - Reutilização e reciclagem.....	26
2.3.3 - Análise do ciclo de vida dos materiais	28
2.4 - ARGAMASSAS: PROPRIEDADES E COMPOSIÇÕES	35
2.4.1 - As argamassas tradicionais na construção civil	35
2.4.2 - Classificação das argamassas	36
2.4.3 - Composição das argamassas segundo seus aglomerantes	41
2.4.4 - Composição das argamassas segundo seus agregados	46
2.4.5 - Propriedades das Argamassas	48
2.5 - MATERIAIS PARA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS COMPATÍVEIS COM AS TRADICIONAIS.....	56
2.5.1 - Rejeito como agregado.....	56
2.5.1.1 - O uso do rejeito silico-aluminoso de construção civil	56
2.5.2 - O uso da cal como aglomerante	59
2.5.3 - O uso da cinza volátil como material pozolânico	64
2.5.4 - Uso de argilas: características das argilas utilizadas na construção civil	84
2.5.4.1 - Sobre a Argila extraída do Rio Guamá	84

2.5.4.2 - Sobre outras argilas cauliníticas	86
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	94
3.1 - PROPOSTAS DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS PARA CONFECÇÃO DE PLACAS COM TAIPADOS TUBULARES	94
3.1.1 - Uso de rejeito silício-aluminato de construção civil, cinza volátil, cal hidratada e argila – experimentos preliminares	94
3.1.2 - Uso do rejeito sílico-aluminoso, cal hidratada, cinza volante e cimento Portland – experimento final	97
3.1.2.1 - A argamassa	99
3.1.2.2 - Os corpos de prova.....	104
3.2 - REOLOGIA DE ARGAMASSAS – PARÂMETROS ENTRE TRAÇOS COM USO DO REJEITO SILÍCIO-ALUMINATO, COMBINADO COM CINZA VOLANTE E CAL HIDRATADA E POSTERIORMENTE SUBSTITUINDO A CAL HIDRATADA PELA ARGILA	105
3.2.1 - Método de Análise	105
3.3 - PROPOSTA PARA EXECUÇÃO DE PLACAS CERÂMICAS TAIPADAS ...	106
3.3.1 - O Projeto	106
3.3.1.1 - O Eletroduto	107
3.3.1.2 - Estrutura e conexão das placas.....	110
3.3.2 - A Fabricação – Proposta Inicial	116
3.3.2.1 - Coleta, características, beneficiamento e cominuição.....	116
3.3.2.2 – Composições das argamassas	120
3.3.2.3 - Construção das placas	121
3.3.2.4 - Teste de conexão das placas.....	124
3.3.3 - A Fabricação – Proposta Final	124
3.3.3.1 - Fabricação das formas	126
3.3.3.2 - Fixação da estrutura às formas	126
3.3.3.3 - Cálculo dos materiais cerâmicos	126
3.3.3.4 - Pesagem e mistura dos materiais.....	128
3.3.3.5 - Fundição das placas.....	128

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	130
4.1 – QUANTO AS PROPOSTAS DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS	130
4.1.1 - Experimento 01	130
4.1.2 - Experimento 02	131
4.1.3 - Experimento 03	132
4.1.4 - Tabelas com os resumos dos experimentos 01, 02 e 03.	133
4.1.5 - Experimento 04	138
4.1.5.1 - Ensaio de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEP).....	138
4.1.5.2 - Ensaio de resistência à compressão.....	141
4.1.6 - Tabela com o resumo do experimento 04	142
4.2 - QUANTO A REOLOGIA DE ARGAMASSAS – PARÂMETROS ENTRE TRAÇOS COM USO DO REJEITO SÍLICO-ALUMINATO, COMBINADO COM CINZA VOLANTE E CAL HIDRATADA E POSTERIORMENTE SUBSTITUINDO A CAL HIDRATADA PELA ARGILA	144
4.3 - QUANTO A PROPOSTA INICIAL PARA A EXECUÇÃO DE PLACAS EM FORMA DE TAIPA	147
4.3.1 - Monitoramento do processo de pega e cura das placas	147
4.3.2 - Desforma	148
4.3.3 - Pesagem das placas	148
4.3.4 - Ensaio de resistência à compressão das placas	148
4.4 - QUANTO A PROPOSTA FINAL PARA A EXECUÇÃO DE PLACAS EM FORMA DE TAIPA.....	150
4.4.1 - Ensaio de compressão	150
4.4.2 - Ensaio de flexão simples	151
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	153
5.1 - CONCLUSÕES.....	153
5.2 - SUGESTÕES	154
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Mestre Albino, taapeiro da região do Alentejo, Portugal, demonstrando o processo de seleção e preparação das canas para as construções em taipa. Fonte: PEREIRA (2006, p. 43).	9
Figura 2.2	A técnica de enchimento, com terra de recobrimento (tabique de terra). Fonte: FERNANDES (2006, p. 23).	9
Figura 2.3	Casa em taipa, região do Alentejo, Portugal. Fonte: CORREIA (2000, p. 31).	11
Figura 2.4	Estrutura de madeira para execução da Taipa de Mão. Fonte: PISANI (2004, p. 14).	12
Figura 2.5	Casa da Família Medeiros em Bragança. Foto: Fortunato Neto (2011).	14
Figura 2.6	Detalhe de parede em taipa de mão, tabique. Foto: Fortunato Neto (2011).	14
Figura 2.7	Casa de sopapo. Fonte: COSTA e MESQUITA (1978, p.31).	15
Figura 2.8	A taipa em Belém. Foto do autor (2003).	15
Figura 2.9	Les Procédés Sigma – o projeto. Fonte: LES PROCÉDÉS SIGMA (1975).	15
Figura 2.10	Sigma – a produção industrial. Fonte: LES PROCÉDÉS SIGMA (1975).	15
Figura 2.11	Fuller e a cúpula geodésica. Fonte: JENKS e BAIRD (1975).	17
Figura 2.12	Decomposição. Fonte: ZEVI (1984, p. 44).	18
Figura 2.13	O convento volumétrico e a Bauhaus. Fonte: ZEVI (1984).	18
Figura 2.14	Componentes padronizados e estrutura x fechamento – Le Corbusier e Moshe Safdie. Fonte: DREW (1973).	18
Figura 2.15	Diversidade dos materiais divisórios. Fotos do autor (1988; 2005; 1990).	20

Figura 2.16	A madeira em forma de ripa, compondo fachadas, balcões e cercas. Fotos do autor (1996).	20
Figura 2.17	E os materiais mais industrializados poderão ser dispostos nas divisões internas tais como tubos e cobogós. Fotos do autor (2003).	21
Figura 2.18	O painel em seções longitudinais de bambu, bem como o uso de vime. Fotos do autor (2003).	21
Figura 2.19	Diagrama da construção sustentável (adaptado). Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS <i>apud</i> TEODORO (2011).	23
Figura 2.20	Gráfico quantitativo de origem dos RCD (adaptado) Fonte: COSTA e VIEIRA (2014, p. 31).	24
Figura 2.21	Hierarquia da gestão de resíduos de demolições e operações de construção. Fonte: CHARLES e ABDOL <i>apud</i> TEODORO (2011).	26
Figura 2.22	Representação do ciclo de vida dos produtos. Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS <i>apud</i> TEODORO (2011).	28
Figura 2.23	Esquema do ciclo de vida de uma construção, adaptado. Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS <i>apud</i> TEODORO (2011).	29
Figura 2.24	Fases de uma ACV. Fonte: IBRAHIM <i>et al apud</i> CAMPOS (2012).	30
Figura 2.25	Fluxograma do ciclo de vida da cerâmica comum. Fonte: TONICELO e ANTUNES (s.d).	32
Figura 2.26	Fluxograma do ciclo de vida da cerâmica avançada. Fonte: TONICELO e ANTUNES (s.d).	32
Figura 2.27	Representação esquemática do ciclo de vida do cimento. Fonte: Ducimeire Clara Eurípedes. AMDA Projeto ciclo de vida (2011).	34
Figura 2.28	Tipos de chapisco Fonte: CEOTTO e BANDUK e NAKAKURA (2005).	39
Figura 2.29	Gráfico de retenção de água e resistência á compressão em argamassa, em função da quantidade de cimento e cal. Fonte: POLITO (2008).	63
Figura 2.30	Cinza volante, formato esférico sólido e cenosférico. Fonte: AZEVEDO <i>apud</i> MANTUANNO NETO (2006).	66
Figura 2.31	Difratograma com a composição mineralógica CDA e FFA (adaptada). Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).	70

Figura 2.32	MEV apresentando as formas dos grãos. Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).	71
Figura 2.33	Difratograma da cinza analisada (adaptado). Fonte: SILVA <i>et al</i> (1999)	73
Figura 2.34	Microestrutura dos tijolos manufaturados (adaptado). Fonte: KOUKOUZAS <i>et al</i> (2011).	78
Figura 2.35	Difratograma de raio X da cinza volante (adaptado). Fonte: SIQUEIRA <i>et al</i> (2011).	79
Figura 2.36	Gráfico da variação da resistência á compressão após 28 dias. Fonte: SIQUEIRA <i>et al</i> (2011).	80
Figura 2.37	Difratograma das argamassas. P= portlandita, Q= quartzo, C= Calcita. Fonte: SIQUEIRA <i>et al</i> (2011).	81
Figura 2.38	DRX da cinza e suas faces cristalinas (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	82
Figura 2.39	Curvas de forças (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	82
Figura 2.40	MEV das amostras 1 e 2 (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	83
Figura 2.41	DRX das amostras 3, 2 e 1 (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	83
Figura 2.42	Difratograma das argilas estudadas. C= caulinita; Gi= gibsita; M= mica muscovita; Q= quartzo. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).	86
Figura 2.43	Gráfico da distribuição do tamanho de partículas das argilas. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).	88
Figura 2.44	Submissão das argilas ao método de Attemberg. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).	88
Figura 2.45	Difratogramas das amostras DV natural (a) e aquecida (b). K= caulinita; H= hematita; Q=quartzo; Fd= Feldespato; MS= muscovita; Go= Goethita; Ml mulita (A). Fonte: FERREIRA <i>et al</i> (2012).	90
Figura 2.46	MEV da amostra, A1 e A2 no estado natural; B1 e B2, queimada à 800°C; C1 e C2 queimada à 1000°C; D1 e D2 queimada à 1200°C. Fonte: FERREIRA <i>et al</i> (2012).	91

Figura 2.47	Difratograma. Q=quartzo; C=caulinita; M=microlina. Fonte: LUCAS <i>et al</i> (2007).	92
Figura 3.1	Fluxograma do processo de beneficiamento do rejeito sílico-aluminoso. Desenho concebido pelo autor (2014).	94
Figura 3.2	Difração de Raio-x do resíduo de construção civil (adaptado). Fonte: X'PertHighScore (2012).	95
Figura 3.3	Fluxograma do delineamento experimental. Desenho concebido pelo autor (2014)	99
Figura 3.4	Material necessário para confecção das formas. Foto do autor (2014)	101
Figura 3.5	Material utilizado na realização dos corpos de prova. Foto do autor (2014)	104
Figura 3.6	Dimensionamento dos dutos. Elaborado pelo autor (2013).	106
Figura 3.7	Detalhe do eletroduto rígido de PVC. Fonte: LIMA FILHO (2001).	108
Figura 3.8	Conexão entre dutos. Elaborado pelo autor (2013).	110
Figura 3.9	Estrutura taipada. Elaborado pelo autor (2013).	111
Figura 3.10	Vistas da estrutura da forma para fundição das placas. Elaborado pelo autor (2013).	112
Figura 3.11	Planta e vista da placa fundida, comprimento de 30 cm e altura de 4,5 cm. Elaborado pelo autor (2013).	113
Figura 3.12	Placa fundida, com o conector em uma das faces laterais. Elaborado pelo autor (2013).	114
Figura 3.13	Detalhe do conector e encaixe no duto. Elaborado pelo autor (2013).	114
Figura 3.14	Vista do encaixe entre as placas para construção de painel. Elaborado pelo autor (2013).	115
Figura 3.15	Detalhe da conexão interna em “H” para fixação entre painéis. Elaborado pelo autor (2013).	115
Figura 3.16	Detalhe da conexão interna em “H” para fixação nas extremidades dos montantes.	115

	Elaborado pelo autor (2013).	
Figura 3.17	Detalhe da conexão de fixação vertical na parede. Elaborado pelo autor (2013).	115
Figura 3.18	Utilização do painel na arquitetura de interiores como divisória. Elaborado pelo autor (2013).	116
Figura 3.19	Rejeitos de construção, silício-aluminatos. Fotos do autor (2012).	117
Figura 3.20	Rejeitos de construção, silício-aluminatos. Fotos do autor (2012).	117
Figura 3.21	Britadeira de mandíbula e rejeitos embalados prontos para britagem. Fotos do autor (2012).	117
Figura 3.22	Britadeira de mandíbula e rejeitos embalados prontos para britagem. Fotos do autor (2012).	117
Figura 3.23	Peneira 19, 1mm. Foto do autor (2012).	117
Figura 3.24	Material da 1º peneiragem sendo moído e peneirado em malha #100 e posteriormente malha #65. Fotos do autor (2012).	118
Figura 3.25	Material da 1º peneiragem sendo moído e peneirado em malha #100 e posteriormente malha #65. Fotos do autor (2012).	118
Figura 3.26	Cinza Volante (Lab. de Eng. Química). Foto do autor (2013).	118
Figura 3.27	Difração de Raio-X da cinza volante (adaptado). Fonte: SIQUEIRA, Jacilene de (2011).	119
Figura 3.28	Processo de secagem e moagem da cal hidratada. Foto do autor (2012).	120
Figura 3.29	Processo de secagem e moagem da cal hidratada. Foto do autor (2012).	120
Figura 3.30	Formas e estruturas taipais tubulares. Foto do autor (2013).	122
Figura 3.31	Pesagem do material. Foto: Dinah Tutyia (2013).	122

Figura 3.32	Estrutura taipal parafusada. Foto do autor (2013).	123
Figura 3.33	Desempeno das placas. Foto: Dinah Tutyia (2013).	123
Figura 3.34	Detalhes dos conectores. Foto do autor (2013).	124
Figura 3.35	Detalhes dos conectores. Foto do autor (2013).	124
Figura 3.36	Detalhes dos conectores. Foto do autor (2013).	124
Figura 3.37	Detalhes dos conectores. Foto do autor (2013).	124
Figura 3.38	Fluxograma das placas taipadas. Desenho concebido pelo autor (2014)	125
Figura 3.39	Parafusamento dos dutos. Foto do autor, fevereiro (2014).	126
Figura 3.40	Fixação da estrutura na fôrma e distância às superfícies da placa. Foto do autor, fevereiro (2014).	126
Figura 3.41	Enchimento das formas. Foto: Amanda Farias (2014).	128
Figura 3.42	Desempeno da placa. Foto: Amanda Farias (2014).	128
Figura 3.43	Placas no período de cura. Foto do autor (2014).	129
Figura 3.44	Retirada dos pinos. Foto: Cybelle Miranda (2014).	129
Figura 3.45	Placas prontas para desforma. Foto do autor (2014).	129
Figura 3.46	Desparafusando as formas. Foto: Amanda Farias (2014).	129
Figura 3.47	Início da retirada da forma. Foto: Amanda Farias (2014).	129
Figura 3.48	Retirada da forma. Foto: Amanda Farias (2014).	129

Figura 3.49	Placas desformadas Foto: Amanda Farias (2014).	129
Figura 4.1	Pesagem dos corpos secos. Foto: Amanda Farias (2014).	138
Figura 4.2	Imersão dos corpos de prova. Foto: Amanda Farias (2014)	139
Figura 4.3	Verificação de massa do corpo úmido. Foto: Amanda Farias (2014).	139
Figura 4.4	Verificação do corpo imerso. Foto: Amanda Farias (2014).	139
Figura 4.5	Corpo de prova submetido à compressão. Foto: Amanda Farias (2014).	142
Figura 4.6	Análises reológicas (torque versus tempo) para cada experimento. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPa.	145
Figura 4.7	Gráfico de Histerese reológica dos traços dos experimentos 2 e 4. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPa.	146
Figura 4.8	Placas, 5 dias após fundição. Foto do Autor (2013).	147
Figura 4.9	Desforma das primeiras placas fundidas e placas desformadas. Foto: Cybelle Miranda (2013).	148
Figura 4.10	Desforma das primeiras placas fundidas e placas desformadas. Foto: Cybelle Miranda (2013).	148
Figura 4.11	Pesagem da placa. Foto do autor (2013).	148
Figura 4.12	Ensaio da placa 1. Foto: Amanda Farias (2013).	149
Figura 4.13	Ensaio da placa 1. Foto: Amanda Farias (2013).	149
Figura 4.14	Ensaio da placa 2. Foto: Amanda Farias (2013).	149
Figura 4.15	Ensaio da placa 2. Foto: Amanda Farias (2013).	149

Figura 4.16	Ensaio de compressão das placas 1, 2 e 3. Foto: Ruan Lopes (2014).	151
Figura 4.17	Ensaio de compressão das placas 1, 2 e 3. Foto: Ruan Lopes (2014).	151
Figura 4.18	Ensaio de compressão das placas 1, 2 e 3. Foto: Ruan Lopes (2014).	151
Figura 4.19	Ensaio de flexão simples das placas 4, 5 e 6. Foto: Bianca Barbosa (2014).	152
Figura 4.20	Ensaio de flexão simples das placas 4, 5 e 6. Foto: Bianca Barbosa (2014).	152
Figura 4.21	Ensaio de flexão simples das placas 4, 5 e 6. Foto: Bianca Barbosa (2014).	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Produção de rejeitos em 1996 (adaptada). Fonte: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: EPA (1998).	23
Tabela 2.2	Classificação das argamassas. Fonte: CASAREK (s.d).	37
Tabela 2.3	Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção. Fonte: IBRACON (2005).	38
Tabela 2.4	Exigências físicas de cada tipo de cal hidratada. Fonte: NBR 7175 (1992).	42
Tabela 2.5	Exigências químicas de cada tipo de cal hidratada. Fonte: NBR 7175 (1992).	42
Tabela 2.6	Variação das propriedades da argamassa com a alteração da composição relativa de cimento e cal. Fonte: DUBAJ (2000).	43
Tabela 2.7	Principais compostos do cimento Portland. Fonte: METHA E MONTEIRO (1994).	44
Tabela 2.8	Teores dos componentes do CP I. Fonte: NBR 5732 (1991).	44
Tabela 2.9	Exigências químicas do CP I. Fonte: NBR 5732 (1991).	45
Tabela 2.10	Exigências físicas e mecânicas do CP I. Fonte: NBR 5732 (1991).	45
Tabela 2.11	Tipos de Agregados (adaptado). Fonte: DUBAJ (2000).	46
Tabela 2.12	Classificação de agregados miúdos (adaptado). Fonte: SILVA (2006).	47
Tabela 2.13	Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento. Fonte: SABATTINI <i>apud</i> DUBAJ (2000).	47
Tabela 2.14	Usos, funções e propriedades das argamassas. Fonte: SABATTINI <i>apud</i> DUBAJ (2000).	48
Tabela 2.15	Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas. Fonte: IBRACON (2005).	49

Tabela 2.16	Influência do teor de finos (partículas <0,075mm) de mistura seca na plasticidade das argamassas. Fonte: IBRACON (2005).	50
Tabela 2.17	Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa (emboço e camada única) segundo a NBR 13.749. Fonte: IBRACON (2005).	53
Tabela 2.18	Exigências mecânicas e reológicas para argamassa. Fonte: SANTOS (2008).	54
Tabela 2.19	Tabela com a massa específica real das amostras de materiais pozolânicos e das amostras de cais. Fonte: AMORIM <i>et al</i> (2000).	57
Tabela 2.20	Tabela de composição química das amostras. Fonte: AMORIM <i>et al</i> (2000).	58
Tabela 2.21	Tabela de exigência química. Fonte: NBR 7175 (2003).	59
Tabela 2.22	Tabela de exigência física. Fonte: NBR 7175 (2003).	59
Tabela 2.23	Variação das propriedades da argamassa em relação à cal e ao cimento. Fonte: POLITO (2008).	61
Tabela 2.24	Tabela de argamassa mista e especificações de propriedades. Fonte: POLITO (2008).	62
Tabela 2.25	Tabela de traços para revestimento. Fonte: GUIMARÃES e GOMES e SEABRA(2004).	63
Tabela 2.26	Tabela de traços para assentamento. Fonte: GUIMARÃES e GOMES e SEABRA (2004).	64
Tabela 2.27	Tabela de exigência química, com destaque para a cinza volante. Fonte: NBR 1265 (1992).	64
Tabela 2.28	Tabela de exigência física, com destaque para a cinza volante. Fonte: NBR 1265 (1992).	65
Tabela 2.29	Tabela com a composição química dos materiais utilizados (adaptada). Fonte: SOKOLAR; VODOVA (2001).	71
Tabela 2.30	Composição das amostras no 1º estágio (adaptada). Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).	72
Tabela 2.31	Composição das amostras no 2º estágio (adaptada). Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).	72

Tabela 2.32	Tabela com a composição química da cinza volante. Fonte: SILVA <i>et al.</i> (2001).	73
Tabela 2.33	Composição química da matéria prima analisada a partir do DRX (adaptado). Fonte: KOUKOUZAS <i>et al.</i> (2001).	75
Tabela 2.34	Composição mineralógica da matéria prima (adaptado). Fonte: SILVA <i>et al.</i> (2001).	75
Tabela 2.35	Composição mineralógica dos tijolos (adaptado). Fonte: KOUKOUZAS <i>et al.</i> (2011).	77
Tabela 2.36	Composição mineralógica das amostras (adaptado). Fonte: KOUKOUZAS <i>et al.</i> (2011).	78
Tabela 2.37	Análise química da cinza volante. Fonte: SIQUEIRA <i>et al.</i> (2011).	80
Tabela 2.38	Tabela com a composição química da cinza (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	81
Tabela 2.39	Tabela com a composição química dos outros ingredientes cerâmicos (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).	82
Tabela 2.40	Composição Química em porcentagem da Argila da margem do Rio Guamá Elaborado pelo autor (2011).	85
Tabela 2.41	Análise granulométrica da argila das Margens do rio Guamá. Elaborado pelo autor (2011).	85
Tabela 2.42	Composição química das argilas. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).	87
Tabela 2.43	Composição química. Fonte: LUCAS <i>et al.</i> (2007).	93
Tabela 3.1	Composição química do resíduo de construção civil. Elaborado pelo autor (2012).	95
Tabela 3.2	Traços utilizados nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2012).	96
Tabela 3.3	Traços utilizados nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).	97

Tabela 3.4	Porcentagens utilizadas nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).	97
Tabela 3.5	Porcentagens utilizadas nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).	97
Tabela 3.6	Percentuais dos materiais necessários para confecção dos corpos de prova. Concebido pelo autor (2014).	100
Tabela 3.7	Peso específico dos materiais. Concebido pelo autor (2014).	101
Tabela 3.8	Volume correspondente ao traço 01. Concebido pelo autor (2014).	102
Tabela 3.9	Massa correspondente ao traço 01. Concebido pelo autor (2014).	102
Tabela 3.10	Volume correspondente ao traço 02. Concebido pelo autor (2014).	102
Tabela 3.11	Massa correspondente ao traço 02. Concebido pelo autor (2014).	102
Tabela 3.12	Volume correspondente ao traço 03. Concebido pelo autor (2014).	102
Tabela 3.13	Massa correspondente ao traço 03. Concebido pelo autor (2014).	103
Tabela 3.14	Massa total, traço 01. Concebido pelo autor (2014).	103
Tabela 3.15	Massa total, traço 02. Concebido pelo autor (2014).	103
Tabela 3.16	Massa total, traço 03. Concebido pelo autor (2014).	103
Tabela 3.17	Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 01. Concebido pelo autor (2014).	104
Tabela 3.18	Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 02. Concebido pelo autor (2014).	104
Tabela 3.19	Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 03. Concebido pelo autor (2014).	104

Tabela 3.20	Composição dos traços dos experimentos 2 traço 3 e experimento 4 argamassa 2, traço 3 Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.	106
Tabela 3.21	Tabela de características físicas e mecânicas do PVC. Fonte: SOUZA (2005).	107
Tabela 3.22	Tabela com as dimensões totais dos condutores isolados e a denominação nominal. Fonte: LIMA FILHO (2001).	108
Tabela 3.23	Tabela com as dimensões dos eletrodutos. Fonte: LIMA FILHO (2001).	109
Tabela 3.24	Tabela de pressão mínima a ruptura. Fonte: NBR 6150 (1980).	109
Tabela 3.25	Composição química da cinza volante. Fonte: Análise realizada no Centro de Geociências da UFPA (1999).	119
Tabela 3.26	Traços utilizados no experimento 01. Elaborado pelo autor (2012).	121
Tabela 3.27	Cubagem dos materiais. Concebido pelo autor (2013).	122
Tabela 3.28	Material necessário para confecção da argamassa. Concebido pelo autor (2013).	123
Tabela 3.29	Volume dos materiais na forma. Concebido pelo autor (2014).	127
Tabela 3.30	Massa correspondente ao peso específico. Concebido pelo autor (2014).	127
Tabela 3.31	Massa total correspondente a uma forma. Concebido pelo autor (2014).	127
Tabela 3.32	Massa total para confecção de 8 placas. Concebido pelo autor (2014).	127
Tabela 4.1	Resultados dos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Elaborado pelo autor (2012).	130
Tabela 4.2	Ensaio de resistência à compressão - resultados. Elaborado pelo autor (2012).	131

Tabela 4.3	Ensaio de Absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Elaborado pelo autor (2013).	131
Tabela 4.4	Ensaio de resistência à compressão. Elaborado pelo autor (2013).	132
Tabela 4.5	Ensaio de Absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Elaborado pelo autor (2013).	132
Tabela 4.6	Resistência à compressão das argamassas. Elaborado pelo autor (2011).	133
Tabela 4.7	Resistência à compressão das argamassas. Elaborado pelo autor (2011).	133
Tabela 4.8	Experimento 1 Elaborado pelo autor (2013).	134
Tabela 4.9	Experimento 2 Elaborado pelo autor (2013).	135
Tabela 4.10	Experimento 3, Argamassa 1. Elaborado pelo autor (2013).	136
Tabela 4.11	Experimento 3, Argamassa 2. Elaborado pelo autor (2013).	137
Tabela 4.12	Peso referente a cada corpo de prova. Concebido pelo autor (2014).	138
Tabela 4.13	Pesagem dos corpos de prova úmido. Concebido pelo autor (2014).	139
Tabela 4.14	Pesagem dos corpos de prova imersos. Concebido pelo autor (2014).	139
Tabela 4.15	Resultado da absorção de água. Concebido pelo autor (2014).	140
Tabela 4.16	Resultado da porosidade aparente. Concebido pelo autor (2014).	140
Tabela 4.17	Resultado da massa específica aparente. Concebido pelo autor (2014).	141
Tabela 4.18	Ensaio de absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Concebido pelo autor (2014).	141

Tabela 4.19	Resultados do ensaio de resistência à compressão. Da argamassa. Concebido pelo autor (2014).	142
Tabela 4.20	Média da resistência a compressão. Concebido pelo autor (2014).	142
Tabela 4.21	Experimento 4. Elaborado pelo autor (2013).	143
Tabela 4.22	Composição dos traços dos experimentos 2 traço 3 e experimento 4 argamassa 2, traço 3. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.	144
Tabela 4.23	Ensaio de compressão das placas. Concebido pelo autor (2014).	149
Tabela 4.24	Ensaio de compressão das placas. Concebido pelo autor (2014).	151
Tabela 4.25	Ensaio de flexão simples das placas. Concebido pelo autor (2014).	152

NOMENCLATURA

AA	Absorção de Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATD	Análise Térmica Diferencial
CFA	Coalflyash
CFB	Circulating Fluidised Bed
CH	Cal Hidratada
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CP	Cimento Portland
CPI	Cimento Portland Comum
DEPHAC	Departamento de Patrimônio Histórico, Arqueológico, Cultural e Artístico
DN	Diâmetro Nominal
DRX	Difração de Raio X
DTA	Análise Termo Diferencial
DV	Versão Digital
EDS	Espectrômetro de Energia Dispersiva
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FFA	Fluidized Fly <i>Ash</i>
Fo	Argila Forte
Fr	Argila Fraca
FRX	Fluorescência de Raio X
FUMBEL	Fundação Cultural do Município de Belém
GO	Goethita
H	Hematita
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IP	Índice de Plasticidade
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
K	Caulinita
LAMEMO	Laboratório de Memória e Patrimônio Cultural
LL	Limite Máximo
LOI	Lossonignition.
LP	Limite de Plasticidade
MEP	Massa Específica Aparente
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MF	Módulo de Finura
ML	Mulita
MO	Microscópio Óptico
MS	Muscovita
PA	Porosidade Aparente
PF	Perda ao Fogo
PPM	Parte por Milhão
PR	Perda ao Rubro
PVC	Policloreto de vinila
SEM	Scanning Electron Microscope
SPHAN	Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
TGA	Análise Termogravimétrica
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
XRD	Difração de Raio-X
XRF	Fluorescência de Raio-X

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

As misturas silico-aluminosas e argilas (solo), como material construtivo tem sido utilizadas no Brasil desde a colônia, sendo a técnica construtiva mais tradicional o pau-a-pique ou taipa de mão, em concomitância com a taipa de pilão. As habitações são executadas com técnica construtiva na qual o uso do barro e da madeira se combina, formando a taipa de mão, tabique ou barrote ou mesmo sopapo (FERNANDES, 2006).

Embora tenha sido difundida em todo o território nacional durante os séculos XVI até as primeiras décadas do século XX, seja na arquitetura urbana ou rural, atualmente a técnica persiste na construção de habitações rurais, especificamente nos interiores das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (COSTA e MESQUITA, 1978). Um dos fatores que diferenciam as construções em taipa são a qualidade e quantidade de matéria prima para os engradados, ou seja, a madeira. Na região Norte, são utilizadas peças de estruturação e de ripamento de madeira cortadas em forma mais definida, enquanto que no Centro-Oeste e Nordeste brasileiro a madeira utilizada é extraída de árvores de pequeno e médio porte. Isso decorre da ausência de árvores de grande porte em abundância, para o corte de peças padronizadas para estruturas divisórias e assoalhos, sendo alternativos os galhos, troncos roliços e varas de bambu.

A construção civil é responsável por uma série de impactos ambientais, desde o alto consumo de recursos naturais e a modificação da paisagem, até a geração de resíduos. A reciclagem deste material desperdiçado durante as obras é de fundamental importância para minimizar os impactos gerados nas cidades. O incremento na indústria da construção civil, seja devido ao aquecimento da economia nacional ou aos incentivos governamentais a construção/aquisição da casa própria, conduz ao aumento de rejeitos de obras que são despejados na via pública, contribuindo para o entupimento das galerias de águas pluviais, o assoreamento de canais e igarapés, ou são depositados em

áreas de descarte situadas nas periferias urbanas, sem qualquer tratamento.

O mercado de produtos reciclados ainda está muito escasso, dificultando a criação de novas tecnologias economicamente viáveis e o incentivo de utilização desses materiais reciclados em projetos. Com base nesse quadro, se faz necessário aumentar os estudos e esforços no sentido de criar novos métodos, de modo a mostrar que os resíduos podem ser utilizados com segurança se conhecido suas propriedades e tecnologias econômicas (RAO e JHA e MISRA, 2007).

Em 2004, devido os 20 milhões de toneladas de resíduos gerados pelas construções e demolições, os aterros locais em Hong Kong, saturaram em aproximadamente 8 anos. Com o objetivo de solucionar esse problema, o governo de Hong Kong incentivou a reciclagem de resíduos para produzir tamanhos diferentes de agregados reciclados para o uso em vários materiais de construção. Um dos procedimentos encontrados para a utilização dos agregados finos foi à produção de produtos de concretos não estruturais, tais como restrições de trânsito e barreiras rodoviárias (POON e CHAN, 2007).

Portanto, empregando a essência do sistema construtivo taipal, propõe-se a confecção de placas que tenham como matriz de composição da argamassa os rejeitos silico-aluminosos da construção civil. Considerada como patrimônio cultural do saber fazer, a taipa valoriza-se neste trabalho como inspiradora para proposta contemporânea e que mantém na sua essência o valor ecológico que a caracteriza. Tendo por base a concepção de que a Cultura é um conceito dinâmico (LARAIA, 2003), a tradução do sistema construtivo da taipa em forma de placas pré-fabricadas contribui para a sobrevivência da técnica, bem como para a sustentabilidade ambiental urbana.

Com um estudo especializado desta tecnologia, torna-se possível produzir painéis que flexibilizem divisões internas em edificações contemporâneas, com a produção de placas cerâmicas com estrutura interna em forma de taipado usando dutos de PVC, substituindo a matéria prima vegetal original (galhos, bambus, etc.), recobertos por argamassas compostas de rejeitos de construção civil, cinza volante, cal hidratada e cimento Portland.

Para a seleção do traço da argamassa, foram confeccionados corpos de prova com composições diversas que, após cura de 28 dias, submeteram-se aos ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à compressão. A partir da escolha do traço, após a análise dos ensaios, foram confeccionadas as placas cerâmicas que devem resistir a cargas compatíveis à sobreposição de, no mínimo, uma sobre a outra até a altura de 3 metros sem sofrer fraturas, sem cumprir função estrutural, trabalhando apenas como vedação em estruturas autoportantes.

O objetivo geral da pesquisa é propor um material de construção civil sustentável que recicle rejeitos industriais. Como objetivos específicos têm-se: 1) criar material de construção com um sistema estrutural inspirado na técnica da taipa de mão; 2) utilizar rejeito sílico-aluminoso da construção civil como matriz de argamassa; 3) produzir argamassas compatíveis com as tradicionais com aproveitamento de rejeitos industriais pozolânicos.

Esta pesquisa tem como meta a Fabricação de Placas Cerâmicas inspiradas na tecnologia da Taipa de Mão, que possam ser utilizadas na confecção de painéis divisórios.

O método seguido nesta pesquisa definiu-se a partir do cominuinto dos rejeitos sílico-aluminosos, da definição da granulometria dos materiais usados a fim de analisá-los quimicamente e posteriormente a elaboração de traços argamássicos ensaiados quanto às suas características físicas, concluindo com o posterior fabrico de placas estruturadas.

1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente tese compõe-se de três capítulos: 1) revisão bibliográfica, 2) materiais e métodos 3) resultados e discussão. A revisão bibliográfica, quanto ao tema das técnicas construtivas, discorre sobre a taipa de mão enquanto saber vernacular e sustentável, e apresenta o usos dos painéis divisórios como alternativas de flexibilização

de ambientes. O parâmetro ecológico é visto através do conhecimento da reciclagem, reaproveitamento e ciclo de vida dos materiais. Para o entendimento das argamassas, são entendidas suas propriedades e composições, e após são apresentados estudos acerca do uso de materiais tradicionais para composição de argamassas compatíveis com as tradicionais, dentre os quais os rejeitos sílico-aluminosos da construção civil, a cal, a cinza volátil e a argila caulinítica.

No capítulo de materiais e métodos é detalhado o delineamento experimental, desde a proposta de argamassas alternativas para confecção de placas, em que serão descritos os experimentos preliminares com composições empregando rejeito, cal, cinza volátil e argila, com os quais foi executada uma primeira versão da placa, e a seguir a versão final adotando a composição rejeito, cal hidratada, cinza volátil e cimento portland. Para os primeiros experimentos, foi realizada a reologia de dois traços, alternando a composição base de rejeito e cinza com o acréscimo de cal, em um experimento, e de argila, em um novo experimento.

Tendo sido efetuadas as análises dos materiais e ensaios dos corpos de prova buscaram-se resposta a pergunta central referente à qual a argamassa compatível com as tradicionais será usada para a confecção das placas com estrutura taipal de tubos de PVC. O projeto da placa é exposto, compreendendo o processo de coleta, beneficiamento e cominuição dos materiais, para composição das argamassas e construção das placas. Após a qualificação da tese, ajustes foram realizados e produziu-se a proposta final de novas formas, sendo descrito o processo de confecção da estrutura de PVC, fixação às formas e fundição das placas.

Como resultados, são apresentados os três primeiros experimentos com argamassas, submetidos a ensaios de absorção, porosidade aparente e massa específica aparente, bem como de resistência à compressão. O capítulo segue o processo de acompanhamento do processo de pega e cura das placas, desforma, pesagem e ensaio de resistência à compressão. Apresentando a versão final decorrente do quarto experimento, novas placas são produzidas e analisadas quanto aos ensaios de compressão e flexão simples.

Desta forma a presente pesquisa, inspirada na técnica construtiva da taipa de mão usada no Pará, propõe-se a uma solução ecologicamente correta, em função do uso de rejeitos sílico-aluminosos de construção, além de rejeitos oriundos de mineração como as cinzas voláteis, que juntamente com a cal e o cimento portland em percentual reduzido (5%), proporcionarão argamassas que preencherão o espaço taipal, estrutural, permitindo-se a possibilidade do uso da taipa em placas facilmente manuseáveis e transportáveis, gerando construções de paredes ambientalmente sustentáveis.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA E ESTADO DA ARTE

2.1 - A TAIPA

2.1.1 - A taipa como patrimônio cultural: o ‘saber fazer’

O Patrimônio Cultural Imaterial ou Intangível pode ser compreendido a partir da dimensão que ele tem de acordo com as visões de mundo das sociedades humanas. Essas formas de celebrações, transmissão de saberes e conhecimento fazem parte das nossas identidades comuns, conjugando memórias que fortalecem os vínculos identitários. Por mais que o mundo globalizado tenda a homogeneizar e massificar os costumes, a identificação e preservação do Patrimônio Imaterial são de fundamental importância para que isso não ocorra. Neste contexto destaca-se a preservação dos modos de vida e das técnicas construtivas vernaculares, que são transmitidas pela oralidade, reforçando a memória das coletividades tradicionais.

Como parte do termo ‘Patrimônio Cultural Imaterial’, o conceito de cultura remonta a dois mil anos atrás, do latim, designando o cultivo da terra: plantar, colher, cuidar da plantação, sendo definido pelo pensador romano Cícero (século I a.C.) como “[...] o cultivo ou culto do próprio espírito ou da alma” (PELEGRINI e FUNARI, 2008, p. 12), no sentido de aprendizado oral, leitura de livros, imitação de grandes gestos e ações.

A partir do século XIX, como contraponto a noção de civilização, a palavra cultura ressurge e é reabilitada ao ser adotada na língua alemã como *kultur*. No final do século XVIII, Herder conceitua cultura como sendo “[...] espontânea, dotada de simplicidade natural.” (apud PELEGRINI e FUNARI, 2008. p. 14). Foram os ingleses, com o objetivo de valorizar a palavra *culture*, que cunharam o termo *lore* e criaram o *folklore* para designar os costumes das pessoas. Os alemães mantiveram o termo cultura, mas o caracterizaram como “alta” e “baixa” cultura.

A cultura, no entanto, é um termo antropológico. Para MARC AUGÈ e JEAN-

PAUL COLLEGYN “Quando se fala em Antropologia, entende-se a disciplina que trata da diversidade contemporânea das culturas humanas.” (*apud* PELEGRINI e FUNARI, 2008. p. 16) Para CHRISTOPH BRUMANN

A cultura é o conjunto de padrões adquiridos socialmente a partir dos quais as pessoas pensam, sentem e fazem. Uma cultura não requer proximidade física ou um tipo específico de sociabilidade direta (*Gemeinschaft*), apenas interação social, mesmo que mediada por meios de comunicação e que seja casual. Mesmo ver, ouvir ou ler uns aos outros pode ser o suficiente. (*apud* PELEGRINI e FUNARI, 2008. p. 18).

O contato interpessoal com a diferença cria o interesse em compreender como e porque as pessoas agem de maneira diversa de acordo com os lugares e os períodos históricos. Nesse sentido, a preocupação com o passado e a dimensão histórica das especificidades é pontuada, já que a cultura é uma produção histórica, transmitida através das gerações, entre as relações dos diferentes grupos sociais e também no interior de um mesmo grupo.

A globalização impulsionou um processo de massificação cultural, porém, de acordo com JEAN-PIERRE WARNIER “[...] a humanidade é uma formidável máquina de produção de diferenças culturais, a despeito dos processos que agem em sentido contrário.” (*Idem*, p. 21) Esses processos que provocariam a homogeneização cultural da humanidade, na realidade acentuam as diferenças e preservam essa variabilidade.

Entre Patrimônio Material e Imaterial, existe a noção de matéria, imaterialidade e patrimônio. Em latim, *materies* é a substantivação da mãe (*mater*), que passou a designar algo concreto, material. Desta forma, cultura e matéria resultaram no conceito de cultura material como sendo “[...] a totalidade do mundo físico apropriado pelas sociedades humanas.” (PELEGRINI e FUNARI, 2008.p. 26) Já a imaterialidade é compreendida como o que não se pode tocar, e sim somente ser percebida.

A identificação do Patrimônio Histórico, Cultural, Paisagístico e Natural da Humanidade foi feita de forma sistemática a partir de 1930, sendo que as Nações Unidas engajaram-se nesse meio a partir de 1945. Em 1972 declarou-se a “Convenção

do Patrimônio Mundial”, mobilizando cerca de 148 países. A UNESCO age na forma de normas que influenciam a legislação pertinente ao Patrimônio, porém até então circunscrita aos bens materiais.

A partir de 1960, a manifestação de valores identitários fez com que emergisse novos referenciais culturais, sendo esses bens culturais uma mostra do cotidiano, de modo que a UNESCO passou a proteger também os bens culturais de natureza intangível.

Durante a “Conferência Mundial sobre as Políticas Culturais” (1982) afirmou-se que a identidade e a diversidade seriam indissociáveis, sendo a diversidade fundamental para reconhecer as múltiplas identidades culturais. Nesse contexto, a cultura é tida como um

[...] conjunto de traços distintivos espirituais, materiais, intelectuais e afetivos que distinguem uma sociedade e um grupo social, abarcando, além das artes e das letras, os modos de vida, os direitos fundamentais do ser humano, os sistemas de valores, as tradições e as crenças. (*apud* PELEGRINI e FUNARI, 2008. p. 38).

Assim, as políticas da UNESCO a partir do final do século XX têm por objetivo valorizar a diversidade cultural, sendo que o princípio da conservação das tradições culturais populares privilegiaria a percepção, a perpetuação das práticas e suas transformações.

Enquanto a “Convenção do Patrimônio” de 1972 buscava a identificação e preservação do Patrimônio Material, a “Convenção sobre a Salvaguarda do Patrimônio Cultural Intangível ou Imaterial”, de 2003, dedicava-se à questão do Patrimônio Intangível, sendo ele designado como as

[...] práticas, representações, expressões, conhecimentos e técnicas – junto com os instrumentos, objetos, artefatos e lugares culturais que lhes são associados – que as comunidades, os grupos e, em alguns casos, os indivíduos reconhecem como parte integrante de seu patrimônio cultural. (*apud* PELEGRINI e FUNARI, 2008. p. 46).

A taipa de mão é uma manifestação dos saberes e técnicas nas quais as edificações residenciais eram e ainda são construídas em muitas regiões do Brasil. Divulgar e perpetuar a técnica e o “saber fazer” são formas de preservá-los (Figuras 2.1 e 2.2).



Figura 2.1: Mestre Albino, taifeiro da região do Alentejo, Portugal, demonstrando o processo de seleção e preparação das canas para as construções em taipa. Fonte: PEREIRA (2006, p. 43).

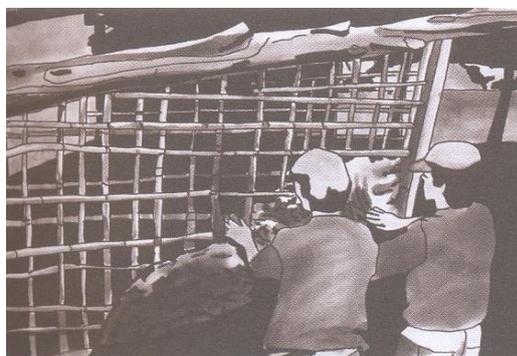


Figura 2.2: A técnica de enchimento, com terra de recobrimento (tabique de terra).Fonte: FERNANDES(2006, p. 23).

O Patrimônio Intangível se manifesta nas tradições e expressões orais; nas expressões artísticas; nas práticas sociais, rituais e atos festivos; conhecimentos e práticas dos saberes; e nas técnicas artesanais tradicionais. Um fato interessante é que a grande parte dos bens imateriais reconhecidos pela UNESCO é de culturas distintas das ocidentais, um processo de patrimonialização dos bens dos povos latino-americanos.

2.1.2 - A Taipa como método construtivo

O ato de construir é inerente à condição humana, primeiro como resposta às necessidades básicas de proteção e abrigo, e depois como expressão de cultura. (ROCHA, 2006). O material construtivo mais amplamente utilizado ao longo dos tempos é a terra.

Por arquitetura em terra entende-se toda e qualquer construção edificada em terra crua, ou seja, todas as construções que utilizem a terra como matéria-prima sem alteração das suas características mineralógicas (FERNANDES, 2006, p. 20).

A terra foi o primeiro material de construção usado pelas comunidades humanas, desde os seus tempos mais remotos, porém, na região ao Sul de Portugal, a utilização de forma sistemática, da terra como material construtivo, sob a forma de adobes e de taipa, remonta apenas ao III milênio a. C., quando surgiram as primeiras sociedades com economia agro-pastoril e de metalurgistas, que deram origem à chamada Idade do Cobre ou Calcolítico (GOMES,2006).

A taipa ainda era utilizada sobre alicerces e bases de pedra, evitando-se o contacto com o solo e a introdução de água por capilaridade, a principal inimiga das construções de terra. O termo ‘taipa’ tem uma dualidade terminológica no Norte e no Sul de Portugal. No Norte o termo ‘taipa’ refere-se à taipa de fasquio, enquanto no Sul de Portugal, o termo refere-se à técnica construtiva de terra comprimida com o maço ou pilão (CORREIA, 2000, p. 31).

PLÍNIO (N. H. XXXV, 48) referiu esse modo de edificar como ‘muros construídos de terra a partir de moldes de tábuas, o qual encontra-se bem documentado na antiga Mesopotâmia e em diferentes pontos do Mediterrâneo oriental, tendo sido muito usado no mundo Púnico’. Porém, o tabique remonta às edificações fenícias, contemporâneas à Plínio (GOMES, 2006, p. 61).

Existem diversos modos de se construir com a terra, diversas técnicas construtivas, de acordo com o tipo de terra disponível. Por ser um material natural, reciclável, ecológico e sustentável, a terra possibilita uma diversidade de aplicações, desde a habitação vernácula, até palácios e fortificações. (CORREIA, 2006). As tradições vernáculas perpetuam-se nas comunidades nas quais são utilizadas, por não serem compostas de produtos manufaturados ou instrumentos mecanizados (*Idem*, p. 16). A existência da argila na composição dos solos permite usar a terra para construir, já que ela é o elemento que estabelece a ligação entre os grãos de areia, mantendo-os unidos, formando um conjunto sólido e coeso (ROCHA, 2006).

Ao longo de todo continente americano observa-se a presença de patrimônio edificado em terra na forma de adobe, taipa ou tabique e suas variantes regionais – pau-a-pique e taipa de sopapo, no Brasil. Surgem em solo brasileiro fortificações em taipa

militar ao longo do litoral, mas também em centros históricos de cidades, como Salvador, na Bahia, construída originalmente em taipa de pilão (CORREIA, 2006).

A função de taieiro é um processo de aprendizagem entre gerações. Tutelado pela influência paterna, o ofício do passado é repassado como técnica construtiva. No litoral alentejano, a técnica da taipa surge em virtude dos atributos da terra e dos conhecimentos construtivos locais (PEREIRA, 2006).

Dois técnicas são as mais utilizadas no Brasil, à taipa de pilão e a taipa de mão. A primeira é caracterizada como uma técnica monolítica e portante, na qual não existe separação entre o material e a técnica construtiva. Dentre as diversas técnicas incluídas nessa categoria, a taipa de pilão caracteriza-se como a terra prensada. A técnica consiste em prensar ou comprimir camadas de terra quase seca dentro de uma cofragem – os taipais.

Em Portugal a técnica é amplamente utilizada, encontrada, sobretudo em fortificações históricas do Sul, na arquitetura tradicional e pública em paredes exteriores e interiores do Alentejo, em paredes exteriores do Algarve e em alguns edifícios em áreas restritas no centro e norte litoral (FERNANDES, 2006) (Figura 2.3).



Figura 2.3: Casa em taipa, região do Alentejo, Portugal. Fonte: CORREIA (2000, p. 31).

A taipa de mão, ou tabique, caracteriza-se como técnica de enchimento de estrutura de suporte, que compreende a terra como elemento secundário, no enchimento ou revestimento de outras estruturas. Essas estruturas são tradicionalmente a madeira ou outros materiais de origem vegetal, como canas e bambus. Nessa categoria, o tabique é classificado como terra de recobrimento, que consiste no revestimento com terra de

estruturas em grade. Muito comum em países nórdicos e tropicais, na África, na América Latina e Europa Central e Norte. Recebe a denominação de *Torchis* na França e de taipa fasquio ou pau-a-pique em Portugal e no Brasil (FERNANDES, 2006, p 23).

A cor e qualidade da taipa variam em função das terras disponíveis. Sua consistência relaciona-se com a menor ou maior percentagem de terra, cal e inertes empregados na sua composição (GOMES, 2006).

Taipa é todo sistema construtivo em que se emprega, na confecção de fechamentos, a terra umedecida ou molhada, sem a mesma ter sofrido nenhuma espécie de beneficiamento anterior. Dentre os tipos de taipa, destacamos a Taipa de Mão, de Sebe, ou Sopapo (CORONA e LEMOS, 1972).

A Taipa de Mão é uma técnica cuja estrutura de madeira é composta de esteios cravados no solo e conectados entre si através de vigas horizontais, os baldrames, e vigas superiores, os frechais, em geral de secção quadrada, formando um sistema rígido (PISANI, 2004, p. 14), (Figura 2.4). De fora para dentro, esse sistema é amarrado com cipó, criando-se um painel transfurado, cujos vãos quadriláteros medem de 5 a 20 centímetros de lado, que serão preenchidos com o barro. “O barro era atirado, ao mesmo tempo, por duas pessoas, uma do lado de dentro e outra pelo lado de fora. Daí a expressão de sopapo ou de taponar.” (CORONA e LEMOS, 1972, p. 439).

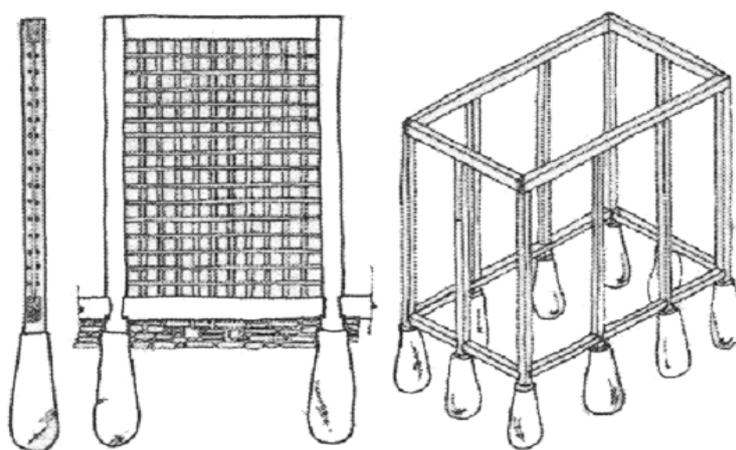


Figura 2.4: Estrutura de madeira para execução da Taipa de Mão. Fonte: PISANI (2004, p. 14).

Para esse barreamento, em algumas regiões, é misturado apenas terra e água, enquanto que, em outras, são adicionadas fibras vegetais, palha, esterco de gado, cal ou cimento, com a função de estabilizar a terra, diminuindo a retração e aumentando a resistência. COSTA e MESQUITA (*apud* INO e LOPES, 2003) acreditam que foi a observação do pássaro João-de-barro, que utiliza o estrume de gado na construção do ninho, que ocasionou o uso do material nas casas de taipa, para aumentar a durabilidade das paredes e a resistência a fissuras. A mistura desse barro costuma ser feita com os pés descalços.

Já a fundação utilizada era formada pela continuidade do tronco em que era cortado o esteio, conhecido como nabo. Para retardar o apodrecimento da madeira, o nabo era crestado a fogo. Próximo ao piso, os esteios recebiam encaixes para fixação dos baldrames mais altos que o solo, para evitar a penetração da água. Sobre eles, apoiavam-se os barrotes de sustentação dos assoalhados, o piso comumente empregado neste tipo de técnica (PISANI, 2004, p. 13).

A espessura da parede varia entre 15 e 20 centímetros, e o tempo de secagem da mesma é de aproximadamente um mês antes de receber os revestimentos (PISANI, 2004, p. 15).

A parede de taipa de mão deve ser revestida, para proteção contra as intempéries. Enquanto os beirais resguardam as partes superiores, o revestimento em argamassa protege o restante. A argamassa de revestimento é composta pela mesma terra da taipa, misturada por vezes com esterco fresco e areia. Com o mínimo de três demãos, paulatinamente a terra e o esterco são adicionados em menor quantidade, até que na última demão há o predomínio da areia e a adição da cal (CORONA e LEMOS, 1972).

2.1.3 - Uso da Taipa na Habitação paraense

No Pará, registram-se casas de sopapo em regiões rurais localizadas em terra firme notadamente da chamada região do Salgado e Bragantina, a Nordeste do Pará

(Figuras 2.5 e 2.6). Por não haver um inventário sistemático das técnicas construtivas empregadas nas habitações dos séculos XVII a XIX no Pará, tais constatações se valem de observações realizadas *in loco* pelo autor, desde a infância, passando pela docência na Disciplina Arquitetura brasileira ministrada ao Curso de Arquitetura da UFPA, e em visitas de campo realizadas durante a pesquisa para a Tese, quando se coletou amostras de materiais e fotografias das estruturas durante os processos de demolição das mesmas.



Figura 2.5: Casa da Família Medeiros em Bragança. Foto: Fortunato Neto (2011).



Figura 2.6: Detalhe da parede em taipa de mão, tabique. Foto: Fortunato Neto (2011).

Na construção em taipa realizada no Pará, se utiliza estruturas em xadrez em que varas finas e tortuosas (galhos) são fixadas com cipó em amarras, confeccionando desta maneira as paredes que ao deixarem pequenos vazados, como num treliçado rústico, estes são preenchidos com barro jogado com a mão na chamada técnica do sopapo, uma vez que o barro é lançado com força como uma pedra, facilitando sua fixação na vertical. Este processo pode ser testemunhado pelo autor durante atividades de campo realizadas na Extensão Universitária nos anos 70 e 80 do século passado.

Alguns exemplares deste tipo de habitação ainda são encontrados em Belém, embora com pouca frequência em regiões mais afastadas do centro ou de forma mais erudita em casas construídas pelos portugueses na Cidade Velha (origem de Belém) e bairros como da Campina e do Reduto, entre outros. Nas soluções mais populares, o piso é construído em barro batido e por isto a casa só pode ser erguida em terra firme (Figuras 2.7 e 2.8).



Figura 2.7: Casa de Sopapo. Fonte: COSTA e MESQUITA (1978, p. 31).



Figura 2.8:A Taipa em Belém. Foto do autor(2003).

2.2 - OS PAINÉIS E SUAS UTILIDADES NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

2.2.1 - A Projetualidade e a flexibilização da Arquitetura

Com a evolução da ciência e da tecnologia surgem novas formulações no que concerne ao método projetual de edificações. A fabricação de objetos compondo sistemas de montagem, seguindo uma sequência com número de operações, além de programas mais complexos para os edifícios, com técnicas construtivas mais arrojadas, passa a exigir um planejamento de um novo processo que usa o projeto do projeto (o meta-projeto) (Figuras. 2.9 e 2.10). Há desta maneira, um controle contínuo sobre o processo que permite o aperfeiçoamento durante seu desenvolvimento, o que não ocorre no método tradicional, caracterizado pela ‘tentativa e erro’ que somente no fim da ação poderá ser corrigido ou aperfeiçoado.

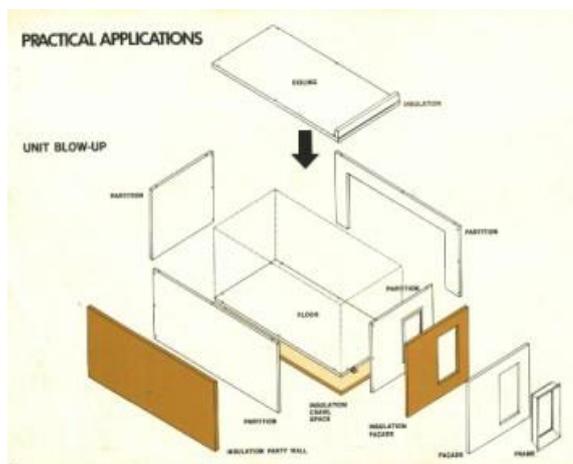


Figura 2.9:LesProcédés Sigma – o projeto. Fonte: LES PROCÉDÉS SIGMA (1975).



Figura 2.10: Sigma – a produção industrial. Fonte: LES PROCÉDÉS SIGMA (1975).

Os principais enfoques sistemáticos utilizados ainda nos dias atuais no planejamento e solução de problemas de projeto indicam métodos que dependem da criatividade do projetista, apoiando-se no procedimento racional, desde a sua atuação de controlador do processo, buscando soluções para problemas inéditos e complexos. “A divisão do projeto constitui-se em três fases: análise, síntese e avaliações.” (JONES *apud* STROETER, 1986, p.148).

Assim, na fase da análise, são realizados os estudos preliminares do projeto, na síntese ocorre à concretização das idéias através da definição das formas e, na avaliação há possibilidade de refazer os estudos buscando-se, desta maneira, a melhor solução para a ‘proposta final’.

MONTENEGRO (1987), ao reportar o projeto como metodologia ou criatividade, faz uma análise embasada no ensino do projeto na qual se pode tirar algumas conclusões. O ensino do projeto e conseqüentemente, a maneira de projetar ao longo dos anos, busca a solução do espaço habitado fundamentalmente pelo homem baseando-se num programa de necessidades e como conseqüência surgem vários esboços concebidos até chegar-se àquele que poderá ser o melhor. O método projetual ou do ensino do projeto poderá ser considerado o mais simplório possível ou como diria o autor, “não chega nem a ser um método” (MONTENEGRO, 1987, p.49).

O organograma e o fluxograma começam a direcionar o projeto, em que fatores de decisão passam a ser mais bem visualizados. A partir daí, são realizadas diversas sínteses através dos partidos gerais, estudos de massa (volumes), e a inserção do objeto na paisagem com a análise mais minuciosa do meio em que irá se implantar o edifício.

A partir do desenvolvimento da informática, o projeto passa a ser produto da eletrônica e programas variados apontam as novas tomadas de decisão utilizando-se de modelos alternativos.

Ao longo dos movimentos da arquitetura, muitas metodologias projetuais já foram postas em uso, em que, pensamentos, sentimentos, percepção e intuição acabam por estarem presentes no consciente do profissional que produz arquitetura. Conclui-se que os métodos projetuais ainda em vigor são intuitivos, pois o uso de desenhos

utilizados tradicionalmente pelos arquitetos são incapazes de abordar uma contínua sobrecarga de problemas cada vez mais complexos a serem solucionados, sem que os instrumentos de análise mais racionais, bem como maiores e melhores classificações mais apuradas acabem por fazer os projetistas a se servirem em seus métodos de trabalho de exemplos já testados quando buscam suas novas concepções (JENKS e BAIRD, 1975).

A partir do melhor estudo das formas geométricas, apoiando-se nos cálculos matemáticos, podem os arquitetos se utilizar de novos métodos projetuais levando-os a uma evolução do fazer a arquitetura e com isto fazendo surgir novas tendências (Figura 2.11).



Figura 2.11: Fuller e a cúpula geodésica. Fonte: JENKS e BAIRD (1975).

Outra tendência arquitetônica relativa ao método projetual corresponde à decomposição do objeto projetado, apresentando-se como paradigma, aí uma caixa estanque e fechada começa a ser produzida em planos, que se movimentam com tal liberdade, que o espaço passa a propiciar uma gama de soluções, tal que a própria configuração plana e retilínea assume o aspecto curvo de várias alternativas (Figura 2.12).

Ao projetar o Complexo Arquitetônico da Bauhaus em Dessau na Alemanha, Walter Gropius faz a desarticulação do volume do edifício em três partes nas quais são projetados os dormitórios, as salas de aula e o laboratório. Estas partes se posicionam em direções diferentes, havendo a individualização dos componentes funcionais, do conjunto arquitetônico havendo aí a dissonância dos volumes projetados (Figura 2.13).

Os arquitetos do começo do século XX como Gropius e Corbusier buscavam a necessidade de expansão da indústria com a produção arquitetônica. Em 1923 Corbusier disse: “a grande indústria deve ocupar-se da construção e a estabelecer os elementos da casa sob a base da produção em série” (DREW, 1973, p. 10) (Figura 2.14). Gropius parte também para a produção em série quando desenvolve o conceito de casas construídas a partir de componentes normalizados.

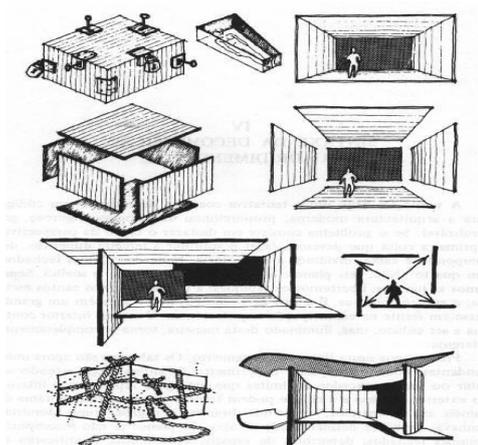


Figura 2.12: Decomposição. Fonte: ZEVI (1984,p. 44).

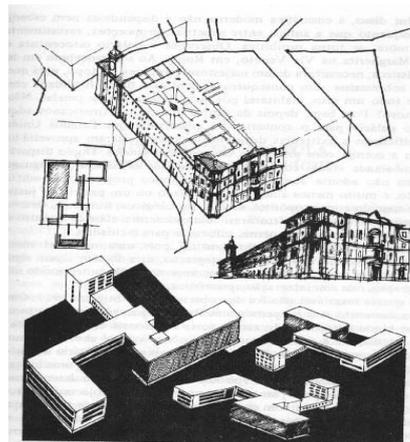


Figura 2.13: O convento volumétrico e a Bauhaus. Fonte: ZEVI (1984).

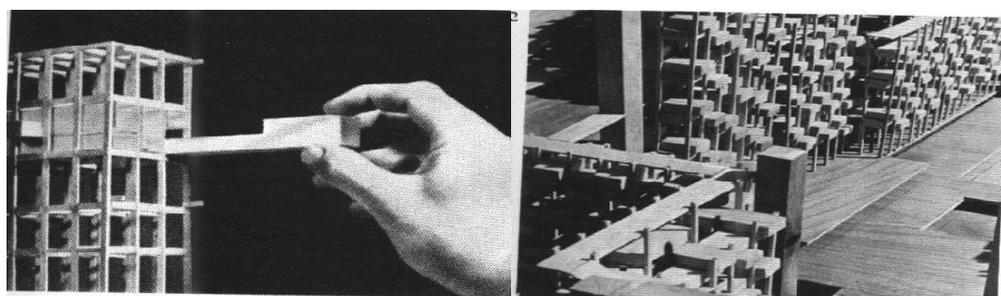


Figura 2.14: Componentes padronizados e estrutura x fechamento – Le Corbusier e Moshe Safdie. Fonte: DREW (1973).

Vê-se, portanto, que componentes inspirados ainda nos primórdios do Modernismo passam a ser contemporâneos, com novos condicionantes que servem para modificar técnicas construtivas estruturais, tanto no conjunto do edifício, quanto nos seus detalhes internos como nas paredes divisórias de ambientes arquitetônicos.

2.2.2 - Alternativas de Flexibilidade

Como já foi reportado, o ponto principal da flexibilidade do projeto consiste na sua adaptação ao uso. Entretanto, não se resume a esta questão, caracteriza-se também pela facilidade do movimento das paredes internas que são construídas após a estruturação e cobertura da habitação com possíveis mudanças. Logo, os ambientes da edificação podem ser construídos e acabados paulatinamente, facilitando o uso escalonado do abrigo.

ROSSI em seu artigo ‘Exemplos de flexibilidade na tipologia habitacional’ diz “(...) a flexibilidade é o que pode resultar do esforço despendido pelo arquiteto para criar possibilidades de alterar futuramente algumas áreas, as funções e as composições em uma unidade habitacional.” (ROSSI, 1998, p. 212).

Assim, ao construir uma habitação, o homem comum constrói a estrutura de sustentação de sua casa até a cobertura permitindo, embora com alguns limites, que as paredes sejam flexibilizadas e conseqüentemente os ambientes internos possam ser remanejados propiciando dimensões variáveis e localizações permutáveis. Conclui-se, portanto, que a flexibilização do interior da casa possa ser limitada apenas pela cobertura que se constitui na marca do abrigo inicial.

A estrutura principal da edificação permite ao usuário certa liberdade de opções quando divide os ambientes, já que peças horizontais e verticais estruturadas se encarregam de promover a sustentação da cobertura e configurar o volume autoportante da construção, assim as paredes podem ser então alocadas em posições diversas. Materiais como a tábuia corrida, o compensado, os tabiques rurais, os treliçados em ripas ou outros materiais alternativos como o bambu, os troncos de palmeira ou mesmo tubos construídos com os mais diversos materiais, painéis de esteira e tramados de palha ou fibras permitem o isolamento total ou parcial dos ambientes, podendo ser remanejados ou trocados quando necessário (Figura 2.15).

O espaço interior nessas habitações, como em qualquer outra, utilizando-se desses materiais divisórios, torna-se flexibilizado, tanto no aspecto da possível mudança

de função como na necessidade de ampliação. Nas soluções mais elaboradas de habitações é possível a utilização de outras divisórias industriais existentes no mercado. Entretanto, nos inspirando na técnica construtiva da taipa de mão, na qual as paredes apresentam papel divisório e não portante, buscaremos construir alternativa tecnológica e ambientalmente compatível, que possa ser utilizada na setorização de ambientes internos a edificações.

Portanto, diversas alternativas na produção das divisórias internas e até externas decorrerão da oportunidade em obter materiais com facilidade.



Figura 2.15: Diversidade dos materiais divisórios. Fotos do autor (1988; 2005; 1990).

Assim, podemos exemplificar o uso de painéis e ripamentos nas mais diversas partes da habitação (Figura 2.16).



Figura 2.16: A madeira em forma de ripa, compondo fachadas, balcões e cercas. Fotos do autor(1996).

O uso de metais e blocos cerâmicos ou de cimento contribuem para flexibilizar as divisórias definidoras dos ambientes construídos sob a cobertura (Figura 2.17).



Figura 2.17: E os materiais mais industrializados poderão ser dispostos nas divisões internas tais como tubos e cobogós. Fotos do autor (2003).

A Figura 2.18 destaca o uso do bambu, que poderá ser aplicado inteiro ou dividido em duas partes, fixando-se com prego ou amarração a uma estrutura em madeira ou no próprio bambu, sendo que o uso do vime exige estrutura que poderá ser em madeira ou metal, fixando-se através de amarras com o próprio material e assim a aplicação da argila virá a seguir.

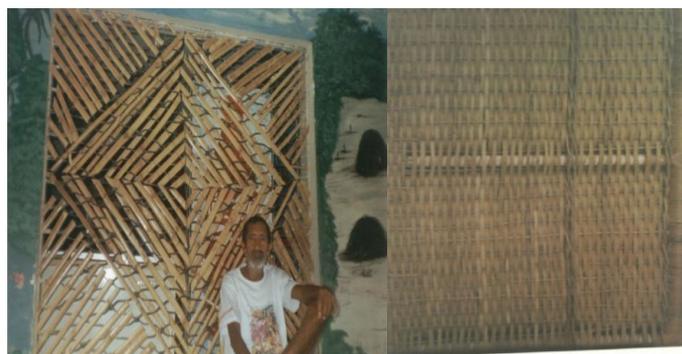


Figura 2.18: O painel em seções longitudinais de bambu, bem como o uso do vime. Fotos do autor (2003).

Conclui-se, portanto, que as alternativas referentes à divisão de ambientes no interior da habitação requerem do profissional projetista conhecimento amplo de materiais alternativos. Assim: o uso de régua e ripamentos, bem como palhinhas constantes na Figura 2.18, configuram-se como materiais que poderão se compor com argilas, propiciando soluções que se adequam as necessidades ambientais.

2.3 - CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

2.3.1 - Construção civil e resíduos

Independente de serem produtos duráveis ou não, todos geram resíduos ao meio ambiente que podem vir desde a extração das matérias-primas, passando pelos métodos processuais e distribuição até a disposição final desses materiais (CAMPOS, 2012). Devido ao grande acúmulo de resíduos, agravado cada vez mais pelas diversas descobertas na ciência que possibilitam o desenvolvimento de novas tecnologias e, conseqüentemente, uma produção em massa, estes ocasionam diversos problemas sociais e ambientais levados pela falta de áreas disponíveis para deposição desses produtos, além de um enorme desgaste das matérias-primas, altos custos sociais no gerenciamento dos resíduos, problemas no saneamento público e grande contaminação dos mananciais hídricos (ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d; CAMPOS, 2012).

Uma das atividades econômicas mais antigas e importantes do mundo é a construção civil e decorrente do seu crescimento anual, atualmente é responsável por cerca de 40% da economia mundial (COSTA e VIEIRA, 2014), o que resulta em um alto consumo de recursos naturais (em média 60% das matérias-primas acessíveis), gerando uma enorme quantidade de resíduos sólidos urbanos. É responsável pela emissão de 30% de Carbono e o consumo, levando em consideração somente o parque edificado, de 42% da energia produzida. Contudo, não vem apresentando avanços significativos na prevenção e mitigação de danos ao meio ambiente (COSTA e VIEIRA, 2014.).

Acredita-se que cerca de 136 milhões de toneladas de rejeitos foram gerados em 1996 decorrentes das construções e demolições. A taxa de geração per capita estimada por pessoa foi de 2,8 quilos, sendo que 40% dos resíduos (equivalente a 58 milhões de toneladas por ano) é produzida pelas fontes residenciais e 57% (78 milhões de toneladas por ano) são de fontes não-residenciais. As demolições geram 48% dos fluxos dos rejeitos (65 milhões toneladas por ano) as reformas são responsáveis por 44% (60 milhões de toneladas por ano) e os canteiros de obras produzem 8% o que

equivale a 11 milhões de toneladas por ano de resíduos (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: EPA, 1998) (Tabela 2.1)

Tabela 2.1: Produção de rejeitos em 1996 (adaptada).Fonte: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: EPA (1998).

Fonte	Detritos					
	Residências		Não- residenciais		Total	
	Tonelada	Porcentagem (%)	Tonelada	Porcentagem (%)	Tonelada	Porcentagem (%)
Construção	6,560	11	4,270	6	10,830	8
Reformas	31,900	55	28,000	36	59,900	44
Demolição	19,700	34	45,100	58	64,800	48
Total	58,160	100	77,370	100	135,530	100
Percentual (%)	43		57		100	

Como alternativa a poluição e ao risco de esgotamento dos recursos naturais, a construção sustentável é desenvolvida com métodos considerados ambientalmente corretos para produção e consumo, além de reduzir a poluição, garantindo a sobrevivência dos ecossistemas, sem, entretanto, abdicar-se da inovação da tecnologia. A Figura 2.19, exemplifica um diagrama de construção sustentável.

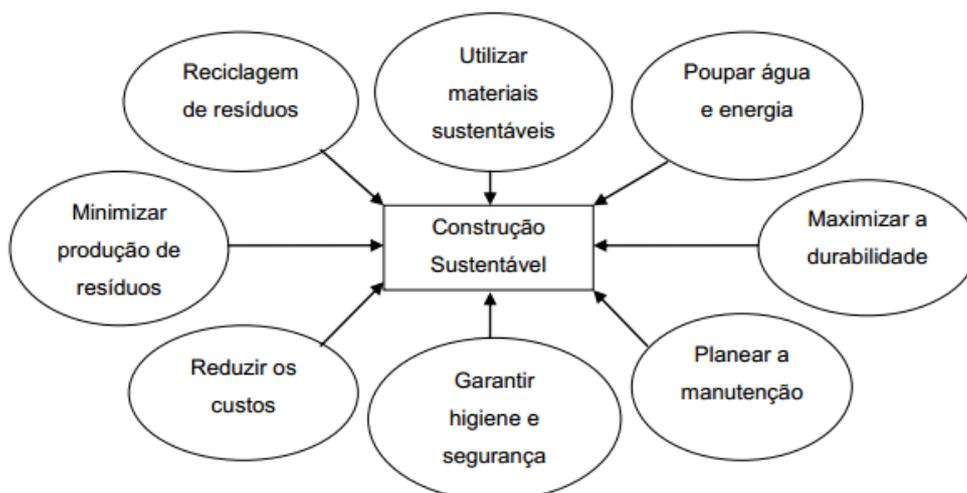


Figura 2.19: Diagrama da construção sustentável, adaptada. Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS *apud* TEODORO(2011).

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas e causadoras de poluição ao meio natural. Segundo COSTA e VIEIRA:

As fases de construção e reforma, no Brasil, por exemplo, produzem anualmente, cerca de 500 kg de entulho por habitante, equivalente a 40% de todo resíduo criado por todas as atividades humanas. Para se ter noção dos impactos da indústria da construção civil, o setor é responsável pelo consumo de 66% de toda madeira removida, os insumos usados na construção civil também geram bastantes impactos ambientais para serem extraídos ou produzidos, a exemplo da produção de cimento, que gera de 8% a 9% de todo o CO₂ emitido no Brasil (COSTA e VIEIRA, 2014, p. 30).

As obras de reformas são as principais produtoras de resíduos, apesar de gerarem pequenos volumes, os quais, acumulados, somam maior quantidade que os produzidos pelas novas edificações. Somente no Brasil, os resíduos de construção e demolição fornecidos pelas reformas equivalem a 59%, enquanto na construção de novos prédios são de 21% e as novas residências de apenas 20% (COSTA e VIEIRA, 2014), (Figura 2.20)

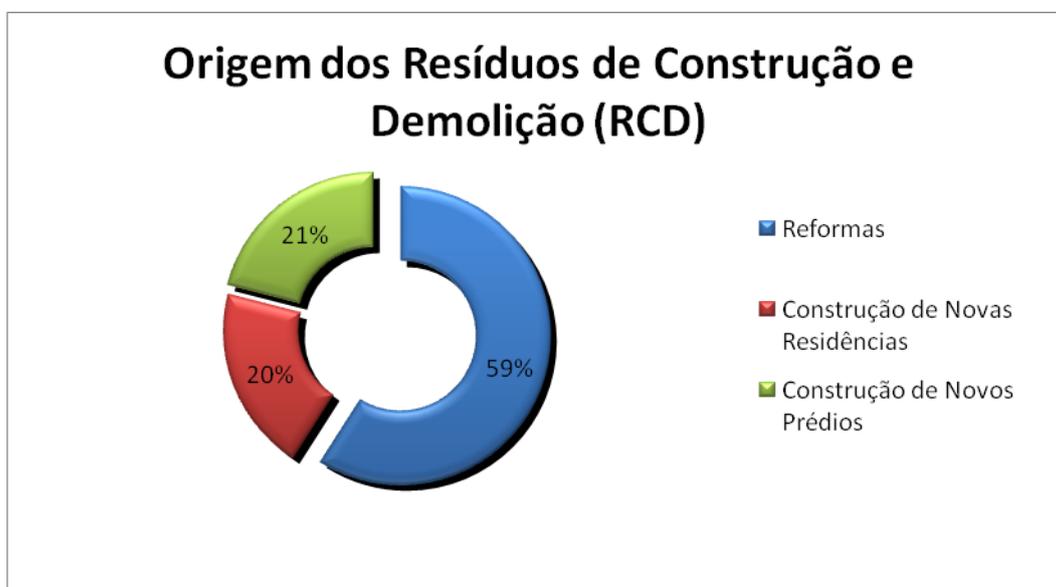


Figura 2.20: Gráfico quantitativo de Origem dos RCD (adaptado). Fonte: COSTA e VIEIRA (2014, p.31).

Esses resíduos são definidos segundo MARQUES e NETO (*apud* COSTA e

VIEIRA, 2014) como sendo todos os rejeitos de materiais empregados nas execuções das etapas nas obras de construção civil e podem ser classificados segundo sua característica. A NBR 1004:2004 classifica os resíduos sólidos baseados em sua periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Considerando esses aspectos são divididos em resíduos classe I (perigosos) e resíduos classe II (não perigosos), (COSTA e VIEIRA, 2014) classifica de acordo com a biodegradabilidade dos resíduos os separando em: resíduos sólidos fácil, moderado e não degradável.

Segundo a RESOLUÇÃO CONAMA Nº001, de 23 de janeiro de 1986:

Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais (COSTA e VIEIRA, 2014, p. 41).

Portanto, qualquer material produzido e utilizado no setor da construção civil ocasiona impactos ao meio natural, por esse motivo os resíduos gerados pelas construções e demolições estão suscetíveis à Legislação Federal.

A Resolução CONAMA nº 307, de 5 julho de 2002, representa um enorme avanço para a redução dos danos ocasionados ao meio ambiente pela produção de resíduos na indústria da construção civil. Essa resolução estabelece aos Municípios e Distrito Federal a execução de um plano integrado de gerenciamento desses resíduos. Neste plano constam formas de orientações, fiscalizações e alguns procedimentos de responsabilidade sobre os resíduos, além da realização de cadastramento das áreas públicas ou privadas que tenham a capacidade de recebimento, triagem e armazenamentos temporários desses detritos, além de fornecer licença aos locais que beneficiem a disposição final e promover ações educativas na redução dos resíduos (COSTA e VIEIRA, 2014).

Segundo COSTA e VIEIRA (2014), como boa parte dos resíduos é produzida

pelas demolições, uma solução que tem se tornado muito interessante para a organização e controle desse problema é a demolição seletiva. Este processo se baseia no desmonte de uma construção, na qual são retirados todos os elementos da obra, deixando apenas, a estrutura que será implodida ou demolida por meio de outro sistema. O objetivo principal dessa atividade é garantir o máximo de materiais que possam ser reutilizáveis ou reciclados, de modo a reduzir a quantidade de resíduos depositados em aterros ou locais inadequados. Entretanto, esse procedimento é muito trabalhoso e difícil de ser realizado de forma oportuna e econômica.

A Figura 21 ilustra a hierarquização da gestão de resíduos de demolições e operações de construção, gerando a racionalização da produção de resíduos.

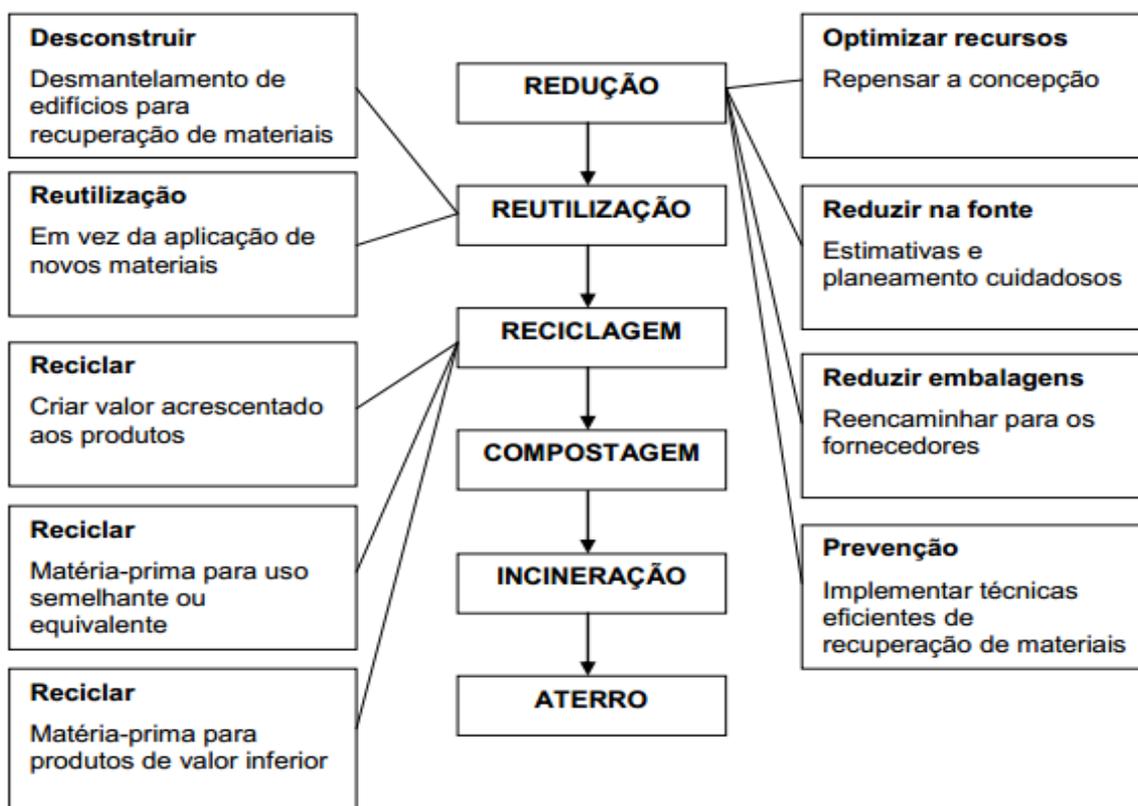


Figura 2.21: Hierarquia da gestão de resíduos de demolições e operações de construção. Fonte: CHARLES e ABDOL *apud* TEODORO (2011).

2.3.2 - Reutilização e reciclagem

Cada vez mais estudos estão sendo realizados com o objetivo de produzir

agregados reciclados para serem empregados na construção civil, apesar de não possuírem as mesmas características que os agregados naturais, existem meios que possibilitem o melhoramento desses materiais, mas, primeiramente é necessário que se conheçam as propriedades físicas e mecânicas dos resíduos utilizados na confecção desses agregados. Por esse motivo analisar e entender como funciona esses resíduos para posteriormente utilizá-los para outros fins é uma importante solução para incentivar o uso de reciclagem no mercado, possibilitando com isso o prolongamento dos recursos naturais (RAKSHVIR e BARAI, 2006).

Segundo TEODORO (2011), a reutilização dos materiais, apesar de não resolver diretamente os problemas gerados pela produção de resíduos, gera resultados bastantes positivos devido ao reaproveitamento de um determinado produto por pelo menos uma segunda vez, independente de ter ou não a mesma função. Sem fazer uso de processos industriais, essa atividade possibilita a redução da necessidade de explorações dos recursos naturais, deposição em aterros e a queima de lixo, tornando-se um processo vantajoso ao meio ambiente.

Igualmente como a reutilização, a reciclagem também é uma importante componente no desenvolvimento sustentável por permitir o prolongamento da vida útil dos produtos e aterros sanitários, favorecendo a redução do uso de recursos naturais não-renováveis e dos impactos ambientais, além de criar novos empregos gerando mais renda (ANTUNES *apud* TONICELO e ANTUNES, s.d).

O processo de reciclagem consiste na transformação, por meio de processos industriais, de um determinado material usado, reintroduzindo-o no sistema produtivo como um produto diferente do inicial, nessa atividade é importante que se produza materiais com mais qualidades e que gere o mínimo de detritos possíveis (TEODORO, 2011). Neste ponto é importante destacar a importância da reciclagem dos resíduos gerados pelas construções e demolições que atualmente produzem mais de 50% de massa de resíduos sólidos urbanos (PINTO *apud* ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d).

Apesar dos benefícios que a reciclagem possibilita ao desenvolvimento econômico e ao meio ambiente, como qualquer atividade realizada pelo homem, ela

também acarreta danos à natureza. A utilização de determinados resíduos, a tecnologia que será empregada e o próprio uso destinado a esse novo produto podem acarretar em um processo mais impactante que o próprio resíduo empregado na reciclagem, como por exemplo, o uso de materiais tóxicos. Por essa razão é necessário que esse processo (Figura 2.22) seja adequadamente gerenciando devido aos sérios riscos ambientais que podem ocasionar pelo mau planejamento (ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d).

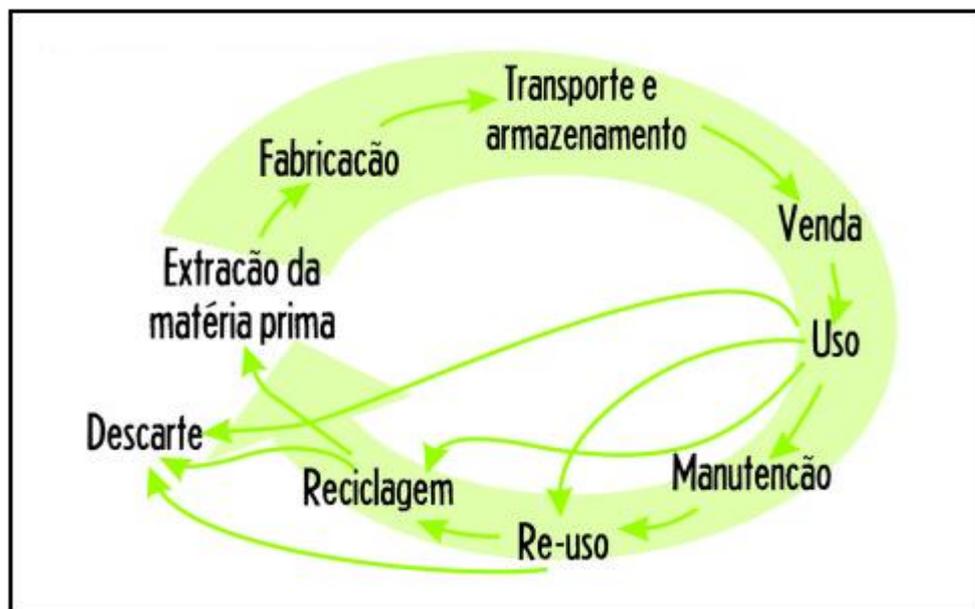


Figura 2.22: Representação do ciclo de vida dos produtos. Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS *apud* TEODORO(2011).

2.3.3 - Análise do ciclo de vida dos materiais

Um mecanismo que tem sido cada vez mais utilizado na construção civil é a Análise do Ciclo de Vida dos materiais que tem como objetivo analisar o desempenho e os impactos ocasionados pelos produtos ao meio ambiente e a saúde humana em todas as fases de sua vida útil (SILVA e OLIVEIRA *apud* SANSÃO, 2011). Podemos dizer que o ciclo de vida dos materiais está diretamente ligado a toda história do material, considerando desde a extração dos recursos naturais, passando pela produção, distribuição e consumo, até sua conversão em lixo ou resíduo, além de investigar novas oportunidades de melhorias e, principalmente, ter conhecimento sobre os impactos ambientais gerados pela construção civil (CAMPOS, 2012; RIBEIRO, *et al.* *apud*

SANSÃO, 2011).

Complementando, esta análise é uma ferramenta de apoio que auxilia a tomada de decisões e gera informações por meio de um inventário de entradas e saídas presentes em todas as etapas ao longo da vida útil dos materiais ou processos (SANSÃO, 2011).

A indústria da construção civil vem utilizando a análise do ciclo de vida desde 1990 e logo se tornou uma importante ferramenta na avaliação dos materiais empregados nas construções, incentivando a criação de normas para essa atividade. (Figura 2.23) (ORTIZ *et al apud* CAMPOS, 2012).

Os trabalhos de normalização internacional da ACV pela ISO envolveram mais de 300 especialistas em ACV de cerca de 29 países, que atuaram direta ou indiretamente na padronização, e que geraram a série de normas ISO 14040 relativas à ACV. A norma NBR ISO 14040 (2001) foi internalizada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, mediante trabalho desenvolvido pelo SubComitê de Avaliação do Ciclo de Vida - SC-05 do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental - ABNT/CB-38. A partir de 2006, as normas ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 foram compiladas nas normas ISO 14040 (2006) e 14044 (2006) (SANSÃO, 2011, p. 42).

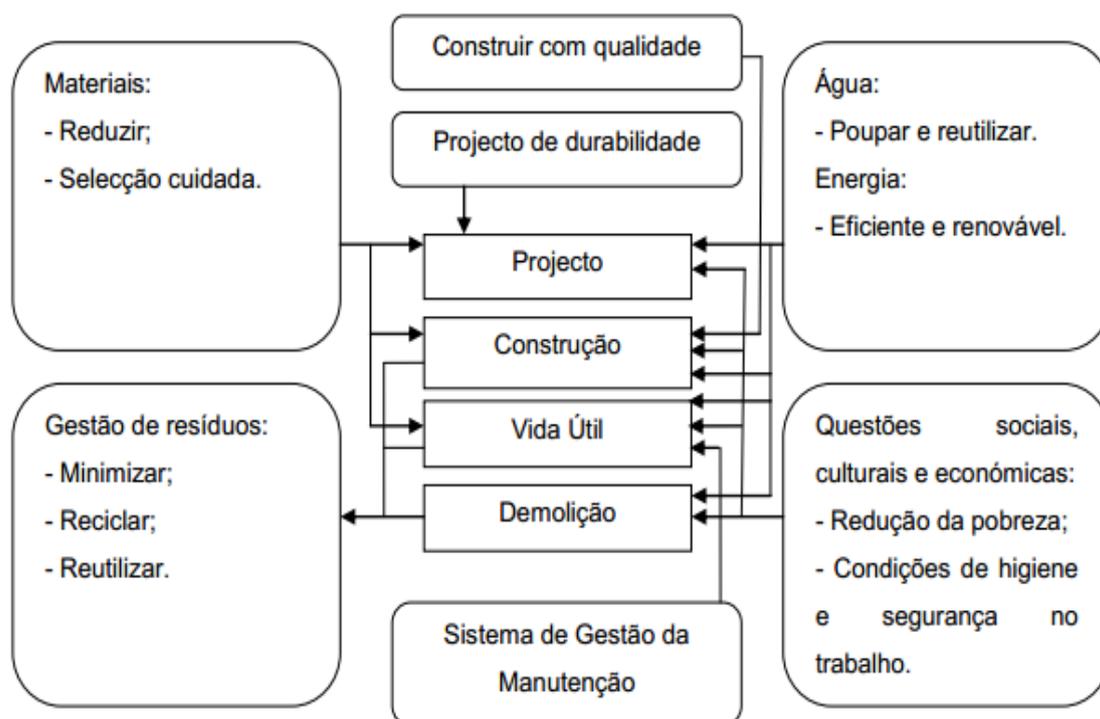


Figura 2.23: Esquema do ciclo de vida de uma construção, adaptado. Fonte: ALMEIDA e BRAGANÇA e MATEUS *apud* TEODORO(2011).

Segundo a Norma NBR ISO 14040 (2009) a análise do ciclo de vida é dividida em quatro fases. A primeira é relacionada à definição do objetivo e o escopo da pesquisa (ISO 14041), que determina o propósito e os limites do estudo além dos métodos que serão utilizados e o impacto que irá causar ao meio ambiente (COLTRO *et al. apud* SANSÃO, 2011). O segundo passo refere-se à análise do inventário (ISO 14041), envolvendo os procedimentos das coletas de dados e de cálculos quantitativos das matérias-primas, energia, transporte, emissões para o ar, entre outras variáveis relacionadas ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. Esta parte é a mais difícil e trabalhosa, devido, principalmente, a grande dificuldade de encontrar informações específicas e confiáveis de cada região (SEO e KULAY *apud* CAMPOS, 2012; SOUSA *apud* SANSÃO, 2011).

Na terceira etapa ocorre à avaliação do impacto (ISO 14042), na qual é estudada a proporção do que cada produto gera ao meio ambiente, definindo perfil e fornecendo informações referentes aos impactos relacionados, consumo dos recursos e as emissões a natureza (SANSÃO, 2011). A última etapa é a análise e interpretação de todos os resultados coletados nas etapas anteriores (ISO 14043), possibilitando conclusões e recomendações para a diminuição dos impactos ambientais ocasionados pelos produtos coletados (SOUSA *apud* SANSÃO, 2011), (Figura 2.24).

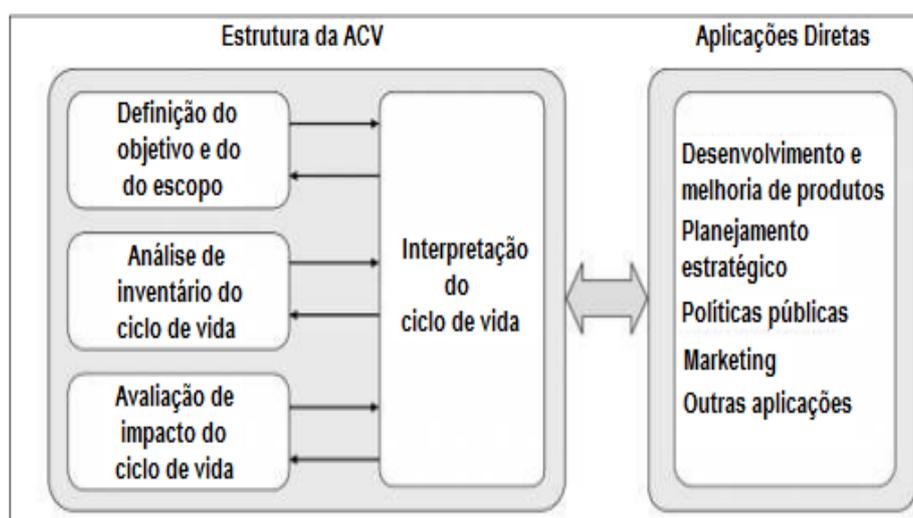


Figura 2.24: Fases de uma ACV. Fonte: IBRAHIM *et al apud* CAMPOS(2012).

Segundo TONICELO e ANTUNES os impactos gerados pelos produtos possuem diversas fases de danos ambientais, portanto todas as etapas envolvidas nos processos causam efeitos negativos ao meio ambiente, por isso a importância de considerar o ciclo de vida de cada material, a fim de determinar a análise das conseqüências ambientais, econômicas e sociais que este material irá causar e o real custo econômico, social e ecológico associados aos efeitos do consumo de determinados produtos.

De acordo com TONICELO e ANTUNES a extração dos recursos naturais é a fase que mais causa impacto devido contribuir diretamente com o esgotamento das matérias-primas e extinção das florestas e animais. Na fase de produção, ocorre um alto consumo de energia, além da intensa produção de resíduos sólidos industriais e emissão de gases poluentes, esse último também ocasionado pelos transportes, assim como a poluição gerada pelo alto consumo de combustíveis. Na última etapa, ao se descartar os materiais em lugares inadequados podem ocasionar a criação de diversos lixões e aterros sanitários, contribuindo então para o aumento do índice de poluição e doenças.

Dentre os materiais empregados na construção civil, destacam-se os materiais cerâmicos. A argila é um material constituído de minerais (principalmente compostos de silicatos e alumina hidratados) que misturada à água se transforma em uma pasta podendo ser moldada e ao secar, endurece, tornando-se o produto ideal para a fabricação de cerâmicas (TEIXEIRA *apud* TONICELO E ANTUNES), embora sua contínua extração promova degradação ao meio ambiente.

De acordo com TONICELO e ANTUNES.

O grupo dos materiais cerâmicos inclui a cerâmica comum, a cerâmica avançada e o vidro. Para os acabamentos utiliza-se o esmalte que se trata de uma espécie de tinta preparada com pós de óxidos metálicos e fundente. Outras técnicas de acabamentos são utilizadas pela indústria como o decalque, a serigrafia, o filme ou selo gomado e o gabarito. As cerâmicas avançadas são empregadas para fins eletro-eletrônicos e para fins estruturais como: ferramentas de corte, rolamentos, matrizes de extrusão, isoladores de velas de ignição, etc. O vidro é composto basicamente de sílica, derivada da areia ou cristais de quartzo. Este material é empregado na fabricação de utilitários domésticos, frascos de perfumes, decoração, arquitetura, etc (TONICELO e ANTUNES, s.d, p. 10).

A seguir, (Figuras 2.25 e 2.26) apresentam-se os fluxos dos ciclos de vida das respectivas cerâmicas.

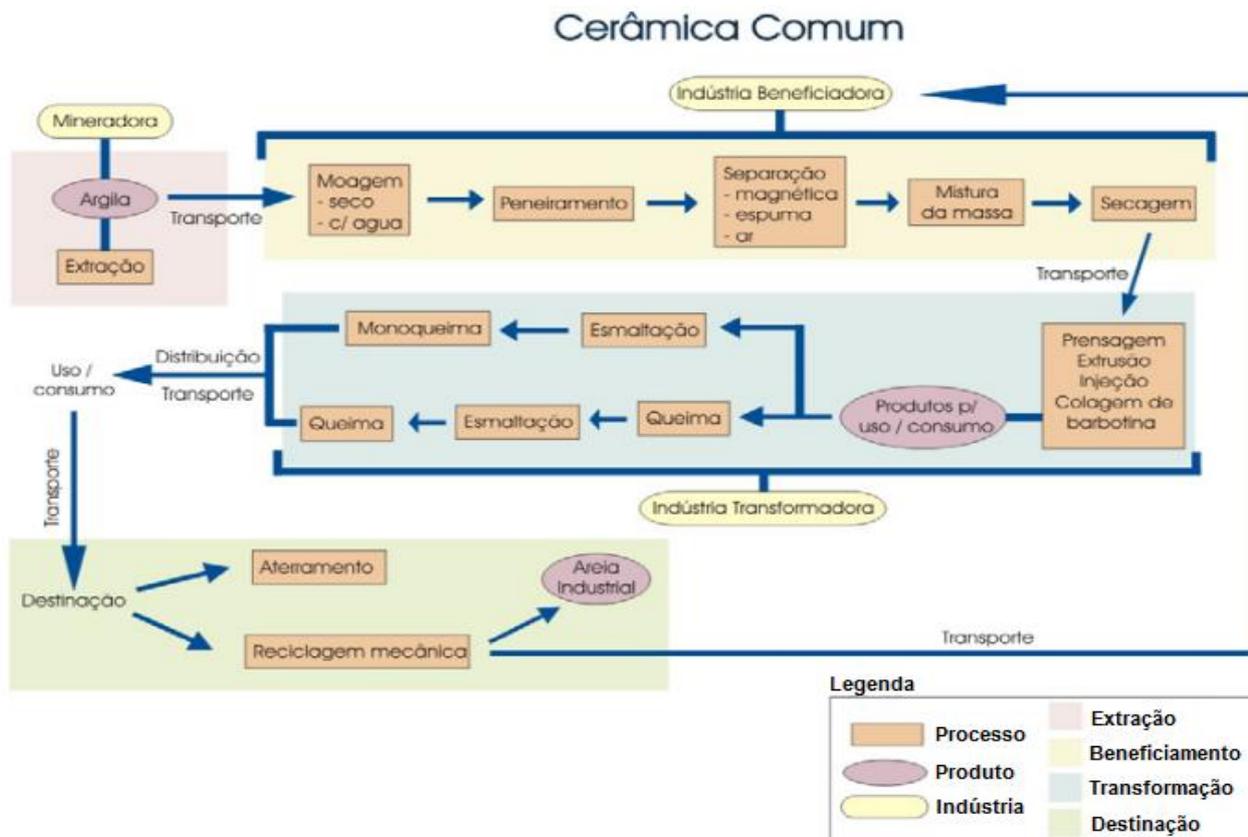


Figura 2.25: Fluxograma do ciclo de vida da cerâmica comum. Fonte: TONICELO e ANTUNES(s.d).

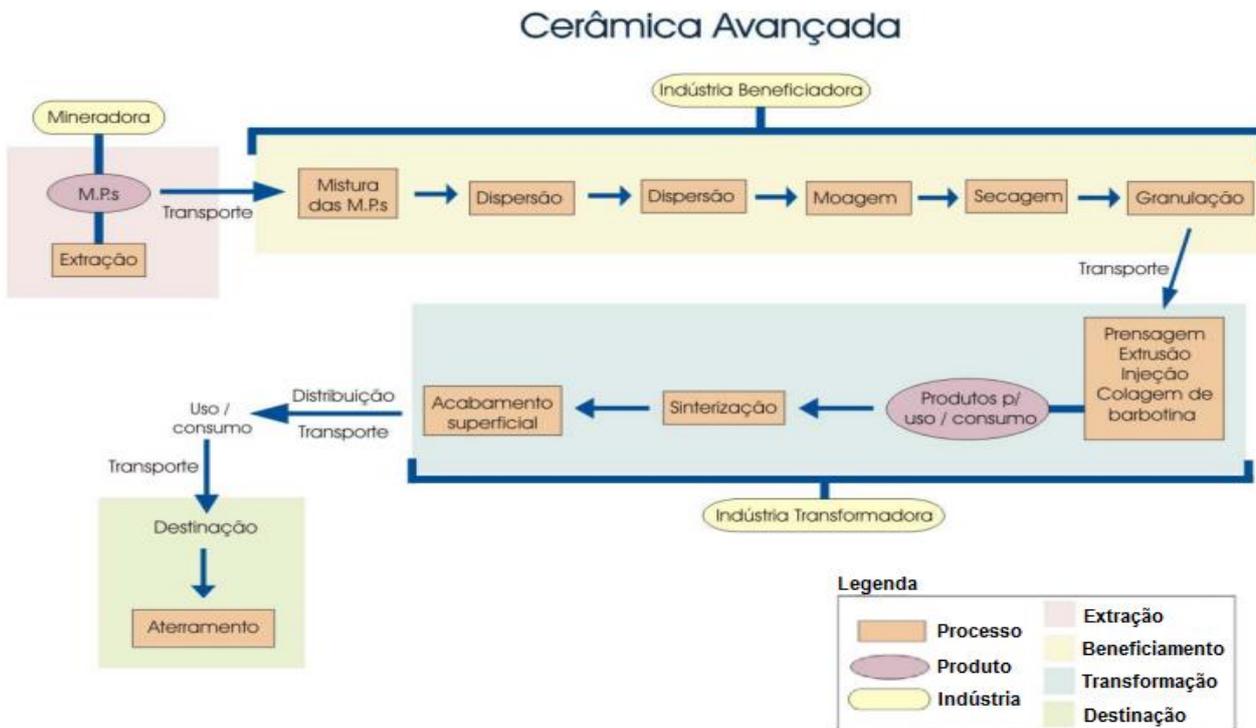


Figura 2.26: Fluxograma do ciclo de vida da cerâmica avançada. Fonte: TONICELO e ANTUNES(s.d).

Embora a indústria do cimento também promova sérios prejuízos ao meio ambiente, são realizadas constantes pesquisas a fim de misturar ao mesmo, outros materiais cujo reaproveitamento e reciclagem minimizam danos ambientais e melhoram a qualidade do mesmo.

Segundo ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, no Brasil a indústria cimenteira tem adotado cada vez mais o processo de reciclagem, principalmente escórias de alto forno básicas e cinzas volantes, tornando-se referência na reciclagem dos produtos gerados por indústrias de insumos para construção civil. Estima-se que em 1996 ocorreu uma redução na produção de CO₂ em 29% e uma economia de 28% de combustível, resultante da reciclagem das cinzas volantes e escórias granuladas de alto forno básicas, além da calcinação de argila e adição de filler calcário e, entre 1976 e 1995 ocorreu uma economia de pelo menos 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros. Atualmente a indústria cimenteira tem iniciado a prática de co-processamento, tido como calcinação de resíduos em fornos de cimento, reduzindo assim, o consumo de energia e o volume de resíduos em aterros (ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d.).

A questão ambiental tem interessado cada vez mais as indústrias siderúrgicas e é por esse motivo que recentemente foi construída a primeira fábrica brasileira de cimento que não possui forno próprio para a fabricação de clínquer, a cimento Mizu, operando na produção do cimento CPIII (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, s.d). Os efeitos desse tipo de produto são menores do que os gerados pelo cimento Portland comum, reduzindo as emissões e o consumo de matérias-primas, além de aumentar a durabilidade das estruturas de concreto fabricadas com as escórias de alto forno, diminuindo os gastos com as manutenções das obras com esse tipo de material (BIJEN *apud* ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d).

O setor termoelétrico e outras indústrias que queimam carvão em caldeiras de leito fluidizado geram cerca de 1,4 M ton de cinzas volantes todos os anos e cerca de 0,36 Mton de cinzas de grelha, mas este valor deve crescer no futuro próximo. As cinzas volantes são comercializadas especialmente para a indústria de cimento, embora existam várias pesquisas para a produção de cal hidráulica e cimentos (ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d. p. 8).

A seguir a reprodução esquemática do ciclo de vida do cimento (Figura 2.27), na qual são elucidados os caminhos de sua produção e uso como material final e fundamental na indústria da construção civil.

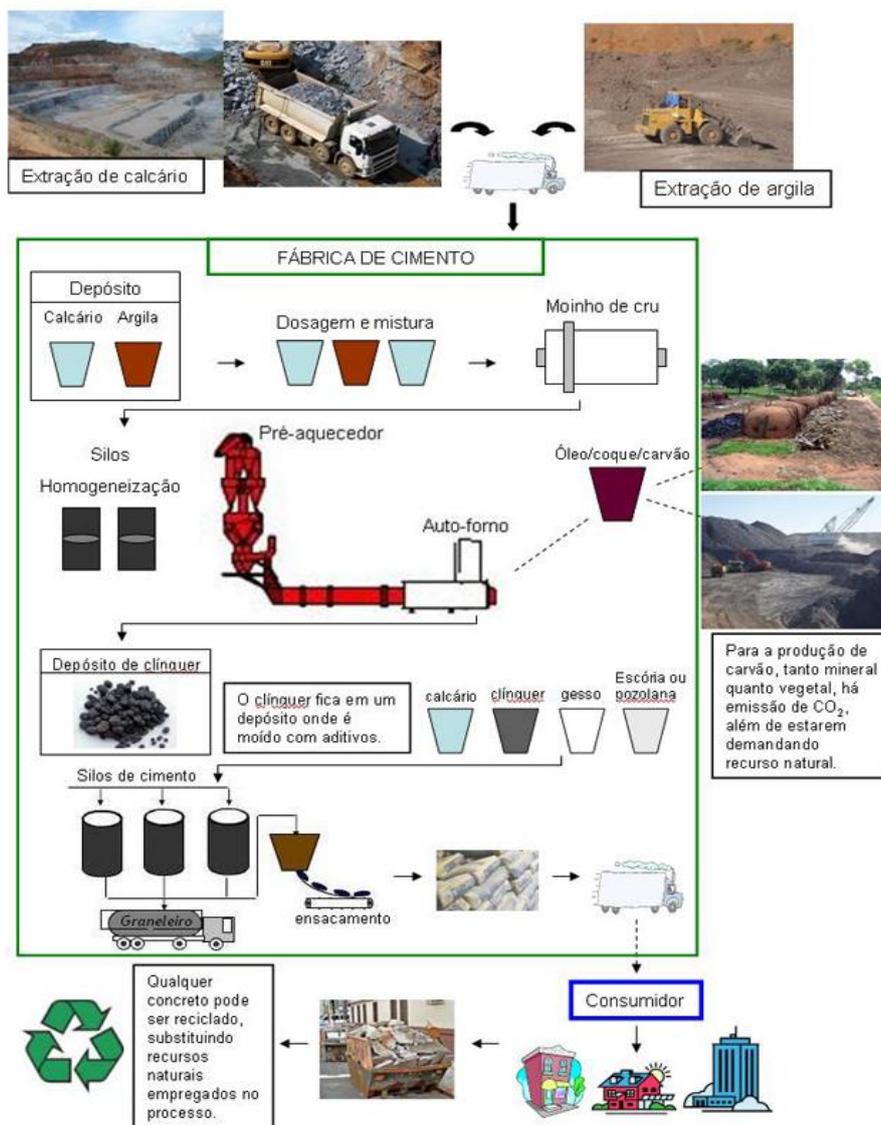


Figura 2.27: Representação esquemática do ciclo de vida do cimento. Fonte: Ducimeire Clara Eurípedes. AMDA Projeto ciclo de vida(2011).

A cinza oriunda da queima do carvão mineral apresenta-se como boa opção dentre os rejeitos industriais que podem fazer parte da composição do cimento. Embora comércio da cinza volante ainda seja muito pequeno no Brasil se comparado aos países da Europa, destaca-se que esse produto gera diversos benefícios quando misturado ao cimento, como o aumento da durabilidade, resistência e diminuição de fissuras no

concreto, entre outros (ÂNGULO e ZORDAN e JOHN, s.d).

Ainda que se tenha conhecimento sobre os benefícios que a análise do ciclo de vida possibilita a economia e ao meio ambiente, o Brasil ainda não efetivou esse tipo de atividade, devido à carência de políticas públicas (esfera federal, estadual e municipal) e incentivos econômicos e fiscais para o recolhimento e aproveitamento dos resíduos, fazendo que o país deixe de economizar bilhões de reais devido ao seu não aproveitamento (ANTUNES *apud* TONICELO E ANTUNES s.d).

Nesta pesquisa, contudo, enfatiza-se a redução do cimento através da proposta de argamassas em que a reciclagem de rejeitos da construção civil, da cinza volante e da cal contribui para ampliar o ciclo de vida dos minerais bem como a preservação dos recursos naturais, na medida em que produzindo novo material destinado a construção de paredes, minimiza a exploração e degradação de tais recursos, ampliando o ciclo de vida dos insumos e gerando um novo ciclo duradouro ao novo material.

2.4 - ARGAMASSAS: PROPRIEDADES E COMPOSIÇÕES

2.4.1 - As argamassas tradicionais na construção civil

As argamassas são materiais utilizados na construção civil, em diversos serviços tais como: assentamento de alvenarias, etapas de revestimento: emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes, tetos, contrapisos, assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra.

As argamassas se compõem de aglomerantes e agregados e se classificam segundo os materiais compósitos.

Para BOLTSHAUER (*apud* SILVA, 2006) a argila crua já fora empregada nas construções de taipa ou pau-a-pique juntamente com estruturas de madeira na Grécia por volta de 2000 a.C e na arquitetura romana etrusca (século VII ao VI a.C.). As casas mais simples egípcias usavam a argila em pasta envolvendo a armação estrutural das casas por caules de plantas e tronco de palmeiras para a realização da técnica. Mas, de fato, os primeiros registros aconteceram há cerca de 11.000 anos, na Galiléia (Israel),

descobertos em 1985, quando foi encontrado um piso polido de 180m² feito com pedras e uma argamassa constituída de cal e areia, além da laje de 25cm de espessura, datada de 5.600 a.C, constituída de argamassa de cal no território da Vila de Lepenske-Vir (hoje Iugoslávia). Sem contar com o vasto registro de emprego de cal, areia e água, sendo o gesso, adicional para obter o estuque próprio para revestimentos internos e em alguns casos também sendo adicionado pó de mármore.

No Brasil, segundo WESTPHAL (*apud* SILVA, 2006), a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de sua descoberta para assentamento de alvenaria de pedra, sendo empregado o óleo de baleia como aglomerante, assim como através da queima de conchas e mariscos de onde era extraída a cal. Na modernidade as argamassas apresentam como aglomerante básico o Cimento Portland, podendo apresentar na sua constituição diversos materiais como a argila, a areia e outros.

É comum encontrarmos no mercado argamassas industrializadas que são misturas prontas, às quais, na obra, só é necessária adição de água para obter-se a pasta, de acordo com as necessidades de aplicação. É comum na construção civil utilizarmos diversos tipos de mistura para a composição das argamassas.

2.4.2 - Classificação das argamassas

a) Classificação geral

Podemos classificar as argamassas de acordo com critérios usualmente definidos como os explicitados na Tabela 2.2, onde se considera a natureza, o tipo e número do aglomerante, assim como, a consistência, a plasticidade e a densidade da argamassa, a forma de preparo ou fornecimento.

Tabela 2.2: Classificação das argamassas. Fonte: CARASEK(2007).

Critério de Classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	- Argamassa aérea - Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	- Argamassa de cal - Argamassa de cimento - Argamassa de cimento e cal - Argamassa de gesso - Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	- Argamassa simples - Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	- Argamassa seca - Argamassa plástica - Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	- Argamassa pobre ou magra - Argamassa média ou cheia - Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade da argamassa	- Argamassa leve - Argamassa normal - Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	- Argamassa preparada em obra - Mistura semipronta para argamassa - Argamassa industrializada - Argamassa dosada em central

As argamassas também podem ser classificadas segundo suas funções nas construções, como se observa na Tabela 2.3:

Tabela 2.3: Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção. Fonte: IBRACON(2005).

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	- Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria) - Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alvenaria de vedação
Para revestimentos de parede e tetos	- Argamassa de chapisco - Argamassa de emboço - Argamassa de reboco - Argamassa de cama única - Argamassa de revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	- Argamassa de contrapiso - Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimento cerâmicos (paredes/pisos)	- Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante - Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	- Argamassa de reparo

b) As argamassas de revestimento

As argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, muros e tetos, e posteriormente receber acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, entre outros. De acordo com CARNEIRO (*apud* SILVA, 2006) para as argamassas de revestimento tem-se adotado a dosagem 1:1:6 (cimento: cal: areia) e 1:2:9 em volume, e agregados 1:3 ou 1:4. É comum também o uso de argamassas em que além do cimento funcionando como aglomerante, apresenta como agregados a areia e o barro, sendo o último substituído por produtos químicos que promovem plasticidade a mistura.

A argamassa de revestimento pode ser constituída das seguintes camadas:

- Chapisco:

CARASEK (*apud* SILVA, 2006) define o chapisco como camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Deve ser feito

com argamassa fluida de cimento e areia no traço 1:3 em volume. A argamassa deve ser projetada de baixo para cima contra a alvenaria ou superfície de concreto a ser revestida. A aplicação é feita com a desempenadeira metálica dentada sobre a estrutura de concreto; a espessura máxima deve ser de 5mm, como também com o uso de vassourinha.

MACIEL e BARROS e SABBATINI (*apud* SILVA, 2006) referem-se também a três modalidades de chapisco. Assim temos: o chapisco tradicional, o chapisco industrializado, e o chapisco rolado. O chapisco tradicional constitui-se de argamassa de cimento, areia e água que resulta em uma película rugosa, aderente e resistente. Esta argamassa é preparada no canteiro obra.

O chapisco industrializado é constituído de argamassa semelhante à argamassa colante que chega à obra pronta, sendo que para seu uso, basta acrescentar água no momento da mistura. É comum aplicar-se a argamassa com desempenadeira. O chapisco rolado é baseado em uma argamassa feita com cimento, areia, água e adição de resina acrílica e sua aplicação é feita com rolo gerando uma textura acrílica.

Na Figura 2.28 são ilustrados três tipos de chapisco e seus modos de aplicação.



Figura 2.28: Tipos de chapisco. Fonte: CEOTTO e BANDUK e NAKAKURA(2005).

- **Emboço:** CARASEK (2007) define como camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando o recebimento de outra camada de reboco ou revestimento decorativo. Segundo YAZIGI (*apud* SANTOS, 2008) o emboço poderá ser aplicado após a pega completa do chapisco. Pela NBR 7.200 (ABNT, 1998) o chapisco deve apresentar idade mínima de 3 dias antes do emboço em lugares muito quentes pode-se usar 2 dias.

- **Reboco:** CARASEK (2007) define como camada de revestimento que é utilizada para o cobrimento do emboço, permitindo uma superfície homogênea para receber revestimento decorativo ou ser o próprio acabamento final. A NBR 7200 (ABNT, 1998), prescreve que em cada nova camada de argamassa, haja a umidificação da camada anterior.

O ato de molhar a parede antes de revesti-la com argamassa favorece a resistência e a extensão de aderência. Quando a temperatura for muito elevada, ou a base for demasiadamente absorvente, o ato de molhar a parede evita a perda da água de amassamento pelo substrato.

c) Argamassas de assentamento e rejunte

As argamassas de assentamento são utilizadas na construção de paredes e muros (unidades de alvenaria) tendo a função de unir os diversos blocos de alvenaria de forma a ter como resultado um elemento monolítico, contribuindo na resistência aos esforços laterais, além de distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede, selando as juntas e garantindo a estanqueidade da parede à penetração de águas pluviais, absorvendo também as deformações naturais, de origem térmica e de retração por secagem as quais a alvenaria é submetida.

Além do assentamento de blocos, na construção de paredes e painéis é bom frisar que são produzidas argamassas para o assentamento de revestimentos cerâmicos de paredes e pisos que em períodos passados eram assentados com cimento puro.

2.4.3 - Composição das argamassas segundo seus aglomerantes

a) Uso da Cal (Hidróxido de Cálcio hidratado)

A argamassa mais utilizada na construção civil é a resultante da mistura de areia, água, cimento e cal hidratada, os traços variam de acordo com a finalidade da argamassa. A quantidade de água colocada na mistura varia entre 30% e 40%.

A cal em argamassa apresenta vantagens como à durabilidade. Essa característica é atribuída em virtude das reações de neutralização e precipitação que aumentam a resistência à compressão e a plasticidade, que devido às suas propriedades coloidais apresenta facilidade de espalhamento sobre a superfície. A cal também é responsável pelo aumento da retenção de água, retardando a secagem e regulando a perda por evaporação; e promove estanqueidade à argamassa, onde a carbonatação dos hidróxidos nas aberturas promove o fechamento gradual de fissuras e trincas.

Segundo a NBR 7175:1992 a cal hidratada é

[...] o pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. [...] (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991, p. 2).

As especificações normativas quanto às exigências químicas e físicas da cal hidratada, que se classificam como CH-I, CH-II e CH-III, seguem conforme as Tabelas 2.4 e 2.5.

Tabela 2.4: Exigências físicas de cada tipo de cal hidratada. Fonte: NBR 7175 (1992).

Compostos	Limites			
	CH-I	CH-II	CH-III	
Finura (%) retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	≤0,5%	≤0,5%	≤0,5%
	Peneira 0,075 mm	≤10%	≤15%	≤15%
Retenção de água	≥75%	≥75%	≥70%	
Incorporação de areia	≥3,0	≥2,5	≥2,2	
Estabilidade	Ausência de cavidades ou protuberâncias			
Plasticidade	≥110	≥110	≥110	

Tabela 2.5: Exigências químicas de cada tipo de cal hidratada. Fonte: NBR 7175(1992).

Compostos	Limites			
	CH-I	CH-II	CH-III	
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤5%	≤5%	≤13%
	No depósito	≤7%	≤7%	≤15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)	≤10%	≤15%	≤15%	
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO+MgO)	≥90%	≥88%	≥88%	

Quanto sua granulometria é exigida que no máximo 5% do material seja retido na peneira de abertura 0,075mm. O conteúdo mínimo de Ca (OH)₂ deve ser 90% e o conteúdo máximo de CaCO₃ deve ser 5%.

Quando utiliza-se a cal virgem, esse tipo de argamassa é chamado de argamassa intermediária, pois é utilizada para a maturação da cal e parte da mistura com o cimento. Podem ser classificadas segundo suas composições químicas:

- Cálctica: teor de CaO maior ou igual a 90% (em relação aos óxidos totais)
- Magnesianas: encontra-se entre 65% e 90%
- Dolomítica: teor inferior ou igual a 65%

Segundo RAGO e CINCOTTO (*apud* SILVA, 2006) a cal no estado fresco promove maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor desempenho no serviço e maior produtividade na execução do revestimento assim como, a retenção de água. A importância da cal para a qualidade de uma argamassa, com composição de cal e cimento, está expressa no quadro abaixo em que a variação das propriedades da argamassa reage com o aumento da proporção da Cal em relação ao cimento (Tabela 2.6).

Tabela 2.6: Variação das propriedades da argamassa com a alteração da composição relativa de cimento e cal. Fonte: DUBAJ (2000).

Propriedade	Aumento na proporção de cal no aglomerante	
Resistência á compressão	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Resistência à tração	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Capacidade de aderência	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Durabilidade	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Impermeabilidade	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Resistência a altas temperaturas	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Resistências iniciais	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Retração na secagem inicial	Cresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cimento
Retenção de água	Cresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Plasticidade	Cresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Trabalhabilidade	Cresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Resiliência	Cresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Módulo de elasticidade	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Retração na secagem reversível	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal
Custo	Decresce	Propriedade melhorada com maior teor relativo de cal

b) Argamassa de Cimento

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland consistem principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que reagem no interior do forno de produção de cimento dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes (Tabelas 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10).

- Silicato tricálcico: $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ abreviação C_3S ;
- Silicato dicálcico: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ abreviação C_2S ;
- Aluminato tricálcico: $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ abreviação C_3A ;
- Ferro aluminato tetracálcico: $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ abreviação C_4AF .

Tabela 2.7: Principais compostos do cimento Portland. Fonte: METHA E MONTEIRO(1994).

CIMENTO PORTLAND – COMPOSTOS	
Compostos	Abreviações
CaO	C
SiO ₂	S
Al ₂ O ₃	A
Fe ₂ O ₃	F
MgO	M
SO ₃	S
H ₂ O	H
3 CaO.SiO ₂	C ₃ S
2CaO.SiO ₂	C ₂ S
3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
4 CaO.Al ₂ O ₃ .SO ₃	C ₄ A ₃ S
3 CaO.2SiO ₂ .3H ₂ O	C ₃ S ₂ H ₃
CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂

Tabela 2.8: Teores dos componentes do CP I. Fonte: NBR 5732(1991).

Componentes (% em massa)					
Sigla	Classe da Resistência	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material Carbonático
CP I	25	100			0
	32				
	40				

Tabela 2.9: Exigências químicas do CP I. Fonte: NBR 5732 (1991).

Determinações químicas	Limites (% de massa)	
	CPI	
Resíduo insolúvel (RI)	≤ 1,0	
Perda ao fogo (PF)	≤ 2,0	
Óxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5	
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,0	
Anidrido carbônico (CO ₂)	≤ 1,0	

Tabela 2.10: Exigências físicas e mecânicas do CP I. Fonte: NBR 5732(1991).

Características e Propriedades	Unidade	Limites de classe			
		25	32	40	
Finura	Resíduo na peneira 75µm %	≤ 12,0		≤ 10,0	
	Área específica m ² /kg	≥ 240	≥ 260	≥ 280	
Tempo de início de pega	H	≥ 1			
Expansibilidade a quente	Mm	≤ 5			
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	≥ 8,0	≥ 10,0	≥ 15,0
	7 dias de idade	MPa	≥ 15,0	≥ 20,0	≥ 25,0
	28 dias de idade	MPa	≥ 25,0	≥ 32,0	≥ 40,0

A argamassa de cimento Portland é composta essencialmente por cimento, agregado miúdo (areia) e água. Possui pouca plasticidade e retenção de água. É utilizada em revestimentos de pisos, sendo raramente utilizada em revestimentos de alvenaria. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicado nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto com o fim de aumentar a aderência do revestimento de argamassas mistas. Joseph Aspdin em 1824 patenteou a descoberta de misturar calcinada de cálcio e argila, formando uma massa muito resistente, o que ele chama de cimento Portland, em homenagem a Portlandstone, pedra arenosa muito usada em construções na cidade de Portland, Inglaterra. Em geral é utilizado para as argamassas Cimento Portland CP IIZ e o CP II.

c) Argamassa Mista

Tipo de argamassa que utiliza cimento, cal, agregado miúdo e água. Segundo SABBATINI (*apud* SILVA, 2006), a proporção utilizada pelos ingleses era de 1:3 (aglomerante: areia seca) em volume como traço básico. Outra proporção bastante utilizada no Brasil é a 1:1:6 (cimento, cal e areia) para revestimentos externos e 1:2:9 para revestimentos internos.

2.4.4 Composição das argamassas segundo seus agregados

MINEROPAR (*apud* SILVA, 2006) classifica os agregados em naturais e artificiais, explicitados na tabela a seguir (Tabela 2.11).

Tabela 2.11: Tipos de Agregados (adaptado). Fonte: DUBAJ(2000).

Agregados Naturais	Agregados Artificiais
São encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia do rio)	São os que necessitam de modificação textural para chegar à condição apropriada ao seu uso. Como acontece com a areia de origem da britagem das rochas: basaltos, calcários, sílex, pórfiros, arenitos, quartizitos e gnaisses.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) são agregados miúdos, componentes das argamassas, os materiais cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm (com peneiras definidas pela ABNT NBR (ISO 3310-1). A areia é caracterizada pelo módulo de finura (MF), especificações de granulometria, e coeficiente de uniformidade que é a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60% e 10% em massa de areia (CARNEIRO *apud* SILVA, 2006). Mas segundo Tristão, citado por Silva, não existe qualquer relação significativa entre módulo de finura de diferentes composições granulométricas originadas de uma mesma areia e o desempenho das argamassas.

Selmo classifica segundo o módulo de finura (granulometria) para os agregados miúdos os seguintes intervalos, conforme Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Classificação de agregados miúdos (adaptado). Fonte: SILVA(2006).

MF \geq 2.0	Areia fina
2.0 \leq MF \leq 3.0	Areia media
MF \geq 3.0	Areia grossa.

Segundo CARNEIRO e CINCINOTTO,

O formato dos grãos influencia nas diversas propriedades das argamassas não participando das reações químicas do endurecimento da mesma. Quando no estado endurecido, influencia na resistência mecânica e na capacidade de deformação e permeabilidade, entre outras propriedades (CARNEIRO e CINCOTTO *apud* SILVA, 2006, p.15).

No quadro a seguir, a influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento (Tabela 2.13).

Tabela 2.13: Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento. Fonte: SABATTINI *apud* DUBAJ(2000).

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

2.4.5 - Propriedades das Argamassas

As argamassas, de acordo com seus usos, apresentam funções peculiares decorrentes desses usos e conseqüentemente devem apresentar propriedades adequadas para atingirem-se os objetivos finais. Estes itens podem se visualizados conforme o quadro a seguir (Tabela 2.14).

Tabela 2.14: Usos, funções e propriedades das argamassas. Fonte: SABATTINI *apud* DUBAJ(2000).

Usos	Funções	Propriedades
Assentamento Estrutural	Resistir a esforços mecânicos, unir os elementos da alvenaria, vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial e final, estabilidade volumétrica, capacidade de assimilar deformações
Assentamento convencional	Unir os elementos da alvenaria, vedar juntas	Trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações
Assentamento de acabamentos	Unir elementos de acabamento ao substrato	Trabalhabilidade, retenção de água, aderência, estabilidade volumétrica, capacidade de absorver deformações
Chapisco	Unir camadas de revestimento ao substrato	Trabalhabilidade, aderência
Emboço	Vedar a alvenaria, regularizar a superfície, proteger o ambiente internamente	Trabalhabilidade, retenção de água, estanqueidade, aderência, estabilidade volumétrica
Reboco	Vedar o emboço (acabamento)	Trabalhabilidade, aderência, estabilidade volumétrica

As argamassas apresentam propriedades de acordo com seu estado fresco e estado endurecido. As Propriedades no estado fresco são:

-Trabalhabilidade: consistência, plasticidade, grande retenção de água e tixotropia. É uma propriedade que envolve: consistência, plasticidade, retenção de água,

coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. Segundo CARASEK (2007) é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas dentro de uma condição homogênea (Tabela 2.15).

Tabela 2.15: Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas. Fonte: IBRACON (2005).

Propriedades	Definição
Consistência	É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas.
Plasticidade	É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.
Retenção de água e de consistência	É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
Coesão	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
Exsudação	É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação
Densidade de massa	Relação entre a massa e o volume de material
Adesão inicial	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato

Plasticidade é a propriedade na qual a argamassa tende a conservar-se deformada após serem reduzidas as tensões de deformação. São influenciadas pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas. Segundo CASCUDO *et al.* (apud IBRACON, 2005) a plasticidade depende de uma quantidade ótima de água (Tabela. 2.16).

Tabela 2.16: Influência do teor de finos (partículas <0, 075mm) de mistura seca na plasticidade das argamassas.Fonte: IBRACON(2005).

Plasticidade	% mínima de finos da argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Pobre (áspera, magra)	< 15	<10
Média (plástica)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	>25	> 20

A retenção de água ocorre, após a aplicação da argamassa sobre uma fiada de tijolos ou blocos, por sucção dos componentes de alvenaria e pela simples evaporação. Se perder muita água, a tendência da argamassa é o ressecamento, impossibilitando a colocação da próxima fiada, além de que isso afeta a ligação da argamassa com o bloco superior. É a capacidade que a argamassa tem em reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. Essa retenção favorece o endurecimento da argamassa de forma mais gradual e promove a hidratação do cimento e por consequência ganho de resistência. É determinado pela NBR 13277 (ABNT, 2005).

A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas e reversíveis do estado sólido para o estado gel, resultando em uma massa coesiva de aglomerante na pasta mais densa após hidratação.

Segundo CRUZ e MARGALHA (*apud* NENO, 2010).

[...] a trabalhabilidade das argamassas está diretamente relacionada com o seu uso ou finalidade, enquanto que a consistência é apenas um valor numérico de caracterização de fluidez. A consistência permite avaliar a ligação entre os constituintes da argamassa, grandeza esta que assume um papel fundamental porque influencia a trabalhabilidade das argamassas (NENO, 2010. p. 34).

O pedreiro para “corrigir” a trabalhabilidade da argamassa tende a alterar a quantidade de água de amassamento. Esse ajuste, diz respeito à consistência ou fluidez da argamassa, a qual pode ser classificada como seca, plástica ou fluída (VALDEHITA e ROSELLO *apud* CARASEK, 2007, p. 11). São qualidades que no senso comum, aparecem como argamassa “áspera” ou “pobre” ou “magra” sendo características

negativas, e “plástica” ou “macia” características positivas. De qualquer forma, a plasticidade é influenciada pelos aglomerantes, agregados e pelo tempo e intensidade de mistura. Portanto consistência e plasticidade são os principais fatores da propriedade “trabalhabilidade”.

Em suma, avaliar, quantificar e prescrever valores por meio de ensaios, não é algo fácil, pois depende das características intrínsecas da mistura, das propriedades do substrato, da habilidade do pedreiro que está fazendo o serviço e por último, da técnica. Vários métodos são utilizados para medir a consistência: Método da penetração do cone, o *dropping Ball*, avaliação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone na mesa ABNT- conhecido também como *flowtable*. Um método mais eficaz e mais oneroso é o Squeeze-Flow, que se baseia na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial, permitindo a variação da taxa de cisalhamento e a magnitude das deformações, detecta pequenas alterações nas características reológicas dos materiais, fornece um perfil do comportamento reológico de acordo com as solicitações impostas. Outros modos de avaliar essas características são conhecidos como Vane e o Gtec.

- **Aderência Inicial:** é a propriedade de “pegajosidade” de uma argamassa que deve acontecer no estado inicial fresco na superfície da base. Segundo CARASEK (2007) está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementação da adesão.

- **Massa específica e teor de ar incorporado:** para CARASEK (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será em longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade. A NBR 13278 (ABNT, 1995) prescreve que o cálculo da densidade de massa (A) no estado fresco é realizado através da seguinte equação:

$$A = M_c - M_v / V_r \quad (2.1)$$

Sendo:

M_c = massa do recipiente cilíndrico, contendo argamassa de ensaio, em g;

M_v = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em gramas;

V_r = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em cm³.

- Propriedades no estado endurecido: MACIEL e BARROS e SABBATINI (*apud* SILVA, 2006) afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. Ela depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

CARASEK (2007) afirma que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, a penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals, quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato e parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetram pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base. Na Tabela 2.17 são observados os limites de resistência de aderência à tração para revestimentos de argamassa.

Tabela 2.17: Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa (emboço e camada única) segundo a NBR 13.749.Fonte: IBRACON (2005).

Local	Acabamento	Ra (MPa)
Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$

Segundo CARASEK (2007) as deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude. O revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como recalques estruturais, por exemplo.

A capacidade de absorver deformações depende:

- Do módulo de deformação da argamassa - quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- Da espessura das camadas - espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade; entretanto, devem-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência;
- Das juntas de trabalho do revestimento - as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- Da técnica de execução - a compressão após a aplicação da argamassa e, também, a compressão durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, vão contribuir para o não aparecimento de fissuras. O aparecimento de fissuras prejudiciais compromete a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.

Segundo FIORITO (*apud* SANTOS, 2008) o endurecimento da argamassa é acompanhado por uma diminuição do volume em função da perda de água evaporável

ocasionada pelas reações de hidratação. Mesmos após a secagem notamos variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente, tal fenômeno sendo conhecido como “retração”. CARASEK (2007) afirma que a retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

A resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento,

[...] esforços como o desgaste superficial, impactos ou movimentação higroscópica, são exemplos de solicitações que exigem resistência mecânica dos revestimentos, pois geram tensões internas que tendem a desagregá-los (CARASEK,2007, p. 8).

Um dos problemas associados a essa propriedade, é a pulverulência que prejudica a fixação das camadas de acabamento. A NBR 13281 (ABNT, 2001) prescreve que os requisitos mecânicos e reológicos das argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na Tabela 2.18.

Tabela 2.18: Exigências mecânicas e reológicas para argamassa.Fonte: SANTOS (2008).

Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,1$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	>90	
Teor de ar incorporado (%)	A	< 8	NBR 13278
	B	≥ 8 e ≤ 18	
	C	> 18	

Durabilidade é a propriedade que a argamassa apresenta para resistir ao ataque de meios e agentes agressivos, mantendo suas características físicas e mecânicas inalteradas com o decorrer do tempo e de sua utilização. De acordo com MACIEL e BARROS e SABBATINI (*apud* SILVA, 2006) durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: espessura excessiva, cultura e proliferação de fungos e outros micro-organismos além de ações decorrentes da má adequação e preparo no canteiro. Deve-se proteger a alvenaria e a estrutura contra ação das intempéries, no caso da aplicação da argamassa na parte exterior.

A argamassa, portanto, ao fazer parte do sistema de vedação dos edifícios, colaborando com as funções de isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo, e resistência a desgastes, deve ser de boa qualidade e bem aplicada, contribuindo também à função estética das edificações regularizando a superfície dos elementos de vedação e sendo útil para base dos acabamentos decorativos.

Para garantir a boa qualidade da argamassa é necessário ter cuidados com a produção, o preparo e a aplicação da mesma. Para tal, é importante conhecer as propriedades no estado fresco e endurecido. Os aglomerantes, agregados e adições de água e outros componentes porventura utilizados na preparação das argamassas devem ser trabalhados tomando-se todos os cuidados, desde seleção, quantificação, armazenamento e controle de qualidade. Os materiais componentes devem seguir as normas específicas de acordo com as NBRs. As argamassas que são dosadas nos canteiros de obras estão mais sujeitas às falhas e, portanto deve-se ter toda a atenção quando efetuamos as mistura dos componentes inclusive na dosagem da água bem como o tempo de utilização da argamassa e sua aplicação de acordo com o serviço e forma de acabamento.

2.5 - MATERIAIS PARA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS COMPATÍVEIS COM AS TRADICIONAIS

2.5.1 - Rejeito como agregado

2.5.1.1 - O uso do rejeito sílico-aluminoso de construção civil

AMORIM *et al.* (2000), ao estudar o aproveitamento de rejeito de cerâmica vermelha e da construção civil como alternativa associado a cal pozolânica analisaram três amostras de argamassas submetidas a ensaios mecânicos. Segundo os autores, o aproveitamento de resíduos sólidos da construção civil como agregados em argamassas mistas e como aglomerantes em argamassas com cal pozolânicas, tem tido resultados satisfatórios. A atividade pozolânica depende dos constituintes dos entulhos minerais, que quando moídos geram produtos que podem reagir com cal. A moagem neste caso é um processo importante, uma vez que a redução em pequenas partículas possibilita maior superfície de contato entre os grãos – maior área específica. A superfície específica é fundamental no controle das propriedades tecnológicas, como exemplo os autores citam o cimento Portland:

CP II – Z 25 apresenta área específica de 240 m²/kg e uma resistência à compressão de 25 MPa para o período de 28d de cura; o CP II – Z 32 apresenta área específica de 260 m²/kg e uma resistência à compressão de 32 MPa para o período de 28d de cura, e o CP II – Z 40 apresenta área específica de 280 m²/kg e uma resistência à compressão de 40 MPa para o período de 28d de cura (AMORIM *et al.*, 2000, p.36).

As amostras (Entulho 1, Entulho 2 e Mistura) as quais os autores realizaram os testes foram submetidas à trituração e peneiramento - exceto a de pozolanas pois já tinha granulometria ideal; após esta etapa, as amostras foram secadas à 110°C e em seguida moídas. Os ensaios de caracterização feitos foram: massa específica, análise química, térmica diferencial e DRX, e os materiais pozolânicos passaram por peneiramento; quanto aos ensaios mecânicos foi realizada preparação da argamassa, consistência normal, moldagem do corpo de prova, cura.

A Tabela 2.19 mostra o resultado da massa específica real.

Tabela 2.19: Tabela com a massa específica real das amostras de materiais pozolânicos e das amostras de cais. Fonte: AMORIM *et al*(2000).

Amostra	Massa específica real (g/cm³)
Entulho 1	2,51
Entulho2	2,36
Mistura	2,45
Pozolana	2,62
Cal Carbomil	2,23
Cal Megaó	2,54

Na Tabela 2.20, a composição química das amostras apresentaram o PR abaixo do limite máximo de 10% da ASTM. Os percentuais de Si₂O, FeO₃ e Al₂O₃ nas amostras de Entulho 1, Entulho 2 e Pozolana são respectivamente: 87, 07%, 82,42%, 92,88% e 96,73%, superando o mínimo de 70% da ASTM, porém MgO satisfaz o valor máximo de 5%. Assim, segundo os autores, as amostras atendem às especificações químicas da ASTM.

AMORIM *et al* (2000) afirmam que o entulho 1 (entulho de construção civil proveniente da demolição de uma casa residencial construída há 60 anos em Campina Grande/Paraíba) e Entulho 2 (entulho proveniente da demolição de parte de uma das torres da Igreja Nossa Senhora da Conceição construída há 248 anos em Campina Grande/Paraíba) e Misturas (resíduo cerâmico, proveniente de uma mistura composta por 50% de tijolos furados e 50% de telhas) são classificados como sílico-aluminosos devido o alto teor de sílica (SiO₂). Este fator é favorável nos materiais, pois com o tempo os mesmos reagem formando os silicatos hidratados responsáveis pela resistência mecânica. A Pozolana foi classificada como silicosa.

Tabela 2.20: Tabela de composição química das amostras. Fonte: AMORIM *et al* (2000).

Determinações (%)	Entulho1	Entulho2	Mistura	Pozolana
PR	8,53	9,52	2,37	3,03
SiO ₂	58,09	62,92	58,58	80,00
Fe ₂ O ₃	5,30	3,75	8,20	0,72
Al ₂ O ₃	23,68	16,05	26,10	16,01
CaO	1,4	Nihil	Nihil	Nihil
MgO	-	2,18	-	-
Na ₂ O	0,57	0,68	1,22	-
K ₂ O	2,42	3,03	3,03	-

O DRX apresentou a composição mineralógica para o Entulho 1, composta por quartzo e carbonato de cálcio (CaCO₃); o Entulho 2 é composto por quartzo, CaCO₃, mulita; a Mistura é composta por quartzo, hematita (Fe₂O₃) e mulita; Pozolana é composta por caulinita em menor quantidade, quartzo e uma banda de amorfização característica da metacaulinita.

AMORIM *et al.* (2000) atestou na ATD, que o Entulho 1 tem dois picos endotérmicos a 142°C que marca a perda de água absorvida e a 581°C que marca a transformação de quartzo alfa em beta. O entulho 2 tem 4 picos endotérmicos e 1 exotérmico a 127°C (perda de água absorvida), 565°C (desidroxilação da portlandita (Ca(OH)₂)), 578°C (transformação do quartzo alfa em beta), 871°C (decomposição da calcita (CaCO₃)), 917°C (discreto pico exotérmico, nucleação da mulita (3Al₂O₃.2SiO₂)). A Mistura tem 2 picos endotérmicos e 1 exotérmico, a 117°C (perda de água absorvida), 579°C (transformação de quartzo alfa para beta), a 908°C (pequena banda exotérmica, nucleação da mulita). A pozolana tem 3 picos endotérmicos e 1 exotérmico, a 112 °C (perda de água absorvida), a 570°C (transformação de quartzo alfa em beta), 579°C (perda de hidroxila da camada octédrica), 984°C (grande pico exotérmico, nucleação de mulita).

2.5.2 - O uso da cal como aglomerante

As argamassas de cal hidratada são utilizadas desde a antiguidade, onde a cal atua como aglomerante e sua função principal é unir os grãos de areia presentes da argamassa de assentamento e de revestimento. A cal, diferente do cimento – que necessita de água para endurecer – reage com o CO₂ presente no ar, e transforma-se em carbonatos extremamente sólidos (GUIMARÃES e GOMES e SEABRA, 2004).

Segundo a NBR 7175, que trata dos requisitos do uso da cal hidratada para argamassa, define a mesma como “Pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio” (NBR 7175, 2003, p.2). A cal hidratada recebe a classificação CH-I, CH-2 e CH-3 de acordo com as exigências químicas e físicas exigidas (Tabela 2.21 e 2.22).

Tabela 2.21: Tabela de exigência química. Fonte: NBR 7175 (2003).

Composto	Limites			
	CH-I	CH-II	CH-III	
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤5%	≤5%	≤13%
	No depósito	≤7%	≤7%	≤15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)	≤10%	≤15%	≤15%	
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO+MgO)	≥90%	≥88%	≥88%	

Tabela 2.22: Tabela de exigência física. Fonte: NBR 7175 (2003).

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600mm	≤0,5%	≤0,5%	≤0,5%
	Peneira 0,0750mm	≤10%	≤15%	≤15%
Retenção de água		≥75%	≥75%	≥70%
Incorporação de areia		≥3,0	≥2,5	≥2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥110	≥110	≥110

As argamassas podem ser classificadas segundo seus aglomerantes; assim temos a argamassa de cal, como indica o nome, é composta pela cal, por seus agregados e pela água, ela apresenta-se na forma de pó, com 17-19% de água combinada – quando dolomítica normal – e 24-27% de água combinada – cálcica ou hidratada sob pressão. Além disto, as outras formas de hidratos são a pasta de cal (30 a 45% de água livre), lama de cal (55% a 73% de água livre), leite de cal (80% a 99% de água livre), água de cal (não há sólido em suspensão no hidrato, com solubilidade a 10°C de 1,33g/l para CaO e 0,01 g/l para MgO, e por último a cal hidratada sob pressão que é:

[...] produto resultante do processo ao qual é submetida à cal virgem de natureza dolomítica ou magnesiana, para ter todos os seus óxidos transformados em hidratos. A principal diferença entre os dois processos – pressão atmosférica e sob-pressão, é a utilização de uma autoclave como câmara de hidratação onde cal virgem e água são introduzidas com fluxo constante em peso e volume (WALTRIK, 2010, p.37).

Segundo SILVA (2010) a pasta de cal tem a capacidade de preencher os espaços vazios que se apresentam entre os grãos do agregado miúdo, contribuindo com a plasticidade, assim como a retenção da água. Ela é considerada uma argamassa intermediária. O autor coloca que a cal proporciona melhor trabalhabilidade, o aumento de resistência e a capacidade de reter água. Assim a adição da cal hidratada nas argamassas influencia a resistência à compressão, quanto mais cal menor a resistência. Este fator faz com que a argamassa se torne compatível com as exigências estruturais para alvenarias. Acrescenta-se também que a argamassa de cal hidratada possui maior deformabilidade em virtude da baixa elasticidade, fato que assegura a ductibilidade de painéis de alvenaria, possibilitando que antes da ruptura o painel dá aviso. Agrega-se a estes fatores também seu desempenho enquanto plastificante.

POLITO (2008), ao avaliar a introdução da cal hidratada em argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos, reitera algumas das propriedades acima destacadas, considerando que a cal é um elemento importante para o desempenho das argamassas. Em sua revisão bibliográfica destaca que elevados teores de óxidos, hidróxidos e

carbonato de cálcio e magnésio – os quais são solúveis em meio ácido – são indicadores de adulteração da cal. Quanto à resistência e aderência, o autor associa à proporção de hidróxido de magnésio, assim argamassas preparadas com cal dolomítica possui maior aderência em comparação ao mesmo traço preparado com a cal cálcica. Dentre os autores levantados por POLITO (2008), há uma concordância no que tange a melhora das propriedades da argamassa e a sua vida útil, pela adição da cal em substituição ao cimento, a tabela abaixo resume a variação de tais propriedades (Tabela 2.23):

Tabela 2.23: Variação das propriedades da argamassa em relação à cal e ao cimento. Fonte: POLITO (2008).

Propriedade	Aumento na proporção da cal no aglomerante	
Resistência à compressão (E)	Decresce	Propriedades Melhoradas com maior teor relativo de cimento
Resistência à tração(E)	Decresce	
Capacidade de aderência(E)	Decresce	
Durabilidade(E)	Decresce	
Impermeabilidade(E)	Decresce	
Resistência à altas temperaturas(E)	Decresce	
Resistências iniciais (F)	Decresce	
Retração na secagem inicial (F)	Cresce	
Retenção de água(F)	Cresce	Propriedades Melhoradas com maior teor relativo de cal
Plasticidade(F)	Cresce	
Trabalhabilidade(F)	Cresce	
Resiliência(F)	Cresce	
Módulo de elasticidade(E)	Decresce	
Retração na secagem reversível (E)	Decresce	
Custo	Decresce	

Obs.: Estados: (E)=Endurecido (F)=Fresco

Em suma, o autor descreve que os atributos da cal nas argamassas recaem na plasticidade, trabalhabilidade, aumento da retenção de água (confere à argamassa mista

um preenchimento completo do substrato aumentando a aderência; favorece a hidratação do cimento), aumento da flexibilidade, resistência à aderência, menor eflorescência (devido ao pequeno teor de álcalis), melhor absorção da acomodação estrutural inicial.

CARASEK *apud* POLITO (2008), afirma que a argamassa “ideal” é aquela que reúne as qualidades do cimento e da cal. Em seus experimentos observou que 6% de cal – em relação aos elementos secos - nas argamassas produz um aumento na resistência de aderência, porém a adição da cal em demasia faz com que a argamassa diminua sua resistência de aderência. HAN e KISHITANI *apud* POLITO (2008), no ensaio de aderência, constataram que a forma de ruptura se altera de acordo com a proporção de cal, onde traços confeccionados com cimento e areia na proporção 1:3 tiveram a ruptura por deficiência de aderência na interface. Os traços de cimento, cal e areia nas proporções 1:1:6 tiveram ruptura por falta de coesão, no interior da argamassa. GALLEGOS *apud* POLITO (2008) expõe que a proporção de cal nas argamassas deva ter para retenção a água $\geq 75\%$. A tabela abaixo traz a composição de argamassas mistas segundo BOYTON *apud* POLITO (2003) (Tabela 2.24).

Tabela 2.24: Tabela de argamassa mista e especificações de propriedades. Fonte: POLITO (2008).

Tipos de argamassa	Especificações de propriedades		Especificação de proporções		
	Fluência após sucção (mínimo%)	Resistência a compressão – 28 dias -	Partes por volume – cimento Portland	Partes por volume – cal Hidratada	Areia – medida sem condição de unidade
O	70	2,41	1	De 1 ^{1/4} a 1 ^{1/2}	Não menos do que 2,25 e não mais do que 3 vezes a soma dos volumes de cimento e cal
N	70	5,17	1	De 1 ^{1/2} a 1 ^{1/4}	
S	70	12,41	1	De 1 ^{1/4} a 1 ^{1/2}	
M	70	17,24	1	1/4	

Resumo de especificações e propriedades contidas na norma ASTM-270 sobre argamassas

A Figura 2.29 representa a variação entre retenção de água e resistência à compressão em função da quantidade de cimento e cal na argamassa (BOYNTON e GUTSCHICK *apud* POLITO, 2008).

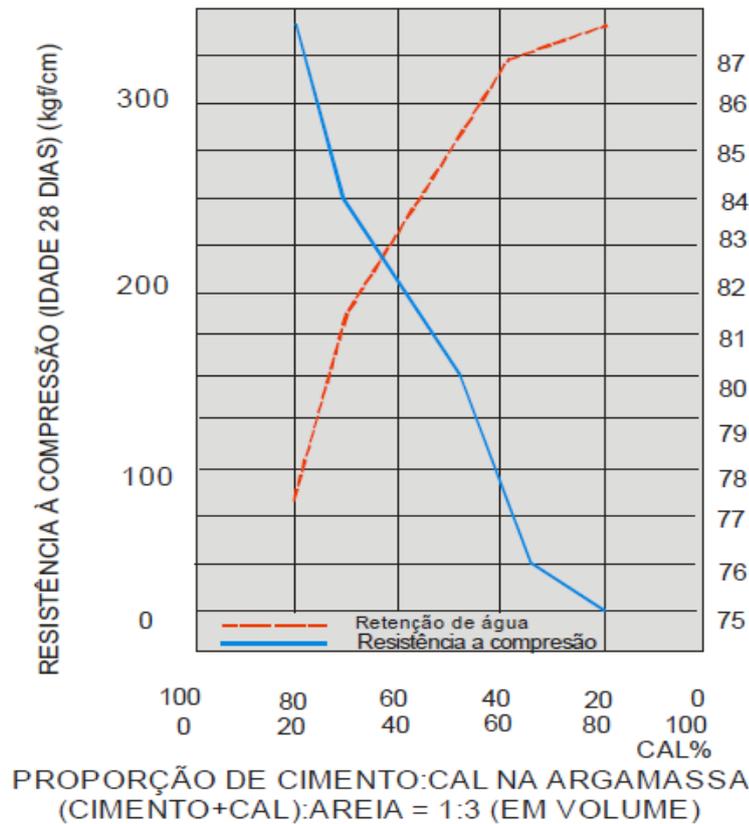


Figura 2.29: Gráfico de retenção de água e resistência à compressão em argamassa, em função da quantidade de cimento e cal. Fonte: POLITO (2008).

GUIMARÃES e GOMES e SEABRA (2004) no guia de argamassas com cal hidratada, sugerem alguns traços dos componentes da argamassa, para diferentes aplicações, a Tabela 2.25 para Revestimento e a Tabela 2.26 para assentamento:

Tabela 2.25: Tabela de traços para revestimento. Fonte: GUIMARÃES e GOMES e SEABRA (2004).

		Paredes			Teto
		Externa acima do solo	Externa abaixo do solo	Internas	
Chapisco		1:0:3	1:0:3	1:0:3	1:0:3
Emboço	Casa	1:2:8 a 10		1:2:8 a 10	1:2:8 a 10
	Prédio	1:1:6			
Reboco	Casa	0:1:3 ou 1:2:8 a 10		0:1:3 ou 1:2:8 a 10	0:1:3 ou 1:2:8 a 10
	Prédio	1:1:6			

Tabela 2.26: Tabela de traços para assentamento. Fonte: GUIMARÃES e GOMES e SEABRA (2004).

		Proporção da Argamassa	Tipo de Bloco Construtivo
	Alvenaria Estrutural	1:1/4:3	
	Muros de Arrimo	1:1/2:4 1:1:6	Todos
Externas	Paredes no solo e entre beirais	1:1:6 a 1:2:9	Todos
Internas		1:2:9 a 1:3:12	Todos
Casa (interno e externo)		1:2:9 a 1:3:12	Todos

2.5.3 - O uso da cinza volátil como material pozolânico

A cinza volátil ou volante são “[...] resíduos finamente divididos, que resultam da combustão de carvão mineral pulverizado ou granulado com atividade pozolânica.” (NBR 1265, 1992, p.3). De acordo com a NBR 12653/1992, a cinza volante é enquadrada na “Classe C”, que deve apresentar as seguintes exigências químicas e físicas (Tabelas 2.27 e 2.28):

Tabela 2.27: Tabela de exigência química, com destaque para a cinza volante. Fonte: NBR 1265 (1992).

Propriedades	Classes de Material pozolânico		
	N	C	E
SiO₂+Al₂O₃+FeO₃, % mín.	70	70	50
SO₃, % Max.	4,0	5,0	5,0
Teor de unidade, % Max.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % Max.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na₂O, % Max.	1,5	1,5	1,5

Tabela 2.28: Tabela de exigência física, com destaque para a cinza volante. Fonte: NBR 1265 (1992).

Propriedades	Classes de Material pozzolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45µm, % máx. índice de atividade pozzolânica	34	34	34
- com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
- com a cal aos 7 dias, em Mpa	6,0	6,0	6,0
- água requerida, % máx.	115	110	110

A cinza utilizada é proveniente da queima de carvão mineral, o qual é uma rocha sedimentar composta de matéria orgânica e inorgânica. Pela ação do calor, a fração orgânica gera voláteis e coque, enquanto a fração mineral se transforma em cinza com uma mineralogia modificada, tendo em vista, a perda das águas das argilas, decomposição dos carbonatos, oxidação dos sulfetos, etc. (ROHDE *et al.*, 2006).

As cinzas brasileiras são em sua maioria como “resíduo Classe II – A – não inerte” (ROHDE *et al.*, 2006).

Os elementos predominantes das cinzas são Al, Si, O, Fe, Ca, K e Na. Elementos traços como As, B, Ca, Mo, S, e Se podem ser encontrados nas partículas menores. O pH das cinzas varia de 4,5 a 12 dependendo das características geoquímicas do carvão precursor (FERRET, 2004). A composição química da cinza é determinada pelo tipo de carvão utilizado e pela quantidade de material incombustível presente no mesmo (METHA e MONTEIRO, 1994).

As pozolanas artificiais e naturais têm sido utilizadas em concreto com cimento Portland na construção civil, fato que atribui aos mesmos benefícios em sua propriedade mecânica, na durabilidade no estado endurecido e também em relação à reologia no estado fresco (MANTUANNO NETTO, 2006).

MANTUANNO NETTO (2006) e METHA (1987), ao tratarem o uso da cinza volante em concreto com cimento Portland, afirmam que a composição química da cinza é determinada pelo tipo de carvão e pela quantidade de material combustível presente no mesmo. O autor considera também que 85% das cinzas volantes apresentam

os elementos silício, ferro, alumínio, cálcio e magnésio. Sua atividade pozolânica se dá em virtude dos silicatos de alumínio metaestáveis “[...] que reagem com os íons de cálcio em presença de umidade, para formar silicatos de cálcio hidratado” (MANTUANO NETTO, 2006, p.119).

As características físicas foram definidas a partir das imagens feitas por microscopia de varredura eletrônica revelam que as partículas das cinzas volantes apresentam formato esférico, sendo sólidas e ocas de acordo com a Figura 2.44. Algumas também apresentam formas irregulares e angulares. O diâmetro das partículas giram em torno $7\mu\text{m}$ a $12\mu\text{m}$ e a superfície, mede em geral $250\text{m}^2/\text{kg}$ a $550\text{m}^2/\text{kg}$ - método de Blaine (MANTUANO NETTO, 2006).

Quanto mais finas as cinzas, maior é seu caráter pozolânico, conseqüentemente as reações químicas ocorrem mais rapidamente, com isso a atividade pozolânica tenderia a aumentar em virtude da área disponível para a reação (MANTUANO NETTO, 2006) (Figura 2.30).

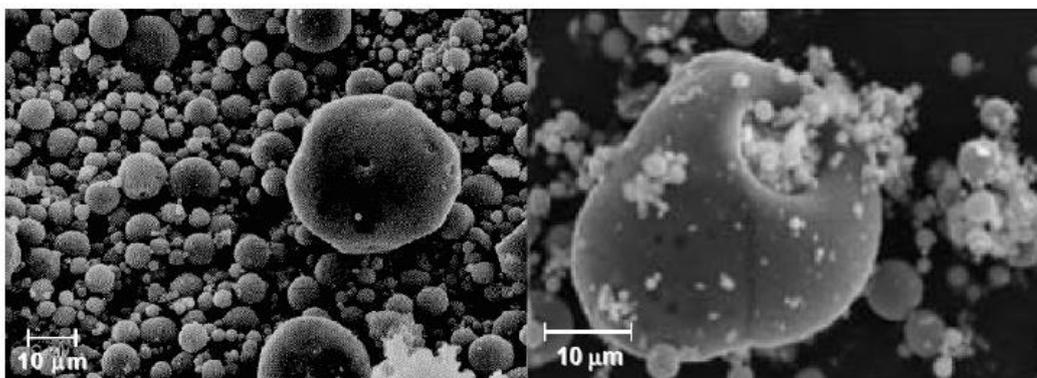


Figura 2.30: Cinza volante, formato esférico sólido e cenosférico. Fonte: AZEVEDO *apud* MANTUANO NETTO (2006).

Segundo o autor as características químicas das cinzas volantes:

[...] são constituídas pelos compostos químicos e cristais de sílica, SiO_2 , alumina, Al_2O_3 , óxido férrico, Fe_2O_3 , e cal, CaO . Em quantidades substancialmente inferiores, existem outros componentes como MgO , Na_2O , K_2O , SO_3MnO e TiO_2 . As cinzas volantes contêm, também, partículas de carbono não consumidas na combustão [...] Os aludidos quatro componentes principais das cinzas registram variações apreciáveis, podendo apresentar valores compreendidos, de acordo com o ACI Committee 232 (1996)

apud AZEVEDO (2002), entre os seguintes: SiO₂ – 35% a 60%; Al₂O₃ – 10% a 30%; Fe₂O₃ – 4% a 20%; CaO – 1% a 35%. (MANTUANNO NETTO, 2006, p.1626).

Há uma discussão quanto à atribuição da pozzolanidade das cinzas relacionada ao SiO₂ uma vez que ALONSO e WESCHE, citados pelo autor, consideram que quantidades inferiores à 35% deste composto são praticamente inativas à pozzolanidade, não devendo ser incorporadas ao concreto. Estes autores colocam também que o elevado teor de cal entre 15% a 40% nas cinzas volantes devem ser evitados, uma vez que apresentam propriedades aglomerantes e hidráulicas. Contrariamente HALSTEAD (1986), MEHTA (1985), JOSHI e LOHTIA (1997) (*apud* MANTUANNO NETTO, 2006), consideram que com exceção da variação de cálcio os demais constituintes da cinza volante, aparentemente, pouco influenciam as propriedades de pozzolânicas.

As características de tempo de pega e mecânica podem ser afetadas pelas quantidades dos sulfatos nas cinzas volantes; desta forma deve-se considerar um teor máximo. Por sua vez a quantidade de carbono nas cinzas influencia na exigência de água de pastas, concretos e argamassas. O carbono presente nas cinzas volantes contém grande capacidade de absorção de água e aditivos presentes no preparo do concreto “[...] principalmente superplastificantes, agentes introdutores de ar ou retardadores de pega” (AZEVEDO *apud* MANTUANNO NETTO, 2006, p. 126).

MANTUANNO NETTO (2006), em sua revisão bibliográfica, relata considerações contraditórias quanto ao teor de carbono em cinzas volantes. Parte da bibliografia analisada considera que este teor é inversamente proporcional à qualidade da cinza no uso de argamassa e concreto, ou seja, quanto menor o teor de carbono melhor será a cinza volante. Segundo esta referência, o teor de carbono deve ser inferior a 8%. Em contrapartida, em uma experiência citada pelo autor, que se utilizou de dois teores de “não queimados” em cinza volante para avaliação de concreto, teve como resultado que a melhor composição foi aquela que incorporava cinza volante com maior teor de não queimados, aproximadamente 11%.

A resistência à compressão e a durabilidade (avaliada através da permeabilidade à água, da penetração de cloretos e da penetração de dióxido de carbono) das misturas fabricadas com cinzas volantes em substituição de 30% de cimento, aumentou com o teor em não queimados das cinzas. O desempenho dos concretos melhorou à medida que a perda ao fogo das cinzas volantes aumentou, contradizendo as restrições ao uso de cinzas baseadas no teor de não queimados, conforme preconizado por alguns autores e pela quase totalidade das normas existentes. (AZEVEDO *apud* MANTUANNO NETTO, 2006, p.127).

Quanto à influência da Cinza Volante no Concreto, em estado fresco, alguns autores consideram que as cinzas volantes que apresentam teor de cálcio (classe C) reduzido, retardam a pega do cimento e aumentam o tempo de início e fim da pega.

A redução da quantidade de água a fim de garantir a fluidez e o aumento da trabalhabilidade e nas misturas de concreto é atribuída à particularidade da morfologia das cinzas volantes de reduzido teor de cálcio - dimensão reduzida, superfície pouco rugosa, forma aproximadamente esférica – influencia a reologia do concreto, em comparação a um concreto equivalente onde o aglomerante é exclusivamente cimento.

HELMUTH (1987) defende que a eficiência das cinzas volantes na diminuição da exigência de água é notória até percentagens de substituição de cimento por cinzas da ordem dos 20%. Este valor, no entanto, não é consensual, podendo depender do tipo de cinza volante utilizada. BERG e KUKKO (1991) mencionam investigações em que a percentagem de substituição ótima em argamassas se situa entre os 20% e os 70%, não se verificando diferenças significativas na trabalhabilidade. Segundo NEVILLE (1995), o efeito das cinzas na trabalhabilidade de argamassas e concretos é devido, principalmente, à dispersão e adsorção das suas partículas nas de cimento (MANTUANNO NETTO, 2006, p.132).

Outros experimentos concluíram que o teor de não queimados está relacionado à exigência de água nas argamassas, devido à capacidade do carbono em absorver água. Assim quanto mais finas as frações, maior é a eficiência das cinzas volantes em argamassas e concretos.

Por sua vez o a diminuição do efeito de exsudação de água e segregação de concreto também são beneficiados mediante a presença de cinzas volantes, estes efeitos

tendem a diminuir à medida que a finura e a dosagem da cinza aumentam.

Para o estado endurecido as cinzas volantes têm maiores influência nas propriedades de resistência mecânica e durabilidade do concreto endurecido. Entre os efeitos a adição da cinza em argamassas e concreto se tem o físico - efeito fíler¹ – e o químico – efeito pozolânico.

MANTUANNO NETTO (2006) descreve que, com o passar do tempo, as cinzas volantes passam a contribuir na resistência mecânica dos concretos; a resistência também é favorecida devido ao fato da adição da cinza volante reduzir a exigência de água; as cinzas com reduzidos teores de cálcio prolongam a vida do concreto, uma vez que diminuem a permeabilidade do mesmo; a reação álcalis-sílica, que ocorrem com determinadas formas de sílica, e soluções de hidróxido alcalino, a qual tem como resultado um gel de silicato e álcalis propenso à absorção de água, a expansão do gel ao ocorrer no concreto compromete a resistência mecânica do mesmo (FLORINDO, 2009). Assim, a sílica presente nas cinzas volantes, consome álcalis da pasta de cimento reduzindo a expansão para níveis destrutivos; a cinza volante proporciona também a resistência à ação de sulfatos no concreto, melhorando assim a resistência do mesmo, bem como, em ambiente úmido, a adição de cinzas ameniza a ação dos cloretos que atacam a corrosão das armaduras do concreto (MANTUANNO NETTO, 2006).

Os autores SOKOLAR e VODOVA (2011), também analisam o efeito da adição da cinza volante fluidizada² (“FluidizedflyAsh”) nas propriedades dos revestimentos cerâmicos. A influência foi estudada antes da queima a 1080°C. Segundo os autores, a cinza volante fluidizada reduziu a retração à queima, e aumentou a porosidade do corpo, as quais são mais acentuadas quando não há o incremento da cinza

¹ O efeito Fíler é o “preenchimento com partículas de cinzas volantes dos vazios existentes entre as partículas de cimento, de dimensão superior [...] em particular quando estas se encontram desfloculadas na presença de uma dose adequada de superplastificante, como acontece nos concretos de alto desempenho. Assim, é garantida uma maior compactidade e densidade da pasta, mesmo antes do desenvolvimento das ligações químicas a partir da hidratação do cimento”. (MANTUANNO NETTO, 2006, p.134).

²Essa cinza é gerada a partir da queima de um pó fino de carvão, cinza volante, calcário ou dolomita na caldeira do leito fluidizado.

volante. A quantidade máxima desta cinza deve ser de “20 wt.%” na mistura do pó de argila para atender ao Grupo BIII de revestimento cerâmico.

SOKOLAR e VODOVA (2011) analisaram dois tipos de matéria primas, utilizadas como componentes não-plásticos, Cinza volante de carvão queimado à alta temperatura (CFA), proveniente da Usina Térmica de Melnik, na Republica Checa e a cinza volante fluidizada (FFA) proveniente da usina térmica de Hodonin também localizada na República Checa. A Figura 2.31 demonstra a composição mineralógica das cinzas, onde CFA apresenta a fase vítrea como componente principal (80%) e 20% de mullita, a quantidade de SO_3 apresenta valor abaixo de 1%, uma vez que o Sulfato de Cálcio se decompõe na temperatura acima de $1150^{\circ}C$. FFA apresentou a maior quantidade de SO_3 na forma de $CaSO_4$, CaO (15%) e calcita $CaCO_3$.

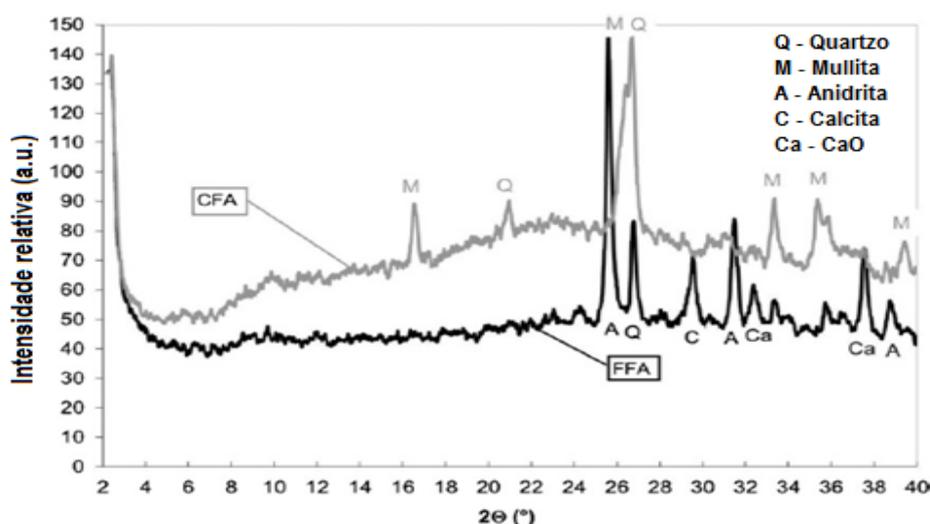


Figura 2.31: Difrátograma com a composição mineralógica CFA e FFA (adaptada). Fonte: SOKOLAR e VODOVA(2001).

A tabela abaixo apresenta composição química das matérias, onde FFA possui uma elevada quantidade de CaO , além de demonstrar propriedades hidráulicas (Tabela 2.29).

Tabela 2.29: Tabela com a composição química dos materiais utilizados (adaptada). Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).

Matéria prima	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	S
Argila	48.6	33.5	2.7	0.8	0.1	0.3	2.2	2.2	1.8	0.0
CFA	55.9	29.3	4.7	1.7	2.2	1.4	1.6	0.1	1.2	0.1
FFA	27.4	15.2	6.9	0.5	31.4	4.3	0.6	<1.0	5.0	4.0

De acordo com as imagens da microscopia de varredura eletrônica (1500x) o CFA apresenta-se em forma de grãos esféricos, enquanto que o FFA os grãos em forma irregular. Quanto ao peneiramento foram utilizadas a peneira R36: para as cinzas volantes não tratadas (R63-n), e moídas (R63-m).

A argila caulinítica (Kaolinic Clay) é utilizada como o componente plástico, na mistura da matéria prima do revestimento cerâmico, sendo classificada no grupo das argilas refratárias, com alto poder ligante e de sinterização. Esta argila contém a seguinte composição mineralógica: 65% de argila caulinita; 25% de ílita-hisromuscovita; 3% ílita-montmorillonita e 5% de quartzo como principal fase mineralógica (Figura 2.32).

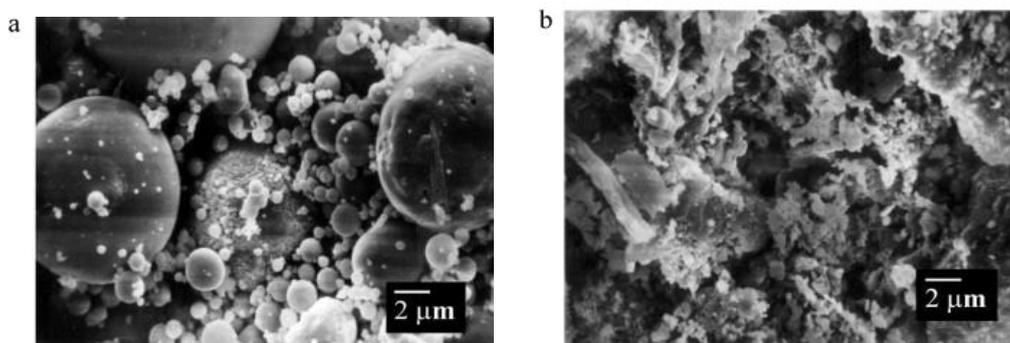


Figura 2.32: MEV apresentando as formas dos grãos. Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).

Quanto ao teste da matéria prima de elaboração do revestimento, misturou-se: “i.e. 60 wt.%” de cinza volante das usinas (CFA e FFA em uma proporção determinada), e “40 wt.%” em dois estágios. De acordo com as tabelas abaixo (Tabelas 2.30 e 2.31):

Tabela 2.30: Composição das amostras no 1° estágio (adaptado). Fonte: SOKOLAR e VODOVA (2001).

Fornada	Cinzas volantes (wt.%)		Argila (wt.%)
	FFA	CFA	
FFA0m	0	60	40
FFA10m	10	50	40
FFA20m	20	40	40
FFA30m	30	30	40
FFA60m	60	0	40

Tabela 2.31: Composição das amostras no 2° estágio (adaptado).Fonte: SOKOLAR e VODOVA(2001).

Fornada	Cinzas volantes (wt.%)		Argila (wt.%)
	FFA	CFA	
FFA0m	0	60	40
FFA15m	15	45	40
FFA0n	0	60	40
FFA15n	15	45	40

Os autores afirmam que a adição de FFA na mistura argilosa, reduziu a retração de queima nas amostras. A porosidade do corpo queimado aumentou, assim como a absorção de água e a porosidade aparente, a densidade aparente e a resistência à flexão diminuíram. Para atender as propriedades requeridas do corpo composto de cinza volante e argila, queimado, (com 10-20% de absorção de água e min. 15MPa de resistência à flexão) é possível utilizar a porcentagem de 20 wt.% de FFA - que é quando o corpo apresenta 4.7% de retração à queima, isto é menor que 46% do corpo de argila quando FFA não é utilizada. No segundo estágio dos testes, as amostras contiveram 15 wt.% de cinza fluidizada FFA.

De acordo com os testes realizados, concluíram que é possível modificar a matéria prima da cinza nas argilas, misturando-a FFA, pois a retração à queima mediante a sinterização é compensada devido à criação de anortita no processo de queima. Com o aumento da porosidade do corpo há uma diminuição da resistência à flexão e um aumento do teor de dióxido de enxofre nos gases de combustão. A quantidade máxima de FFA que os autores indicaram para ser utilizada é de 20 wt.%.

Outro exemplo de utilização da cinza volante é o estudado por SILVA *et al* (1999) que analisam a cinza proveniente da Usina Termoeletrica de Candiota, localizada no estado do Rio Grande do Sul, para aproveitamento cerâmico. Para isso realizaram ensaios de DRX, para determinação mineralógica, Microscopia de Luz Transmitida, Análise Térmica Diferencial e Análise Termogravimétrica.

Os autores analisaram o SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e CaO por espectrometria de fluorescência de raio X, e por espectrometria de absorção atômica, os elementos maiores e menores (Tabela 2.32).

Tabela 2.32: Tabela com a composição química da cinza volante. Fonte: SILVA *et al.* (1999).

Elementos maiores (%)		Elementos menores e traços (PPM)	
SiO ₂	67-71	Mn	105-283
Al ₂ O ₃	19-24	Zn	73-173
Fe ₂ O ₃	5-8	Cu	36-55
CaO	0,20-1,10	Pb	52-96
MgO	0,20-1,80	Hg	0,05-0,8
Na ₂ O	0,10-0,70	Cr	60-95
K ₂ O	0,40-1,50	Cd	0,12-0,24
SO ₃	0,10-0,70	Ni	28-54
Perda ao Fogo	0,20-0,80		

A Figura 2.33 apresenta o difratograma da cinza volante, resultado da análise de DRX. De acordo com esta, há presença de mulita, quartzo, cristobalita, caulinita, calcita e feldspato. Segundo os autores as intensidades raias de difração dos compostos cristalinos, o quartzo (30-35%) é o mais freqüente, seguido da mulita (15-20%) e da hematita.

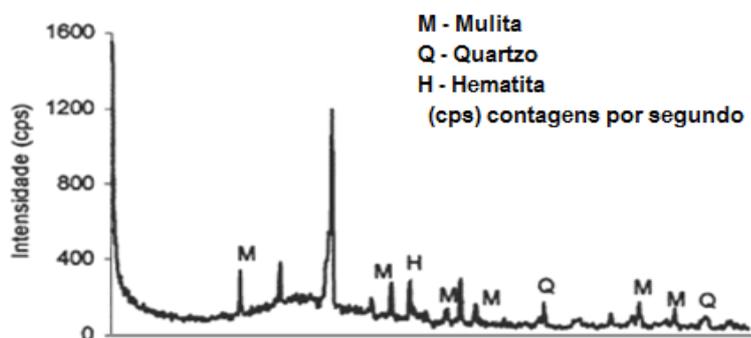


Figura 2.33: Difratograma da cinza analisada (adaptada). Fonte: SILVA *et al.* (1999).

A partir do ensaio granulométrico, a cinza estudada apresentou frações finas de minerais com características morfológicas suscetíveis de causar variações nas massas específicas, as pequenas variações texturais, porém, na prática da utilização como material de construção, segundo os autores, estas variações são irrelevantes. As cinzas volantes de Candiota estão na faixa do silte com areia, com o coeficiente de uniformidade entre 3,5 – 7,5. Teores superiores a 10% nas frações inferiores a 0,0005mm foram raros. A superfície específica variou entre 2500-3500cm².g-1 e a massa específica dos grãos ficaram entre 1,90 -2,20 g/cm³.

SILVA *et al* (1999) afirmam que, para os propósitos de engenharia, as cinzas volantes de Candiota podem ser consideradas não plásticas, embora apresentem partículas de argila. Os autores também comprovaram o caráter pozolânico, a partir do ensaio realizado com cimento Portland e com cal hidratada, o índice de pozolanidade resultaram entre 61,9% (cimento) e 60,1 kgf/cm² (cal hidratada). Com base nos resultados, os autores atestam a viabilidade de utilização desta cinza volante como futura matéria-prima cerâmica, sendo recomendável que a mesma seja estudada em misturas com materiais como argila vermelha, caulim, etc.

KOUKOUZAS *et al.* (2011) também utilizaram a cinza volante em tijolos de argila, sendo as cinzas analisadas provenientes da queima de carvão betuminoso com adição de calcário para captação de enxofre. O carvão por sua vez é gerado a partir de um leito fluidizado (CFB). Os autores utilizaram três amostras diferentes de argilas consideradas representativas como matéria prima na indústria cerâmica. Tais argilas foram denominadas como:

PAL- quantidade de SiO₂wt. % similar à MA2, assim como o teor de quartzo. Contém um adicional de 5% em peso de Al₂O₃ em relação à MA2.

AML – apresenta maior quantidade de silício e menor de calcário

MA2- quantidade de SiO₂wt. % similar à PAL

As Tabelas 2.33 e 2.34, apresentam a composição química da material prima determinada pelo “Spectro X-Lab 2000 Energy Dispersive X-ray Fluorescence e mineralógica a partir do DRX.

Tabela 2.33: Composição química da matéria prima analisada a partir do DRX (adaptado). Fonte: KOUKOUZAS *et al.* (2011).

Composição (%)	Matéria prima			
	PAL	AML	MA2	CFB Cinzas volantes
SiO ₂	46.88	52.64	48.67	46.92
Fe ₂ O ₃	5.61	5.22	3.82	2.97
Al ₂ O ₃	17.98	19.05	9.55	28.24
TiO ₂	0.72	0.68	0.43	0.93
CaO	7.53	3.51	11.82	8.30
MgO	8.15	5.91	8.39	0.61
SO ₃	0.00	0.00	0.00	3.24
P ₂ O ₅	0.14	0.18	0.98	2.49
Na ₂ O	1.75	2.45	2.03	0.66
K ₂ O	3.15	3.65	1.36	1.80
LOI	7.50	6.40	12.8	3.50

Tabela 2.34: Composição mineralógica da matéria prima (adaptado). Fonte: SILVA *et al.* (1999).

Fases detectadas	Matéria prima			
	PAL	AML	MA2	CFB Cinza volante
Quartzo	XX	XX	XX	XX
Anidrito	-	-	-	XX
Cal	-	-	-	X
Calcita	-	-	-	XX
Hematita	-	-	-	X
Mulita	-	-	-	X
Caulinita	-	-	-	X
Illita	-	-	-	X
Albita	X	X	-	X
Gismondina	-	-	-	X
Gehlenita	-	-	-	X
Microclina	-	-	-	X
Tremolita	-	-	-	X
Augelita	-	-	-	X
Tridymita	-	-	-	X
Dolomita	X	-	X	-
Enstatita	-	-	X	-
XX presença intensa, X fraca presença, - ausência				

No que tange a síntese e caracterização dos tijolos, estes foram denominados de: Tijolo 0, tijolo 10 e tijolo 20, com zero, 10 e 20 w.t % de cinza volante respectivamente. As amostras cruas denominadas de “amostra crua” 10 e 20 contêm, respectivamente, cinza volante com 10 e 20 wt.%. Ambos, queimado e cru, foram analisados por DRX, e sua superfície observada por JSM-6300 JEOL Scanning Electron Microscope (SEM).

A composição química das argilas, presente na tabela 2.23, indica que a cinza volante é silicosa da Classe F de acordo com a ASTM C618. As porcentagens de enxofre são razoáveis devido ao processo de combustão que passa pelo reator durante a combustão. A quantidade de CaO serve de guia para seleção das amostras, a fim de evitar aquelas com a deposição de sal nas superfícies dos tijolos após a queima.

Em geral o valor de CaO tem que ficar até wt. 6%; acima disso, deve ser controlado, uma vez que leva a deposição de escórias sobre a superfície e à quebra. No caso utilizado pelos autores, estava acima do limite, porém não alto o suficiente para apresentar riscos aos tijolos. A composição da cinza volante é diferente comparada às amostras de argila, de acordo com a porcentagem dos elementos: Fe, Al, Mg, e P. Porém as amostras de argila, não contem enxofre.

A LOI indica a quantidade de matéria volátil que poderia se perder durante a queima. A Tabela 2.33 mostra que o LOI no cinza volante é mais baixo em comparação às amostras de argilas. Segundo os autores isso ocorre devido ao fato da cinza volante ser produto do carvão (KOUKOUZAS *et al.*,2011).

A Tabela 2.34 mostra as fases mineralógicas dominantes da cinza volante. O quartzo e a cal são considerados minerais primários, enquanto “gehlenite” e anidrita são formados durante o processo de combustão. A argila, por sua vez, tem uma composição mineralógica similar comparada umas as outras. As fases mineralógicas encontradas foram: quartz, albita, dolomita, e enstatite. O DRX demonstrou que todas as amostras de cinza contêm quartzo, anidrita e às vezes hematita, cal, calcita e etc. A anidrita é solúvel e reage com a água formando gipsita ou “ettringite”, material indesejável no cimento ou na produção de concreto (KOUKOUZAS *et al.*,2011).

Porém as propriedades da mulita são importantes para os corpos cerâmicos que apresentam cinza volante, devido atribuírem características como, baixa expansão térmica, excelente resistência à fluência a altas temperaturas, baixa condutividade térmica.

Tabela 2.35 mostra que o decréscimo de CaO acontece com o aumento da quantidade de cinza volante. Foi identificado nas amostras sem cal livre, que pode afetar o comportamento mecânico e causar fissura. A tabela 2.26 traz a composição mineralógica antes da queima. Todas as amostras contem quartzo, mulinita, albita, microclina, anortita, “diopside” e, ocasionalmente, anidrita (KOUKOUZAS *et al.*,2011).

A Figura 2.34 por sua vez confirma que as amostras que contem cinza volante apresentam maior porosidade que as que não apresentam à cinza. A presença de poros abertos dentro da forma esponjosa foi observada nas seguintes ampliações (1,000 e 2500x). As formas esponjosas, segundo KOUKOUZAS *et al.* (2011), são provavelmente formadas pela decomposição de CaCO₃. A absorção de água nos tijolos indicou uma relação linear entre a cinza volante e a quantidade de água absorvida, acima de 20 wt.% de cinza volante. A adição de cinza volante na mistura também levou a uma ligeira redução e estabilização da absorção de água – acima de 15% - o que os autores atribuíram possivelmente a porosidade fechada.

Tabela 2.35: Composição mineralógica dos tijolos (adaptada). Fonte: KOUKOUZAS *et al.* (2011).

Composição	Tijolo0	Tijolo 10	Tijolo 20
SiO ₂	38.62	37.95	36.83
Fe ₂ O ₃	19.71	21.12	21.2
CaO	19.95	18.19	18.16
Al ₂ O ₃	10.98	11.27	11.16
K ₂ O	4.62	4.54	4.64
SO ₃	1.75	2.24	2.52
TiO ₂	1.51	1.75	1.98
MgO	1.47	1.48	1.22
BaO	0.60	0.56	0.51
MnO	0.34	0.37	0.35
Cr ₂ O ₃	0.13	0.12	0.18

Tabela 2.36: Composição mineralógica das amostras (adaptada). Fonte: KOUKOUZAS *et al.* (2011).

Mineral	Tijolo0	Tijolo 10	Tijolo 20	Verde amostra 10/20
Quartzo	XX	XX	XX	XX
Anidrito	-	X	X	-
Mullita	XX	XX	XX	-
Albita	X	X	X	X
Microclina	X	X	X	-
Anordita	X	X	X	X
Diopsita	X	X	X	-
Muscovita	-	-	-	X
Clinoclore	-	-	-	X
Gypsita	-	-	-	X
XX presença intensa, X fraca presença, - ausência				

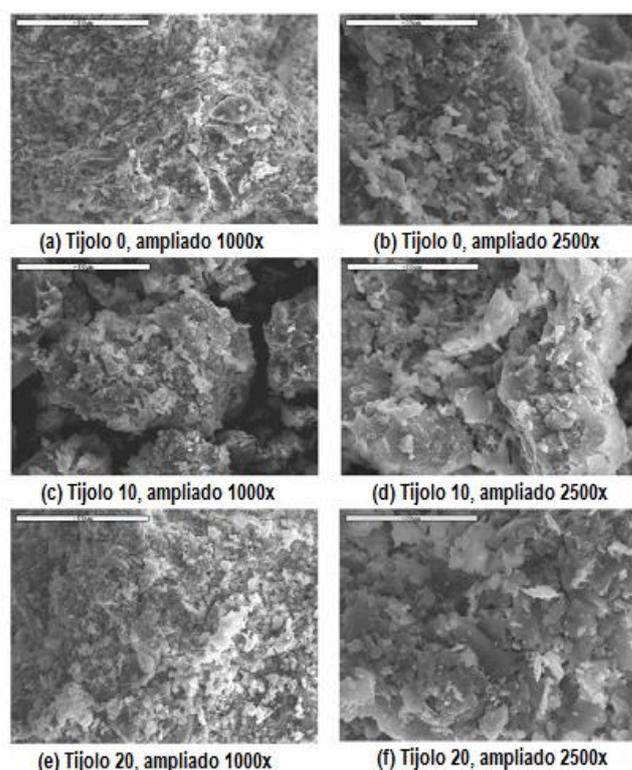


Figura 2.34: Microestrutura dos tijolos manufaturados (adaptada). Fonte: KOUKOUZAS *et al.* (2011).

KOUKOUZAS *et al.* (2011) concluíram que tijolos de argila contendo 10 e 20 wt. % CFB podem ser produzidos como piloto, pois os resultados de suas propriedades físico-químicas demonstraram que os tijolos que utilizaram a cinza volante em sua mistura tiveram relativa restrição e tolerância, com baixas porcentagens de cinza

adicionadas. Esta baixa porcentagem de substituição de cinza na mistura do tijolo é possível sem deteriorar significativamente o desempenho mecânico; a porosidade aumenta progressivamente, o que seria importante em termos de comportamento isolante; com altos teores de cinza volante menor força foi obtida; apenas pequenas quantidades de cinzas volantes (10% wt.) poderia ser utilizada para a produção de telhas de barro.

No campo das argamassas, SIQUEIRA *et al.* (2012), analisa seu comportamento quanto à resistência à compressão quando em sua mistura são incorporadas cinzas provenientes da combustão do carvão mineral, em caldeiras de leito fluidizado, em substituição parcial do cimento. Além da resistência a compressão, os autores realizaram análises complementares de difração de raios X. Para isso foram elaborados corpos de prova com os cimentos *Portland* (CPII-E-32) e areia de classificação abaixo da malha 100. Tais misturas continham as proporções 4 de agregado para 1 de cimento, com a adição de cinza na proporção 0, 10, 20, 30, 40 e 50%.

Segundo os autores, o experimento constou da produção de uma argamassa de referência – sem cinza – a fim de ser efetuada a comparação das argamassas sem cinza. A partir do preparo, as misturas foram colocadas nos moldes metálicos cilíndricos 50mm de diâmetro e 100mm de altura, de acordo com a ABNT NBR 7215. O traço utilizado foi 1:4. O difratograma da Figura 2.35, mostra a presença de calcita, quartzo e anidrita.

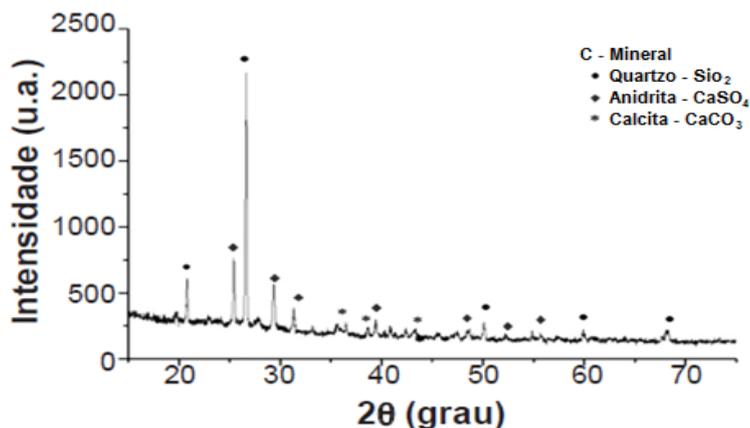


Figura 2.35: Difratograma de raio X da cinza volante (adaptada). Fonte: SIQUEIRA *et al.* (2011).

A Tabela 2.37, resultante da análise química por fluorescência de raios X, revelou que a cinza é composta por sílica, calcário e alumina, que caracterizam como material pozolânico.

Tabela 2.37: Análise química da cinza volante. Fonte: SIQUEIRA *et al.*(2011).

Composto	Concentração (%)
Al ₂ O ₃	26,99
CaO	5,03
Fe ₂ O ₃	1,45
MgO	1,2
K ₂ O	0,75
Na ₂ O	0,75
MnO	0,04
SiO ₂	33,80
SO ₃	7,33
PF	21,69
Total	99,03

Quanto à resistência à compressão, a adição de cinza volante em substituição ao cimento resultou na diminuição da resistência. A Figura 2.36 mostra os resultados da análise. Foi apontado que as melhores resistências à compressão se deram na substituição de até 40% (5,6). A amostra cristalográfica por sua vez mostrou que as fases principais do cimento – silicato e aluminatos – mediante a adição de cinza. Segundo SIQUEIRA *et al.* (2012) tal resposta se dá em virtude do aumento do teor de sílica livre que influencia na diminuição das propriedades mecânicas da argamassa.

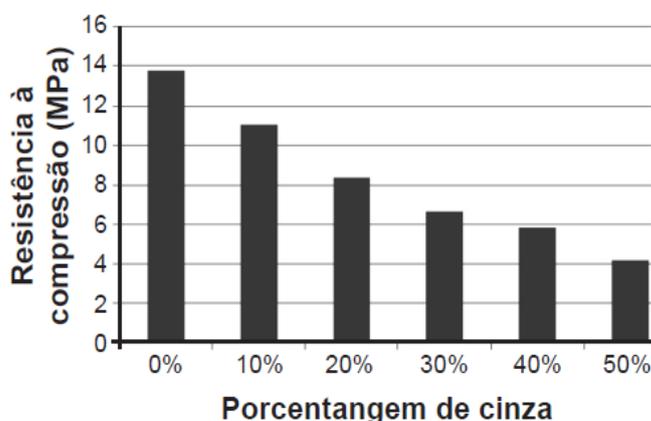


Figura 2.36: Gráfico da variação da resistência a compressão após 28 dias. Fonte: SIQUEIRA *et al.*(2011).

No difratograma das argamassas estudadas foi observado que nas amostras a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) foi consumida totalmente nos teores de 40% e 50%, não foram observados picos relacionados ao silicato de cálcio hidratado (CSI) (Figura 2.37).

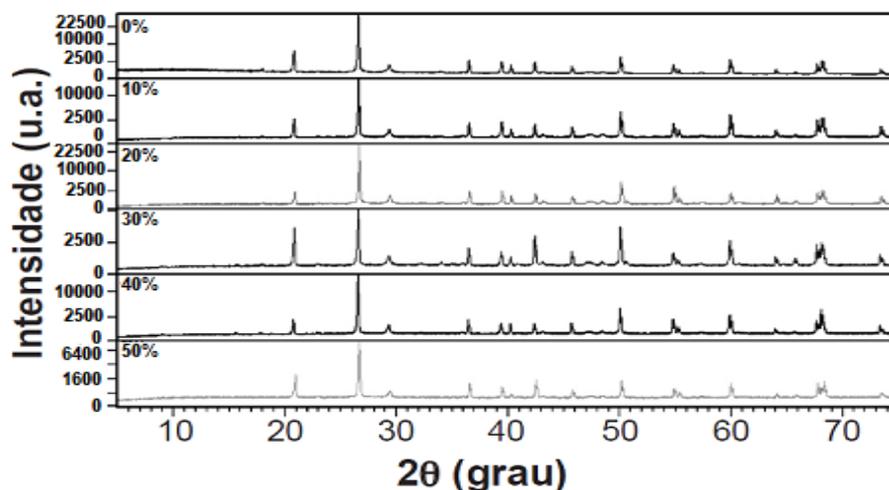


Figura 2.37: Difratograma das argamassas. P= portlandita, Q= Quartzo, C = Calcita. Fonte: SIQUEIRA *et al.* (2011).

Segundo os autores, a metodologia de avaliação de cinzas volantes de caldeiras de leito fluidizado como substituinte ao aglomerante, forneceu valores de desempenho satisfatórios. A substituição do aglomerante por resíduo na produção de argamassas tem sucesso em teores de até 30%.

Destaca-se também o trabalho de CHENGALA e CHEN (2011) que incorporam a cinza proveniente do gaseificador de companhias cerâmica (Oceano CeramicCo, Ltd, Foshan, China) em cerâmica. Foram caracterizadas por DRX e escaneadas por microscopia de varredura. A Tabela 2.38 mostra a composição da cinza analisada.

Tabela 2.38: Tabela com a composição química da cinza (adaptada). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).

Componente	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Proporção	41,85	16,60	11,41	0,93	18,52	1,92	0,70	1,53

Em virtude de a cinza ser um material pobre, CHENGALA e CHEN (2011) adicionaram outros ingredientes à cerâmica, mostrados na Tabela 2.39, a fim de que se garantisse as propriedades de modelagem e fluidez. À mistura foi adicionada água para

se fazer a lama, na proporção – água: mistura 1.5:1.

Tabela 2.39: Tabela com a composição química dos outros ingredientes cerâmicos (adaptada). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Argila	51,4	33,6	0,79	0,34	0,07	0,19	1,01	0,16
Quartzo	82	12,5	0,24	0,1	0,06	0,15	0,85	0,28
Feldspato	76,7	13,3	0,15	0,01	0,21	0,07	4,83	3,83

O difratograma da cinza (Figura 2.38) mostrou as seguintes fases cristalinas: quartzo, tridimita, gehlenite, magnetita, magnesioferrita, mulita, clinoenstatite. A Figura 2.39 mostra as curvas de força, com o primeiro pico exotérmico à 599,3°C, e a TGA cai abruptamente. Uma razão provável seria a evaporação de água e a transformação à gás. Há um grande pico endotérmico a 757,1°C a 1191,4°C, e a curva decai lentamente.

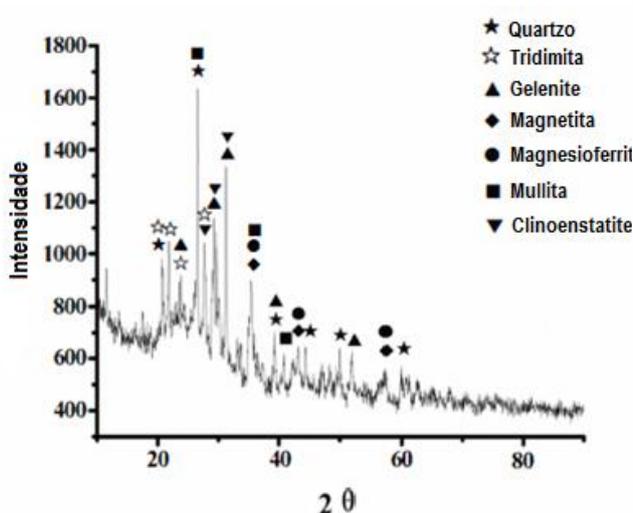


Figura 2.38: DRX da cinza e suas fases cristalinas (adaptado).
Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).

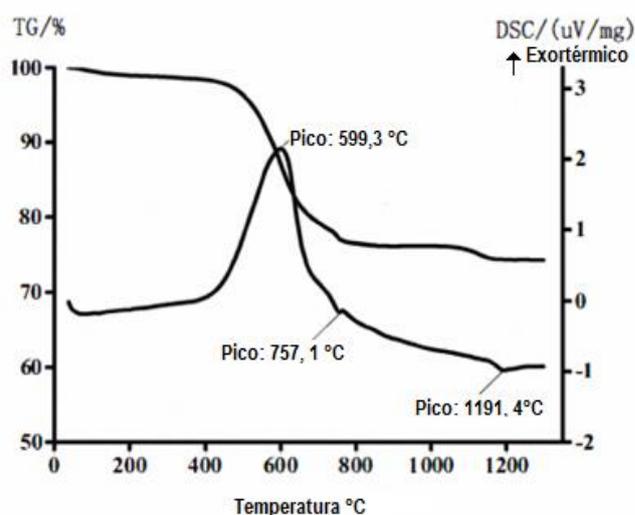
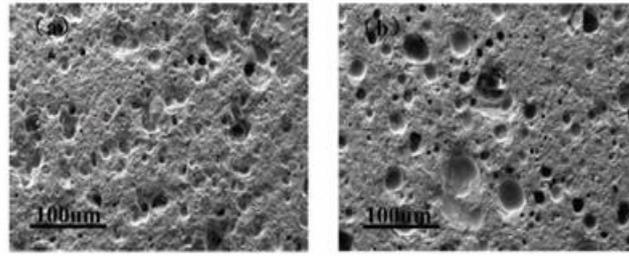
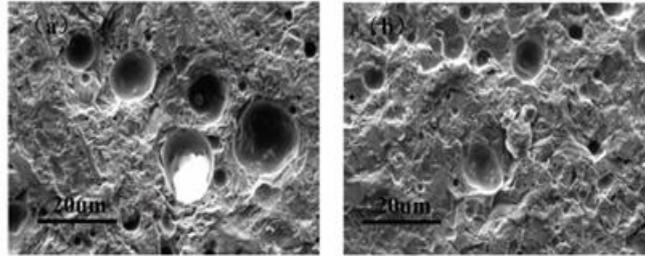


Figura 2.39: Curvas de forças (adaptado).
Fonte: CHENGALA e CHEN(2011).

As figuras abaixo trazem a MEV das amostras 1 e 2 respectivamente, as quais foram sinterizadas à temperatura de 1160°C e 1190°C. As imagens mostram a existência de poros na cinza dos corpos cerâmicos. Segundo os autores as razões para tais poros é complicada, pois vários fatores atuam para este aparecimento, como o gás produzido na decomposição, carbonato e sulfato, ou ainda um outro motivo (Figura 2.40).



(a) Temperatura de sinterização em 1160°C (b) Temperatura de sinterização em 1190°C



(a) Temperatura de sinterização em 1160°C (b) Temperatura de sinterização em 1190°C

Figura 2.40: MEV das amostras 1 e 2 (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN (2011).

A Figura 2.41 mostra os padrões das amostras 1, 2 e 3 nas temperaturas 1190°C. As principais cristas da cinza cerâmica são anorthite, quartzo e hematita. Isto dá em virtude da cinza conter muito SiO₂ e CaO na composição da “anorthite”. A hematita é trazida com a cinza, aquele material pode aumentar a resistência à flexão em baixa temperatura de sinterização; a hematita pode também dobrar a força se a sinterização ocorre a alta temperaturas.

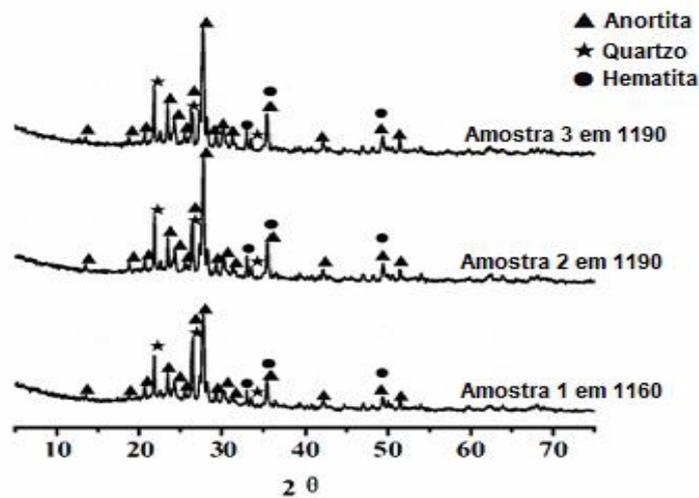


Figura 2.41: DRX das amostras 3, 2, e 1 (adaptado). Fonte: CHENGALA e CHEN(2011).

2.5.4 - Uso de argilas: características das argilas utilizadas na construção civil

2.5.4.1 - Sobre a Argila extraída do Rio Guamá

A argila pode ser definida pela sua composição química. A partir disto, compreendemos as argilas como silicatos de alumínio hidratados pertencentes aos grupos da caulinita, montmorillonita, illita e também clorita, e vermiculita de granulação fina (CARVALHO *et al*, 2011).

No trabalho realizado sobre a caracterização de uma argila extraída do Rio Guamá em Belém do Pará, alguns dos parâmetros físicos (Análise Granulométrica, Tensão de Ruptura a flexão, Absorção de água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente) e químicos (Fluorescência de Raios- X) foram utilizados para análise, com o objetivo de conhecer melhor a argila em estudo.

Quanto à composição química, a Tabela 2.40 apresenta o resultado da análise química e da perda ao fogo da argila das margens do Rio Guamá, a partir da técnica de fluorescência de Raios- X. A Tabela mostra que a argila das margens do Rio Guamá apresentou teores de SiO_2 e Al_2O_3 de acordo com as especificadas para as argilas caulínicas. Apresentou também elevado teor de óxido de ferro (9,435%), característica da argila vermelha. Na maioria das argilas caulínicas sedimentares da Amazônia, o elevado teor de sílica livre acima de 12% em peso e fração granulométrica abaixo de (< 325#) reduz a plasticidade, mas também diminui a retração e facilita a secagem.

Tabela 2.40: Composição Química em porcentagem da Argila da margem do Rio Guamá. Elaborado pelo autor (2011).

(%)Óxidos	Argilas
SiO ₂	61,396
Al ₂ O ₃	17,705
Fe ₂ O ₃	9,435
TiO ₂	1,199
Na ₂ O	0,317
K ₂ O	2,095
BaO	0,072
Na ₂ O	0,317
SO ₃	0,042
ZrO ₂	0,053
P.F	6,61

A perda ao fogo da argila foi de 6,610%, que indica uma diminuição no teor de matéria orgânica presente na argila e a quantidade de gás e vapor que são formados durante o aquecimento, resultantes da decomposição dos carbonatos e compostos orgânicos e derivados.

O peneiramento da argila em diversas frações apresentou o ensaio granulométrico da Tabela 2.41:

Tabela 2.41: Análise granulométrica da argila das Margens do rio Guamá. Elaborado pelo autor (2011).

Malha#	Abertura (um)	Mas. Ret.	(%) Retida	Acumulada (%)	(%) Passante
200	74	0,45	0,19	0,37	99,63
270	53	5,26	2,23	2,60	97,40
325	44	12,64	5,37	7,97	92,03
400	37	14,85	6,31	14,27	85,73
-400	-37	201,9	85,73	100,00	0,00

2.5.4.2 - Sobre outras argilas caulínicas

VIEIRA e PINHEIRO (2011) ao avaliarem a argila caulínica utilizada na fabricação de cerâmica vermelha elaboraram cinco formulações de massas cerâmicas utilizando argilas do município de Campos dos Goytacazes-RJ. Essas argilas foram denominadas de forte (Fo) e Fracas (Fr). “As massas diferenciam pela porcentagem em peso das matérias-primas da seguinte forma: 100% (Fo), 70% (7Fo₃Fr), 50% (FoFr), 30% (3Fo₇Fr) e 0% (Fr) de argila forte.” (VIEIRA e PINHEIRO, 2011, p. 320). O material coletado pelos autores foi submetido à estufa, desagregados no pilão manual e aos ensaios de caracterização por DRX, composição química, distribuição de tamanho de partícula, análises termo-gravimétrica e termo-diferencial e plasticidade.

O DRX das argilas Fo e Fr apresentaram composição mineralógica similares, de acordo com a imagem abaixo, onde os picos de difração corresponderam a: caulinita – Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O, quartzo – SiO₂, gibsita – Al₂O₃.3H₂O e mica moscovita – K₂O.3Al₂O₃.6SiO₂.2H₂O. Segundo Vieira e Pinheiro (2011) a caulinita é um argilomineral presente no caulim e em outras argilas comumente utilizadas para a fatura de produtos cerâmicos, sendo identificado que a caulinita atribui a plasticidade nas argilas estudadas. O quartzo foi apontado como principal impureza – “matéria-prima não plástica e inerte durante a queima”; a gibsita contribui para a refratariedade e a perda da massa durante a queima; mica muscovita em partículas bem reduzidas atuou como fundante devido à presença de óxidos e alcalinos (Figura 2.42).

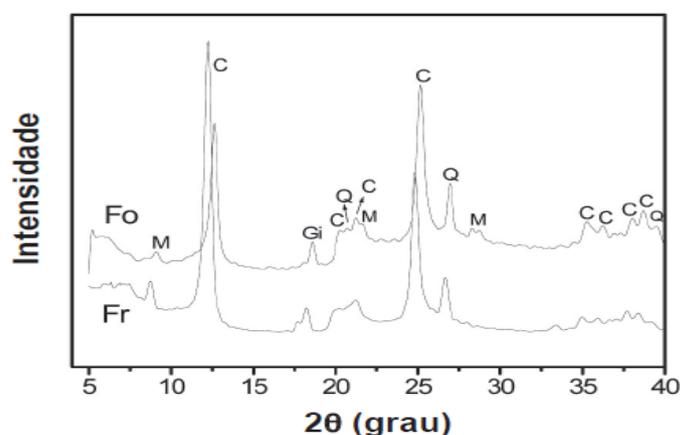


Figura 2.42: Difratograma das argilas estudadas. C= caulinita; Gi = gibsita; M= mica muscovita; Q = quartzo. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).

A tabela abaixo apresenta a composição química realizada por espectrometria de fluorescência de raios X (equipamento Philips PW-2400) (Tabela 2.42):

Tabela 2.42: Composição química das argilas. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).

Matérias-primas	Determinações								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	PF
Argila Fo	48,84	25,94	9,14	1,30	0,30	0,83	1,91	0,46	12,06
Argila Fr	55,75	21,48	8,55	1,18	0,39	0,98	2,27	0,74	8,30

Ambas as argilas apresentam suas composições tipicamente caulinítica, ou seja:

[...] com elevado teor relativo de alumina (Al₂O₃), baixo percentual de sílica (SiO₂) e baixo teor de fundentes alcalinos (K₂O + Na₂O). Argilas ditas fundentes, de predominância ílfica, apresentam menor teor de Al₂O₃ e maiores teores de SiO₂ e óxidos alcalinos K₂O + Na₂O que as argilas cauliníticas (VIEIRA e PINHEIRO, 2011, p.320).

Quanto mais próxima ao valor de 1,18 a relação SiO₂/Al₂O₃ na argila, maior será a quantidade de cauliníta presente na argila. Na análise feita, as argilas Fo e Fr apresentaram respectivamente os valores: 1,88 e 2,60. A argila Fo apresenta maior quantidade de cauliníta e menor teor de SiO₂ livre – em forma de quartzo, em comparação a argila Fr. O Fe₂O₃ também apresentou quantidades elevadas. Em relação à perda ao fogo, PF, as argilas houve perda excessiva, fazendo com que haja a retração e porosidade na queima.

No que tange ao tamanho das partículas, a Figura 2.43 demonstra a distribuição de tamanho das partículas das argilas Fo e Fr. A argila Fo apresentou maior teor de partículas que estão associadas à argilominerais, com diâmetro esférico equivalente < 2 µ, fração granulométrica associada à argila caulinítica. Quanto à areia a Fo apresentou menor quantidade, as partículas de areia mais grossa podem proporcionar o aparecimento de trincas durante a queima. Porém a mesma também proporciona maior trabalhabilidade/plasticidade. O percentual de areia presente na massa de cerâmica vermelha é aproximadamente 15-30%.

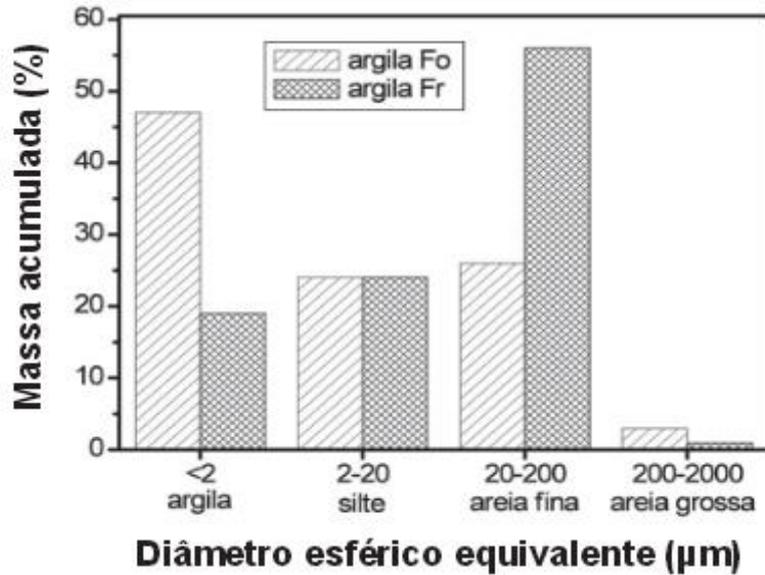


Figura 2.43: Gráfico da distribuição do tamanho de partículas das argilas. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).

A Figura 2.44 mostra a submissão das argilas ao método de Attenberg, o qual determina o intervalo de unidade que a mesma pode ser moldável, onde LP é o limite de plasticidade mediante a mistura da argila à quantidade mínima de água necessária e LL o limite máximo. Acima ou abaixo desses limites a massa argilosa não apresentará consistência.

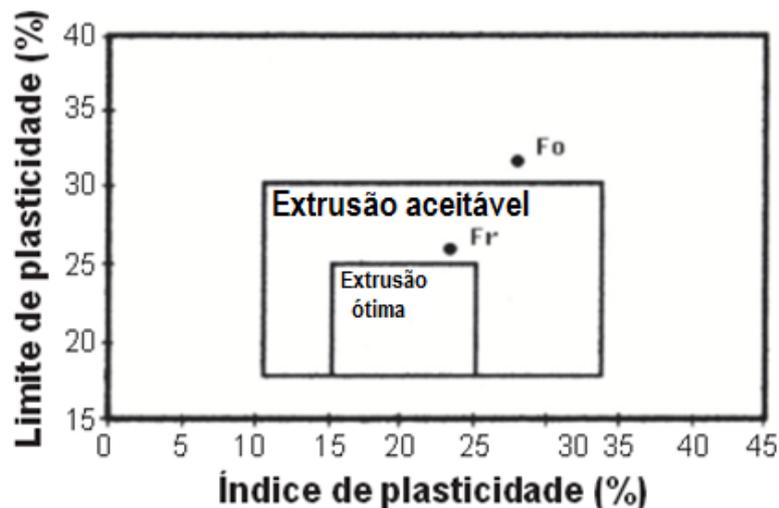


Figura 2.44: Submissão das argilas ao método de Attenberg. Fonte: VIEIRA e PINHEIRO (2011).

O IP é o índice de plasticidade, determinado pela diferença entre LL e LP, este por sua vez deve ter o valor mínimo de 10%, que são os limites de tolerância utilizado

nas indústrias. Os autores ainda complementam que o limite de plasticidade recomendável para extrusão se encontra entre 18% a 25%. As análises da argila Fo e Fr tiveram elevado LP, que indica maior quantidade de água, conseqüentemente maior dificuldade de secagem. A Fo devido à elevada plasticidade está fora da região de extrusão aceitável. A Fr por sua vez, localiza-se próxima a região de ótima de extrusão.

Quanto ao comportamento térmico a argila Fr por apresentar menor teor de caulinita apresentou maior perda de massa. A predominância da caulinita também foi responsável pela redução na densidade após a etapa de queima, que para a temperatura de 900°C ocorreu à sinterização dos corpos de prova sem sua densificação (VIEIRA e PINHEIRO, 2011).

De acordo com os testes realizados em ambas argilas, ao serem comparadas entre si, a Fo apresentou maior quantidade de quartzo e caulinita. Quanto à plasticidade a Fo, apresenta plasticidade excessiva, enquanto que a Fr, quase ideal. O grau de empacotamento a seco e a perda de massa durante a queima, a argila Fo apresentou respectivamente valores menor e maior, em relação à argila Fr. Segundo VIEIRA e PINHEIRO (2011) a utilização da Fr na composição da massa cerâmica para telhas se faz eficiente para a trabalhabilidade da massa, assim como para a redução da retração linear à queima e absorção de água.

Outro estudo destacado nesta área é o apresentado por FERREIRA *et al.* (2012) que analisa as transformações mineralógicas e cristaloquímicas em amostras de argilas caulínicas (foi utilizado corpos argilosos caulínicos do Quadrilátero Ferrífero) à temperatura de 800, 1000 e 1200 °C. Para isso realizaram análises de DRX e térmica diferencial e gravimétrica, além da espectroscopia.

A caracterização mineralógica foi obtida pelo difratômetro de raios X Shimadzu XRD 6000 com tubo de radiação αFe e monocromador de grafite. A mineralogia constatou, de acordo com a Figura 2.45(a), que a Diamictito Vermelho (coletada no depósito de caulim Padre Domingos no Quadrilátero Ferrífero) é constituído predominantemente de caulinita (K) e secundariamente de hematita (H), goethita (Go) e muscovita (MS).

Verificou-se também a presença de hematita (H) após o tratamento térmico, a muscovita persiste até 800°C e a mil graus, apresentou a presença da mulita (ML). Grãos de hematita apresentaram aumento com o aumento da temperatura. A decomposição dos difratogramas (Figura 2.45(b)) possibilitou a determinação do tamanho médio da hematita, o grão desta teve um valor de 160 Å, que cresce para 200 Å, quando a temperatura é de 800°C, para 290 Å quando a temperatura é de 1000°C, e para 1000 Å a temperatura de 1200°C.

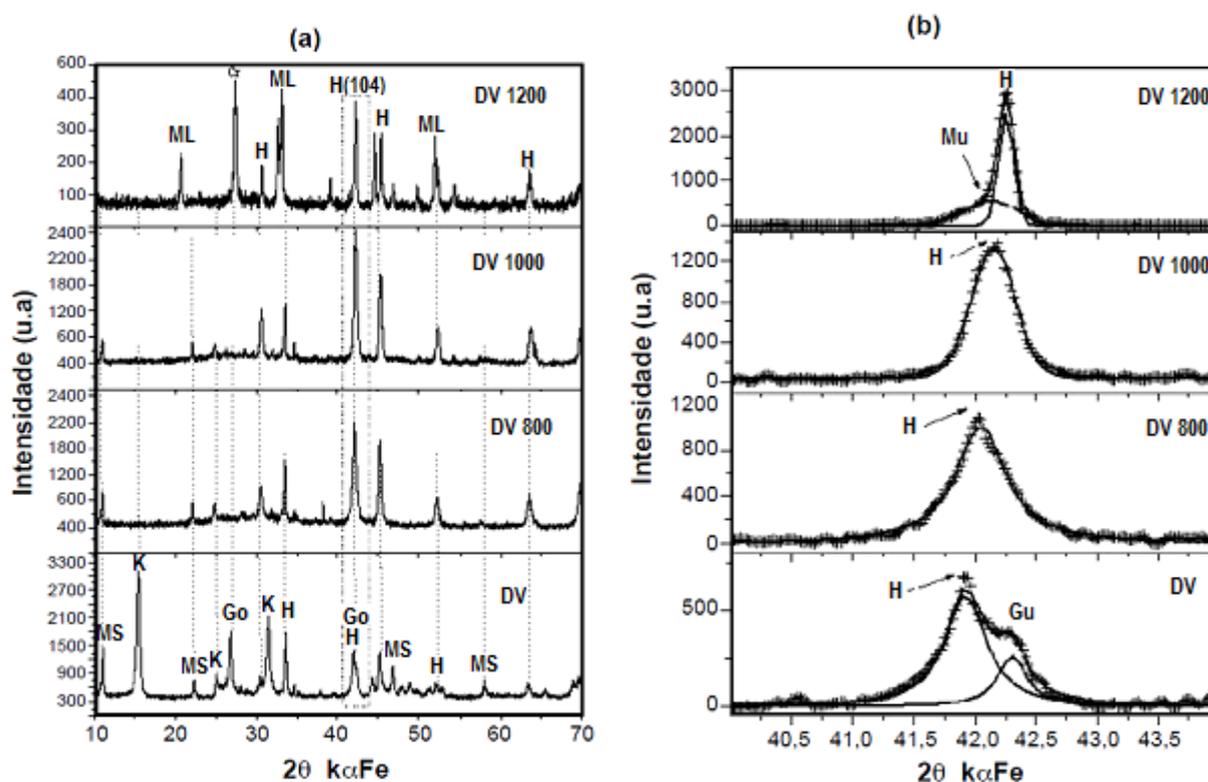


Figura 2.45: Difratogramas da amostra DV natural (a) e aquecida (b). K= caulinita; H= hematita; Q= quartzo; Fd = Feldespato; MS= muscovita; Go= Goethita; ML mulita(A). Fonte: FERREIRA *et al.*, (2012).

Segundo as microfotografias obtidas por MEV (Figura 2.46), à medida que a amostra passou pelo processo de sinterização houve o aparecimento de microfissura. A amostra prensada natural é constituída por aglomerados de bordas irregulares e formas arredondadas devido as partículas serem pseudo-hexagonais, apresentando também devido a caulinita o formato laminar. Após a sinterização a amostra apresentou a compactação das partículas:

O processo de sinterização mostra uma desestruturação da caulinita, assim como também a transformação da goethita em hematita, cujo tamanho dos cristais crescem mais de 5 vezes. O teor elevado em Fe na amostra DV acarreta a formação da mulita formada da solução sólida de Fe_2O_3 com Al_2O_3 , o que resulta em produto resistente e de maior estabilidade térmica (FERREIRA, 2012, p.110).

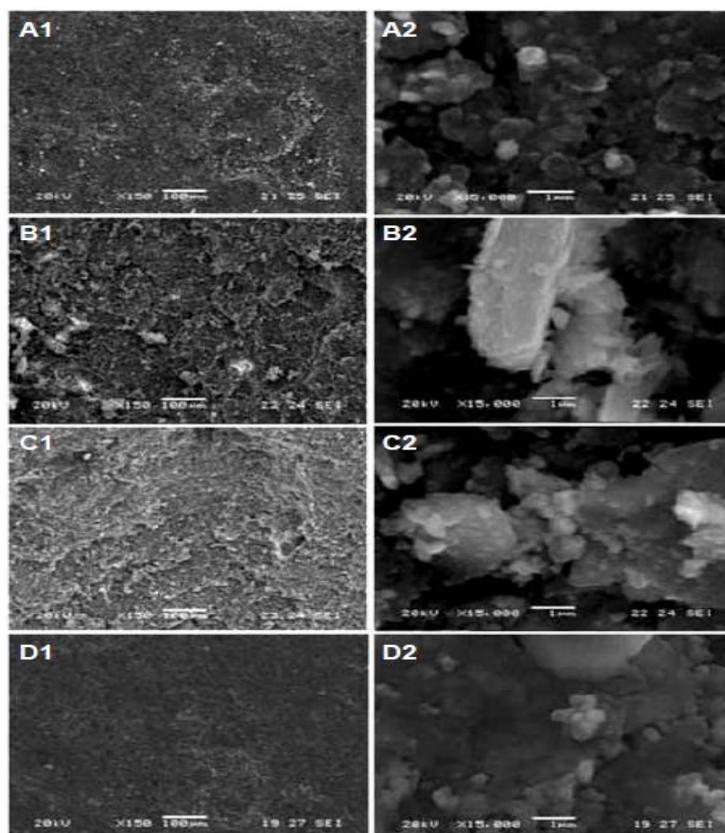


Figura 2.46: MEV da amostra, A1 e A2 no estado natural; B1 e B2, queimada à 800°C; C1 e C2 queimada à 1000°C; D1 e D2 queimada à 1200°C. Fonte: FERREIRA *et al.* (2012).

Por sua vez LUCAS *et al.* (2007), ao desenvolver a caracterização tecnológica da argila do Vale do Mulembá, no Espírito Santo, utilizaram duas amostras que foram submetidas aos ensaios de análise química, difração de raios-X e plasticidade (Figura 2.47).

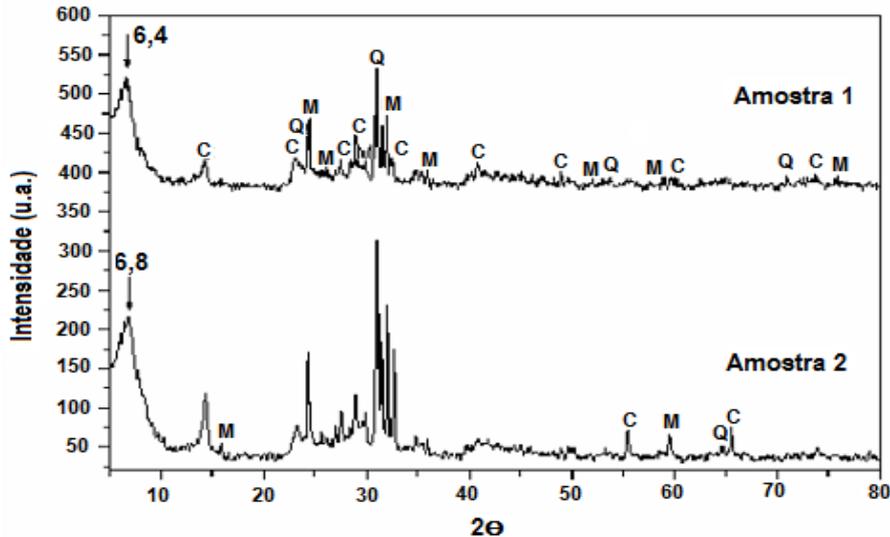


Figura 2.47: Difratoograma. Q=quartzo; C= caulinita; M= microlina. Fonte: LUCAS *et al.* (2007).

O difratograma acima apresenta os resultados da análise por DRX das argilas. Os picos de difração correspondem a: caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), o quartzo (SiO_2) e a microclina (KAlSi_3O_8). A argila é uma argila caulínica, que possui em sua estrutura molecular alto teor de alumina e sílica.

Segundo os autores, a caulinita é responsável pela plasticidade em mistura com água, e pelo comportamento refratário de queima:

[...] O quartzo é uma impureza natural das argilas e atua como um material não plástico no sistema água-argila. A microclina é benéfica aos processos cerâmicos devido à ação fundente durante o estágio de queima. Além disso, é possível verificar nas argilas os argilominerais mectíticos” (LUCAS *et al.*, 2007, p. 4).

A Tabela 2.43 mostra o resultado da análise através de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), apresentando um significativo percentual de teor de alumina Al_2O_3 , esta combinada, formando a estrutura dos aluminossilicatos como a caulinita.

Tabela 2.43: Composição química. Fonte: LUCAS *et al.* (2007).

Composição	Amostra 1	Amostra2
SiO ₂	54,7	54,6
Al ₂ O ₃	22,50	22,8
FeO ₃	6,60	6,4
TiO ₂	2,70	2,6
CaO	0,90	1,00
MgO	0,73	0,77
K ₂ O	3,60	3,70
Na ₂ O	1,00	1,00
P ₂ O ₅	0,47	0,48
PF	6,60	6,70

A sílica livre determina a plasticidade e retração das argilas. Quanto mais sílica menor a plasticidade, mas sua presença aumenta a refratariedade da argila. No que tange o quartzo, o excesso do mesmo reduz a resistência mecânica, e em sua etapa de queima uma grande parte atua como inerte, podendo acarretar microfissuras ao ser resfriado. A tabela também mostra que as amostras possuem valores consideráveis de óxidos alcalinos fundentes (K₂O+Na₂O) e óxidos terrosos (MgO e CaO), estes por sua vez reagem com fases amorfas e formas cristalinas que são mais estáveis à umidade. O Fe₂O₃, atribui a coloração avermelhada após à queima. O PF é conseqüente da água constituinte da caulinita (LUCAS *et al.*, 2007).

Os estudos realizados neste capítulo contribuem para a afirmação e consecução dos objetivos da tese a partir do momento em que esclarece os fundamentos da tecnologia da taipa- de- mão assim como a questão da flexibilização dos espaços interiores arquitetônicos a partir do uso de painéis. O conhecimento das composições das argamassas com seus materiais, como a argila, o cimento, a cinza e a cal, além da reciclagem dos rejeitos aluminosos é fundamental quando se propõem novas argamassas que venham contribuir para a construção civil, além da confecção de novos materiais de construção como placas articuláveis. As caracterizações dos materiais são imprescindíveis para que se entenda as diversas reações entre eles e conseqüentemente a formação de novos compósitos.

CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - PROPOSTAS DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS PARA CONFECÇÃO DE PLACAS COM TAIPADOS TUBULARES

3.1.1 - Uso de rejeito sílico-aluminoso de construção civil, cinza volátil, cal hidratada e argila - experimentos preliminares

Para a realização de três experimentos com o objetivo de propor a argamassa para a confecção de placas taipadas tendo como matriz o rejeito silico-aluminoso e como materiais complementares os demais, que foram usados *in natura*, foi necessário que se beneficiasse o rejeito coletado dos contêineres da obra de reforma do laboratório de Engenharia Química, segundo o fluxograma da Figura 3.1 abaixo.

PROCESSO DO BENEFICIAMENTO DO REJEITO SÍLICO-ALUMINOSO DE CONSTRUÇÃO CIVIL.

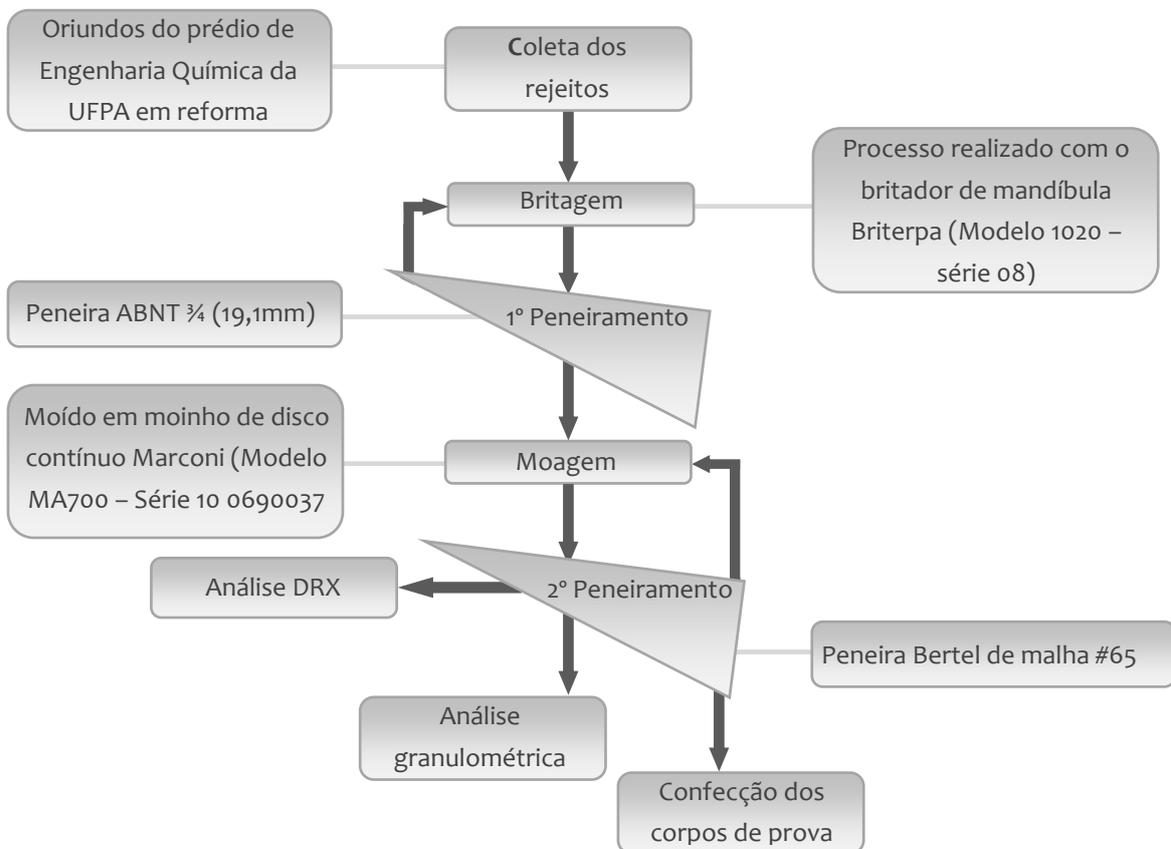


Figura 3.1: Fluxograma do processo de beneficiamento do rejeito sílico-aluminoso. Desenho concebido pelo autor (2014).

Os resíduos sólidos sílico-aluminosos produzidos pela construção civil, reciclados e compondos com outros materiais, propiciaram a realização de três experimentos a fim de produzir argamassas para a confecção de placas articuláveis.

Os rejeitos de construção civil foram analisados conforme difração de Raio-X, que identificaram as fases químicas dos principais compostos do material, apresentando os resultados listados na Figura 3.2 e Tabela 3.1:

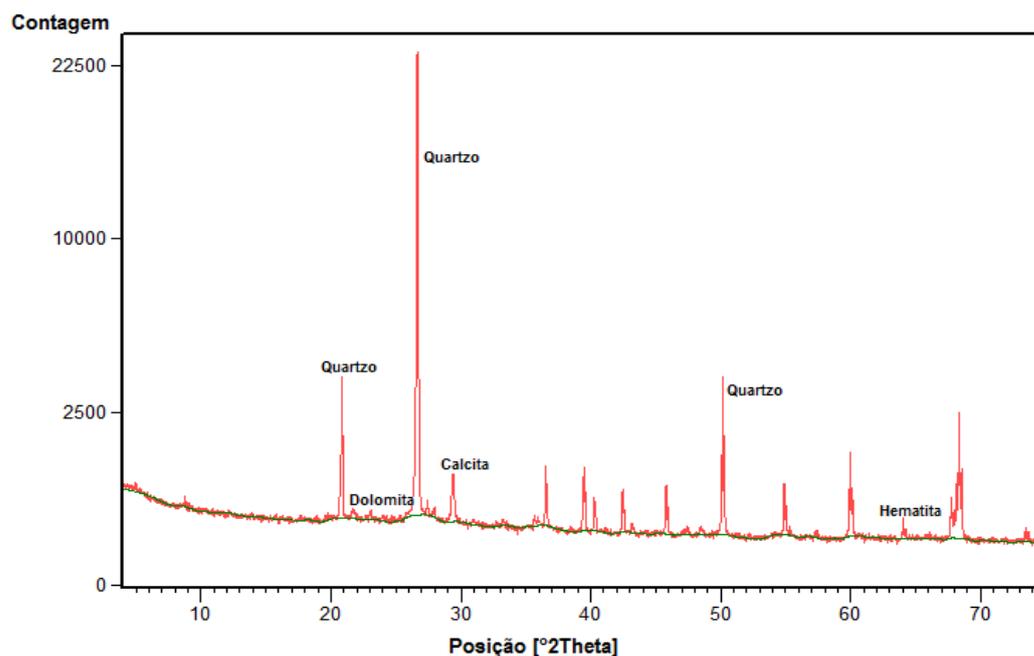


Figura 3.2: Difração de Raio-x do resíduo de construção civil (adaptado). Fonte: X'PertHighScore (2012).

Tabela 3.1: Composição química do resíduo de construção civil. Elaborado pelo autor (2012).

COMPOSIÇÃO	FÓRMULA
Quartzo	SiO ₂
Calcita	CaCO ₃
Dolomita	CaMg(CO ₃)
Hematita	Fe ₂ O ₃

O primeiro experimento foi realizado em dezembro de 2012 com o emprego da cal hidratada, do rejeito silico-aluminoso proveniente da Construção Civil, juntamente com a cinza. Foram analisados quatro traços, submetidos à cura de 28 dias, segundo a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Traços utilizados nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2012).

Material/ Traço	Rejeito	Cal hidratada	Cinza
1	75%	15%	10%
2	75%	10%	15%
3	75%	12,5%	12,5%
4	75%	25%	0%

O experimento 02 realizado em fevereiro de 2013 analisa dois traços a serem empregados no preenchimento das estruturas taipadas, o primeiro para ser utilizado como revestimento de parede, o emboço (traço1) e o outro no interior do tramado, o sopapo (traço 2).

A caracterização dos materiais é feita por difratometria de Raios-X, bem como, após a confecção dos corpos de prova, submetidos à cura de 28 dias, foram realizados ensaios de absorção, porosidade, densidade e resistência à compressão.

O traço 1 é composto por rejeito de construção civil, cinza e argila do Rio Guamá. E o traço 2, é composto por cinza mineral e cal hidratada.

A matriz do compósito rejeito sílico-aluminoso da construção civil, foi coletado bruto nos contêineres referentes às construções localizadas na Cidade Universitária José da Silveira Netto. O mesmo foi triturado no britador de mandíbula Briterpa (Modelo 1020 – Série 08), peneirado em peneiras ABNT $\frac{3}{4}$ (19,1 mm), e moído em moinho de disco Marconi (Modelo MA700 – Série 10 0690037) com a finalidade de atingir uma granulometria adequada. Após esse processo, submetido ao peneiramento na malha # 65.

Os traços dos corpos de prova foram medidos segundo a Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Traços utilizados nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).

Material/ Traço	Rejeito	Argila	Cinza	Cal
Tr 1	70%	15%	15%	0%
Tr 2	0%	0%	50%	50%

Após a confecção dos corpos de prova, estes foram submetidos a uma cura de 28 dias.

O terceiro experimento, realizado em 16 de abril de 2013, produziu traços de argamassa a partir do reaproveitamento de recursos naturais, rejeitos industriais (cinza oriunda da queima de carvão mineral) e de excedentes oriundos da construção civil (proveniente da mesma fonte dos anteriores).

Esses materiais em estado granulométrico foram fundidos em corpos de prova, submetidos à cura de 28 dias, onde cada traço seguiu as porcentagens das Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4: Porcentagens utilizadas nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).

ARGAMASSA 1	T1	T2	T3	T4	T5
REJEITO	70%	70%	70%	70%	70%
ARGILA	30%	20%	15%	10%	0
CAL	0	10%	15%	20%	30%

Tabela 3.5: Porcentagens utilizadas nos corpos de prova. Elaborado pelo autor (2013).

ARGAMASSA 2	T1	T2	T3	T4	T5
REJEITO	70%	70%	70%	70%	70%
ARGILA	30%	20%	15%	10%	0
CINZA	0	10%	15%	20%	30%

3.1.2 - Uso do rejeito sílico-aluminoso, cal hidratada, cinza volante e cimento Portland – experimento final

Após a execução anterior de 3 experimentos, que levaram ao uso da argamassa do traço 3 do experimento 1 (rejeito 75%; cal 12.5%; cinza 12.5%), como opção para a confecção das placas cerâmicas taipadas, por apresentar bons resultados nos ensaios

realizados e tendo esta, com a realização dos ensaios de compressão, apresentando-se compatíveis a confecção de painéis, suportando cada placa na vertical, cargas de 29,42 MPa, carga esta suficiente à exigida para montagem de painéis com 3 metros de altura, já que cada placa pesa aproximadamente 5,50 kgf., ficou constatado que as placas não apresentaram dureza necessária ao transporte e manuseio, resultando da necessidade de realizar-se novo experimento no qual foram adicionados 5% de cimento portland aos três materiais da argamassa (rejeito silico-aluminoso, cal hidratada e cinza volante) anteriormente usados no experimento 1.

Para compensar a adição dos 5% de cimento, foi reduzida a quantidade do rejeito para 70%.

Os materiais usados no presente experimento, formam um compósito argamassico constituído de 3 traços, que serão ensaiados quanto a resistência à compressão, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Após a realização dos ensaios definir-se-á o traço que será usado na construção das placas taipadas.

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizados os materiais citados seguindo o delineamento conforme o fluxograma (Figura 3.3).

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA A CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA



Figura 3.3: Fluxograma do delineamento experimental. Desenho concebido pelo autor (2014).

3.1.2.1 - A argamassa

A Tabela 3.6, referente ao experimento designado por experimento 4, apresenta os percentuais dos materiais para a composição das argamassas utilizadas na confecção dos novos corpos de prova que serão posteriormente ensaiados.

Tabela 3.6: Percentuais dos materiais necessários para confecção dos corpos de prova. Concebido pelo autor(2014).

Traço	Dosagem dos Materiais (%)			
	Rejeito Silico-aluminoso (%)	Cal hidratada (%)	Cinza Volante (%)	Cimento Portland comum (%)
T 1	70%	15%	10%	5%
T 2	70%	10%	15%	5%
T 3	70%	12,5%	12,5%	5%

Foram confeccionados 6 corpos de prova para cada traço, afim de submetê-los aos ensaios de absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente (3 corpos) e compressão simples (3 corpos), iniciando-se com a confecção das formas a partir da forma-modelo em aço, foram confeccionadas formas em PVC com as seguintes dimensões: 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro.

A partir dessa dimensão foi calculado o volume de cada forma, afim de que com os valores correspondentes aos traços possam ser dimensionadas as quantidades dos materiais que entraram na composição da argamassa.

Para a realização do cálculo da forma foi utilizada a fórmula a seguir:

$$V = \pi r^2 \times h \quad (3.1)$$

Sendo,

V=volume da forma

r=raio da base da forma

h=altura da forma

Foram realizados os cálculo considerando o volume de cada corpo de prova em cm³ e posteriormente convertidos em g, considerando os valores correspondentes aos pesos específicos de cada material usado, conforme Tabela 3.7 definida a partir da confecção de formas (Figura3.4) com capacidade de 10cm³ nas quais foram pesados os materiais e encontrados valores referentes g/cm³.



Figura 3.4: Material necessário para confecção das formas. Foto do autor(2014).

Tabela 3.7: Peso específico dos materiais. Concebido pelo autor(2014).

Conversão de cm ³ para g	
Materiais	Peso específico (g/cm ³)
Rejeito silico-aluminoso	1,5g/cm ³
Cal hidratada	1,24g/cm ³
Cinza volante	1g/cm ³
Cimento Portland comum	1,3g/cm ³

$$M = d \cdot V \quad (3.2)$$

Sendo,

M = massa

d = peso específico do material

V = volume em cm³

Com a definição das volumetrias foram realizados os cálculos dos materiais necessários segundo os traços estabelecidos. Assim as tabelas a seguir (Tabelas 3.8 a 3.13) determinam inicialmente em cm³ o volume dos materiais e em seguida em grama.

Tabela 3.8: Volume correspondente ao traço 01. Concebido pelo autor(2014).

Traço 01 - Volume em cm³			
Rejeito Silico-aluminoso (cm³)	Cal hidratada(cm³)	Cinza volante (cm³)	Cimento portland comum (cm³)
98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%
X ----- 70%	X ----- 15%	X ----- 10%	X ----- 05%
X = 68,68cm ³	X = 14,72cm ³	X = 9,81cm ³	X = 4,91cm ³

Tabela 3.9: Massa correspondente ao traço 01. Concebido pelo autor (2014).

Traço 01 - Massa em grama			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 1,5 x 68,68	M = 1,24 x 14,72	M = 1 x 9,81	M = 1,3 x 4,91
M = 103,03	M = 18,25	M = 9,81	M = 6,38

Tabela 3.10: Volume correspondente ao traço 02. Concebido pelo autor(2014).

Traço 02 - Volume em cm³			
Rejeito Silico-aluminoso (cm³)	Cal hidratada(cm³)	Cinza volante (cm³)	Cimento portland comum (cm³)
98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%
X ----- 70%	X ----- 10%	X ----- 15%	X ----- 05%
X = 68,68cm ³	X = 9,81cm ³	X = 14,72cm ³	X = 4,91cm ³

Tabela 3.11: Massa correspondente ao traço 02. Concebido pelo autor(2014).

Traço 02 - Massa em grama			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 1,5 x 68,68	M = 1,24 x 9,81	M = 1 x 14,72	M = 1,3 x 4,91
M = 103,03	M = 12,16	M = 14,72	M = 6,38

Tabela 3.12: Volume correspondente ao traço 03. Concebido pelo autor(2014).

Traço 03 - Volume em cm³			
Rejeito Silico-aluminoso (cm³)	Cal hidratada(cm³)	Cinza volante (cm³)	Cimento portland comum (cm³)
98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%	98,12 ----- 100%
X ----- 70%	X ----- 12,5%	X ----- 12,5%	X ----- 05%
X = 68,68cm ³	X = 12,26cm ³	X = 12,26cm ³	X = 4,91cm ³

Tabela 3.13: Massa correspondente ao traço 03. Concebido pelo autor(2014).

Traço 03 - Massa em grama			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 1,5 x 68,68	M = 1,24 x 12,26	M = 1 x 12,26	M = 1,3 x 4,91
M = 103,03	M = 15,20	M = 12,26	M = 6,38

Considerando como fator água x argamassa 33%, que permite melhor maleabilidade ao compósito, o cálculo da Massa total de material considerando a perda de volume pela água em 25%, define-se pelas tabelas a seguir (TABs. 3.14 a 3.16).

Tabela 3.14: Massa total, traço 01. Concebido pelo autor(2014).

Traço 01 – Massa			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 103,03 x 1,25	M = 18,25 x 1,25	M = 9,81 x 1,25	M = 6,38 x 1,25
M = 128,79	M = 22,81	M = 12,26	M = 7,97

Tabela 3.15: Massa total, traço 02. Concebido pelo autor(2014).

Traço 02 – Massa			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 103,03 x 1,25	M = 12,16 x 1,25	M = 14,72 x 1,25	M = 6,38 x 1,25
M = 128,79	M = 15,20	M = 18,40	M = 7,97

Tabela 3.16: Massa total, traço 03. Concebido pelo autor(2014).

Traço 03 – Massa			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada(g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 103,03 x 1,25	M = 15,20 x 1,25	M = 12,26 x 1,25	M = 6,38 x 1,25
M = 128,79	M = 19	M = 15,32	M = 7,97

A massa total de cada material para a confecção dos 6 corpos de prova para cada traço define-se segundo as tabelas abaixo (TABs 3.17 a 3.19).

Tabela 3.17: Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 01. Concebido pelo autor(2014).

Traço 01 - Massa Total			
Rejeito Silico-aluminoso (g)	Cal hidratada(g)	Cinza volante (g)	Cimento portland comum (g)
M = 128,79 x 6	M = 22,81 x 6	M = 12,26 x 6	M = 7,97 x 6
M = 772,74	M = 136,86	M = 73,56	M = 47,82

Tabela 3.18: Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 02. Concebido pelo autor(2014).

Traço 02 - Massa Total			
Rejeito Silico-aluminoso (g)	Cal hidratada(g)	Cinza volante (g)	Cimento portland comum (g)
M = 128,79 x 6	M = 15,20 x 6	M = 18,40 x 6	M = 7,97 x 6
M = 772,74	M = 91,20	M = 110,40	M = 47,82

Tabela 3.19: Massa total para confecção de 6 corpos de prova, traço 03. Concebido pelo autor(2014).

Traço 03 - Massa Total			
Rejeito Silico-aluminoso (g)	Cal hidratada(g)	Cinza volante (g)	Cimento portland comum (g)
M = 128,79 x 6	M = 19 x 6	M = 15,32 x 6	M = 7,97 x 6
M = 772,74	M = 114	M = 91,92	M = 47,82

3.1.2.2 - Os corpos de prova

Após a pesagem dos materiais (rejeito, cal, cinza e cimento) conforme os cálculos executados, estes foram misturados e com a presença de água, batidos durante o tempo necessário à formação de uma argamassa uniforme e plástica. (Figura 3.5)



Figura 3.5: Material utilizado na realização dos corpos de prova. Foto do autor (2014).

Após a mistura dos traços das argamassas foi processado o enchimento das formas, sendo que cada um dos três conjuntos de seis formas recebeu argamassa correspondente aos três traços correspondentes

3.2 - REOLOGIA DE ARGAMASSAS – PARÂMETROS ENTRE TRAÇOS COM USO DO REJEITO SÍLICO-ALUMINATO, COMBINADO COM CINZA VOLANTE E CAL HIDRATADA E POSTERIORMENTE SUBSTITUINDO A CAL HIDRATADA PELA ARGILA

Este estudo fora decorrente da necessidade de realizar um ensaio comparativo no qual a reciclagem predomina sobre a retirada de matéria prima *in natura*.

A partir da reologia busca-se analisar o traço preliminar a ser usado para confecção das placas taipadas com o uso da cal hidratada tomando-se como referência o mesmo traço substituindo-se a cal pela argila.

3.2.1 - Método de análise

Os traços das argamassas produzidas neste trabalho foram estabelecidos obedecendo a incorporação de rejeito, cinzas volantes, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e rejeito, cinzas volantes e argila, as medidas reológicas foram determinadas em Viscosímetro Modelo Haake VT 550, acoplado aos sistemas de configuração cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV_1 a temperatura de 28 °C, após 1min da preparação das amostras. Para a obtenção das curvas de Torque versus Tempo, programou-se a uma velocidade de rotação de $53,4 \text{ s}^{-1}$ cisalhando 5 segundo as amostras em intervalos de 15min entre cada análise, e para as curvas de histereses reológicas foram programadas taxas 600 s^{-1} em 120 segundos, tanto para as curvas ascendentes como para as curvas descendentes.

Neste trabalho seguiram-se a metodologia de preparo de acordo com os traços constantes na tabela 3.20. No capítulo a seguir serão apresentados os resultados e as discussões relativas ao torque versus tempo e a histerese dos compostos.

Tabela 3.20: Composição dos traços dos experimentos 2 traço 3 e experimento 4 argamassa 2, traço 3.
Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

Experimentos	Rejeito (%)	Cinza Volante (%)	Cal (%)	Argila (%)	H ₂ O (%)
2	75	12,5	12,5	0	35
4	70	15	0	15	35

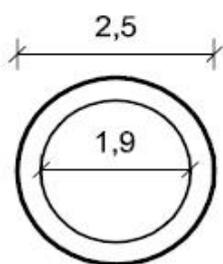
3.3 - PROPOSTA PARA EXECUÇÃO DE PLACAS CERÂMICAS TAIPADAS

3.3.1 - O Projeto

Considerando as diversas alternativas de conexão em divisórias e partindo-se do princípio que rege as medidas de ambientes predominantemente arquitetônicos, optou-se por uma placa modular de 30x30 cm, compatível à modulação em ambientes arquitetônicos.

Cada placa modular apresentará como estrutura taipal um engradado composto por eletrodutos de PVC com 1,9 cm de diâmetro interno e 2,5 cm de diâmetro externo (Figura 3.6), com espaçamentos eixo a eixo de 7,5 cm.

Conforme as especificações do eletroduto, o engradado será colocado na fôrma e em seguida realizar-se-á o preenchimento da mesma com a argamassa selecionada, após análises e ensaios realizados a fim de identificar qual o compósito cerâmico é mais adequado para confecção da placa.



Dimensões dos dutos \emptyset
Esc.: 1-2

Figura 3.6: Dimensionamento dos dutos. Elaborado pelo autor(2013).

3.3.1.1 - O Eletroduto

O PVC – policloreto de vinila é um material plástico composto de 57% de cloro e 43% de eteno. O cloro do PVC, assim como a soda cáustica e o hidrogênio são obtidos a partir da eletrólise do sal marinho. O eteno por sua vez, proveniente do petróleo, é obtido pelo nafta o qual é submetido ao processo de craqueamento catalítico. O cloro e o eteno, em fase gasosa, sofrem reação produzindo o dicloro etano (DCE), de onde é obtido o mono cloreto de vinila (MVC). O PVC – na forma de pó fino – por sua vez surge a partir do processo de polimerização do MVC.

Dentre os produtos oriundos do PVC encontram-se os dutos, perfis e eletrodutos, para os quais não é recomendável sua exposição superior a uma temperatura de 60°C, embora sua resistência térmica possa alcançar valores entre 80°C a 100°C (SOUZA, 2005).

O PVC rígido caracteriza-se por possuir grande resistência à penetração ou a risco à tração e ao impacto. Possui baixa inflamabilidade, baixa facilidade à ignição e peculiaridade de autoextinção de fogo. Apresenta boa resistência à corrosão, a intempérie, à oxidação, a condução elétrica e a ataques químicos de solventes e cloretos. A moldagem dos elementos rígidos pode se dar por extrusão, injeção, calandragem, sopro, termofusão, revestimentos eletrostáticos e por fundição com soluções aquosas, como o látex (SOUZA, 2005, p.105).

A Tabela 3.21 apresenta as características físicas e mecânicas do PVC:

Tabela 3.21: Tabela de características físicas e mecânicas do PVC. Fonte: SOUZA(2005).

PROPRIEDADES	TESTE DIN OU UL	RÍGIDO	FLEXÍVEL	PLASTISOL
Físicas				
Peso específico(g/cm³)	D (53479)	1,3-1,58	1,2-1,7	1,2-1,7
Absorção de água (%) – 24h 3mm de espessura	D (53473)	0,04-0,4	0,16-0,75	0,1-0,8
Mecânicas				
Resistência à tração (102 Kgf/cm²)	D (53455)	4,2-5,0	11-25	1,5-5,0
Alongamento por ruptura	D (53455)	40-80	200-450	200-500
Dureza Shore	D785 (ASTM)	69-85D	50-100 A	50-75 ^a

Dentre os produtos que se apresentam constituídos por PVC, temos os eletrodutos fabricados com cloreto de polivinila não plastificado, de seção circular e rígido, que são usualmente utilizados para conduzir a fiação elétrica nas instalações de baixa e alta tensão. Segundo Lima Filho (2001), sua função é fazer a proteção mecânica dos condutores elétricos, contra ataques do meio ambiente como corrosão e ataques químicos de agentes dispersos no ambiente (sais, ácidos, gases, óleos e etc.) e proteção anti-chamas.

Os eletrodutos de PVC podem ser de rosca ou soldáveis, sendo o mais utilizado o roscável (Figura 3.7).



Figura 3.7: Detalhe do eletroduto rígido de PVC. Fonte: LIMA FILHO(2001).

As características mínimas exigidas são estabelecidas pela NBR 6150, conforme Tabelas 3.22 e 3.23

Tabela 3.22: Tabela com as dimensões totais dos condutores isolados e a denominação nominal. Fonte: LIMA FILHO(2001).

Seção (mm ²)	PirasticAntiflam		PirasticflexAntiflam	
	Diâmetro externo	Área Total (mm ²)	Diâmetro (mm)	externo Área Total (mm ²)
1,5	2,8/3,0	6,2/7,1	3,0	7,1
2,5	3,4/3,7	9,1/10,7	3,6	10,2
4	3,9/4,2	11,9/13,8	4,2	13,8
6	4,4/4,8	15,2/18,1	4,7	17,3
10	5,6/5,9	24,6/27,3	6,1	29,2
16	6,5/6,9	33,2/37,4	7,8	47,8
25	8,5	56,7	9,6	72,4
35	9,5	71,0	10,9	93,3
50	11,0	95	13,2	136,8
70	13,0	133	15,0	176,7
95	15,0	177	-	-
120	16,5	214	-	-
150	18,0	254	-	-
185	20,0	314	-	-
240	23,0	415	-	-

(1) – Fio/Cabo
Cortesia: Pirelli S/A

Tabela 3.23: Tabela com as dimensões dos eletrodutos. Fonte: LIMA FILHO(2001).

Referência de Rosca	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Espessura (mm)	Área Total aprox. (mm ²)	Área útil 1 cabo	Área útil 2 cabos	Área útil 3 cabos	Área útil ≥ cabos (40%)
3/8"	16	16,7	12,7	2,0	126,7	67,1	39,3	50,7	
1/2"	20	21,1	16,1	2,5	203,6	107,9	63,1	81,4	
3/4"	25	26,2	21,0	2,6	346,4	183,6	107,4	138,6	
1"	32	33,2	26,8	3,2	564,1	299,0	174,4	225,6	
1 1/4"	40	42,2	35,0	3,6	962,1	509,9	298,3	384,8	
1 1/2"	50	47,8	39,8	4,0	1244,1	659,4	385,7	497,6	
2"	60	59,4	50,2	4,6	1979,2	1049,0	613,6	791,7	
2,1/2"	75	75,1	64,1	5,5	3227	1710,3	1000,4	1290,8	
3"	85	88,0	75,6	6,2	4488,8	2379,1	1391,5	1795,5	

Segundo a NBR 6150/1980, o composto utilizado na fabricação do eletroduto deve ser auto-extinguível. Há dois tipos de eletrodutos o soldável e o rosqueável, que são classificados nas classes A e B quanto à pressão de ruptura (Tabela 3.24).

Tabela 3.24: Tabela de pressão mínima a ruptura. Fonte: NBR 6150(1980).

TIPO DE ELETRODUTO	CLASSE A	CLASSE B
Soldável	2,5	1,5
Rosqueável	2,5	1,5

Os eletrodutos geralmente são fabricados nas bitolas 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3" e 4", e utilizados embutidos – enquanto que o metálico é usualmente externo. A colocação destes dutos no concreto armado deve ser cautelosa, a fim de evitar sua deformação durante o processo de concretagem, e também a entrada de argamassa pelas suas extremidades.

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento, no Programa Setorial de Qualidade, que teve como objetivo promover a melhoria da qualidade dos eletrodutos plásticos, avaliou eletrodutos plásticos de secção semi-circular utilizados em instalações de baixa tensão.

A avaliação deste programa se deteve aos eletrodutos rígidos de DN 25; dentre os elementos avaliados, os principais problemas encontrados foi em relação ao não atendimento das normas técnicas, onde se destacou falhas das instalações elétricas

quanto: inobservância do projeto; improvisação na implantação. Além destes pontos a avaliação ressaltou que utilizações de produtos em não conformidade à NBR 15465 geraram manifestações patológicas como estrangulamento do eletroduto devido à concentração de carga, podendo o mesmo chegar ao rompimento. No caso de lajes, a resistência à compressão mínima indicada deve ser “média”, e no caso de eletrodutos de alvenaria devem ser “leve”.

Alguns eletrodutos são produzidos com matéria plástica que propaga chamas, devendo o mesmo ser unicamente empregado, enterrados e embutidos, e suas classes de resistência mecânicas devem ser no mínimo “médios” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MATERIAIS PARA SANEAMENTO, 2012).

3.3.1.2 - Estrutura e conexão das placas

As placas serão estruturadas com o engradado de dutos de PVC, encaixados conforme a Figura 3.8.

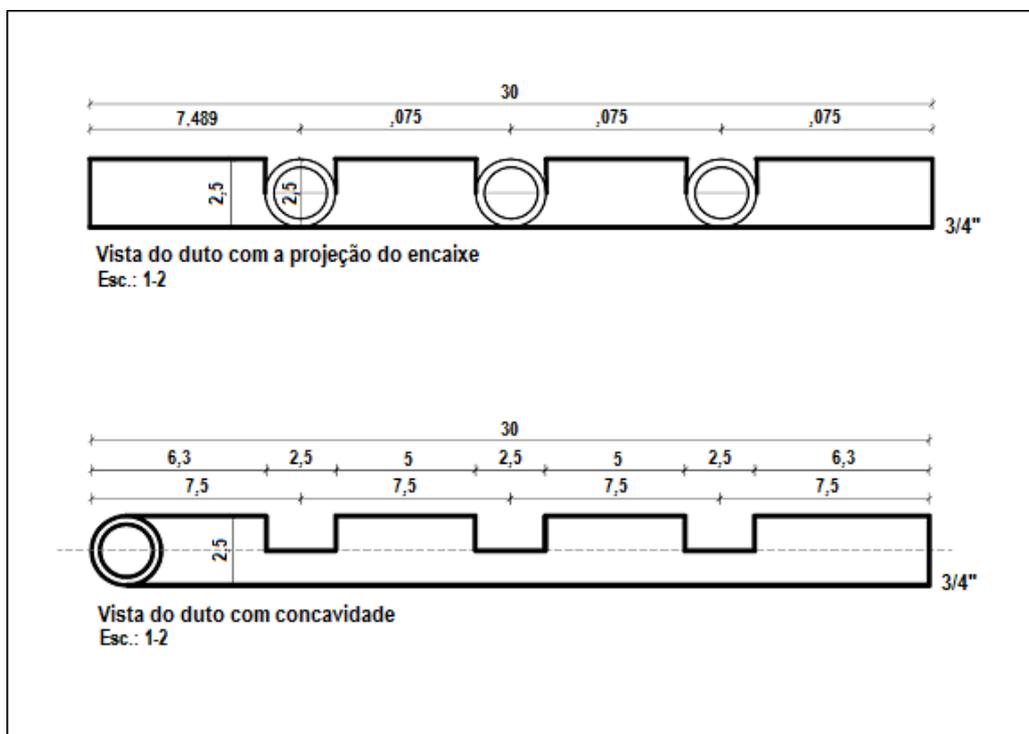


Figura 3.8: Conexão entre dutos. Elaborado pelo autor(2013).

Na Figura 3.9 em planta-baixa, são observadas as dimensões referentes aos encaixes dos eletrodutos, configurando-se a estrutura taipal.

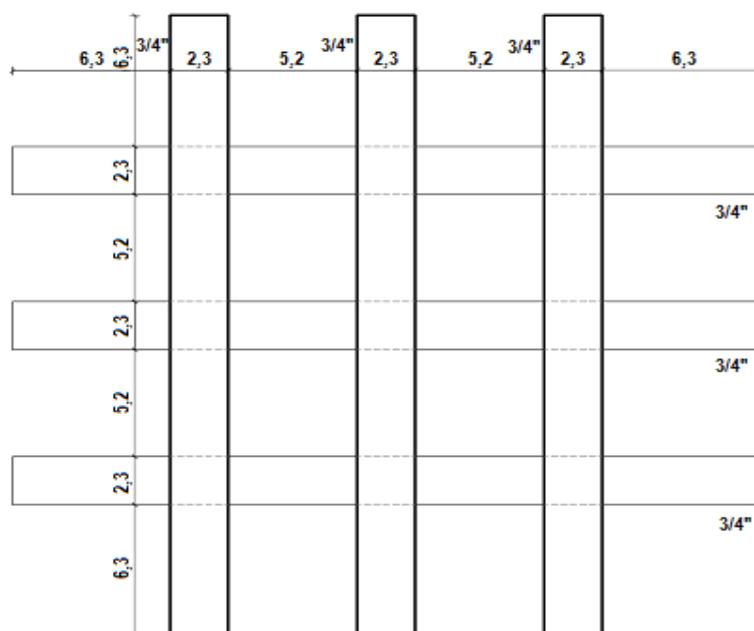


Figura 3.9: estrutura taipada. Elaborado pelo autor(2013).

As dimensões das placas deverão ser definidas, bem como as suas espessuras, e a técnica de execução se processará com o preenchimento das formas com contenções laterais, sendo a base forrada por papelão sobre estrutura de bancada de madeira ou piso cimentado nivelado e liso.

Na Figura 3.10 são detalhadas as molduras para confecção das placas, segundo as dimensões propostas. A espessura total da placa é de 4,5 cm, com os dutos centralizados no sentido da espessura com distância às faces de 1cm.

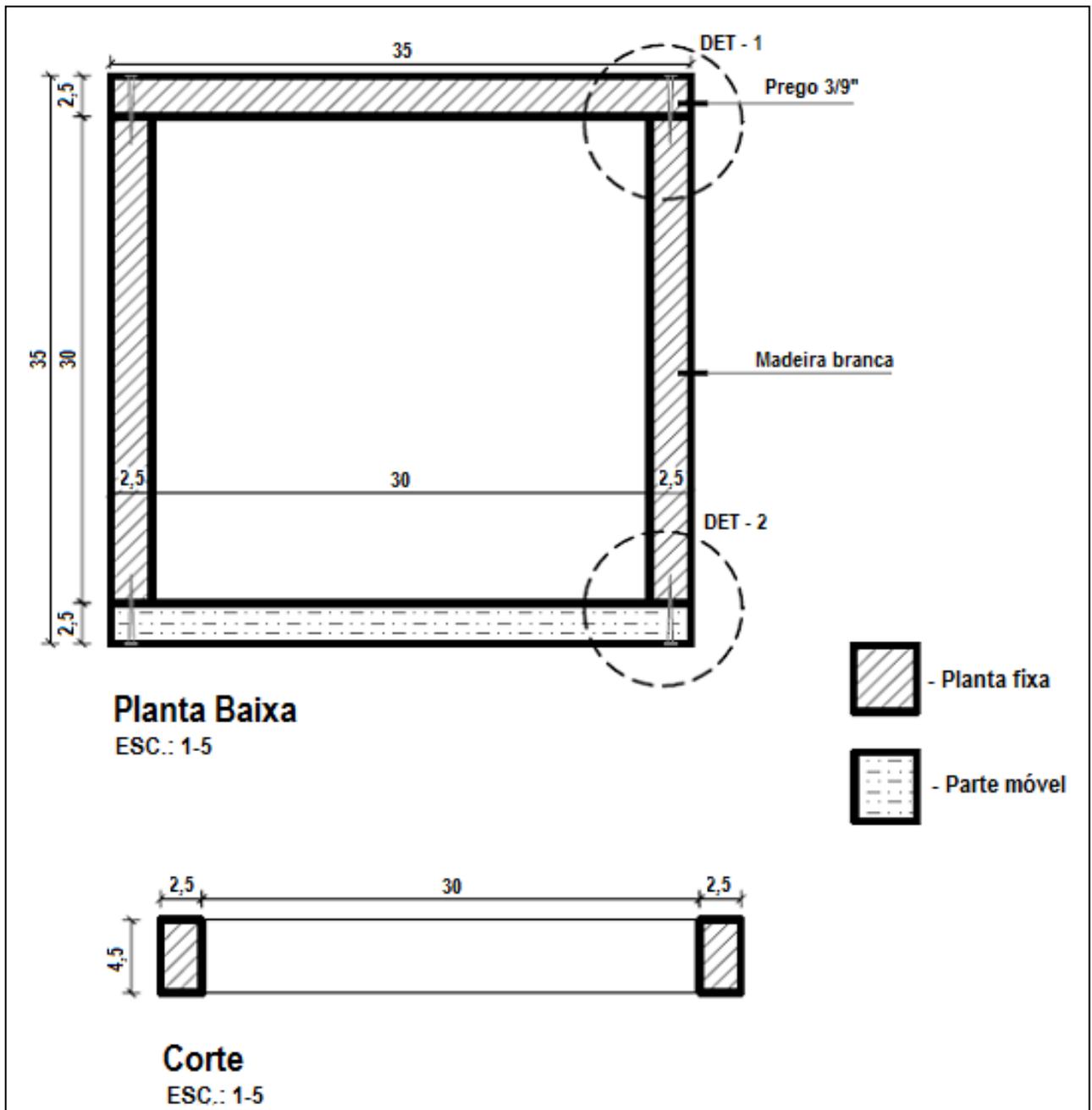


Figura 3.10: Vistas da estrutura da forma para fundição das placas. Elaborado pelo autor(2013).

Na Figura 3.11, a planta e a vista da placa com suas dimensões.

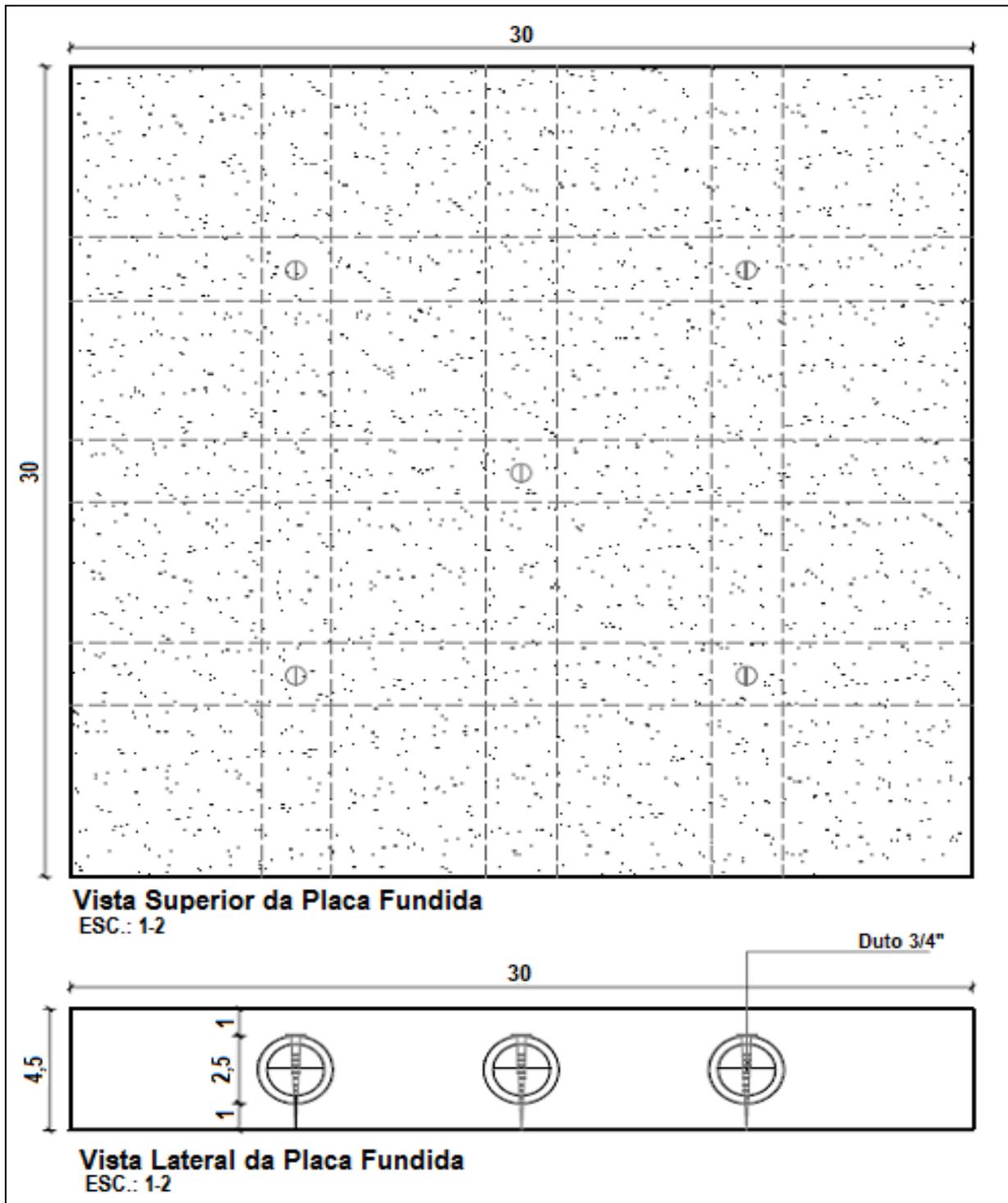


Figura 3.11: Planta e vista da placa fundida. Elaborado pelo autor (2013).

Na Figura 3.12 a placa em perspectiva e na Figura 3.13 os detalhes dos conectores que interligarão as placas.

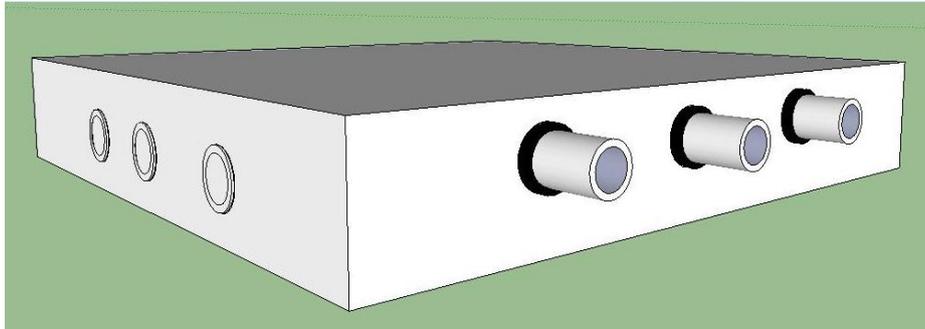


Figura 3.12: Placa fundida, com o conector em uma das faces laterais. Elaborado pelo autor (2013).

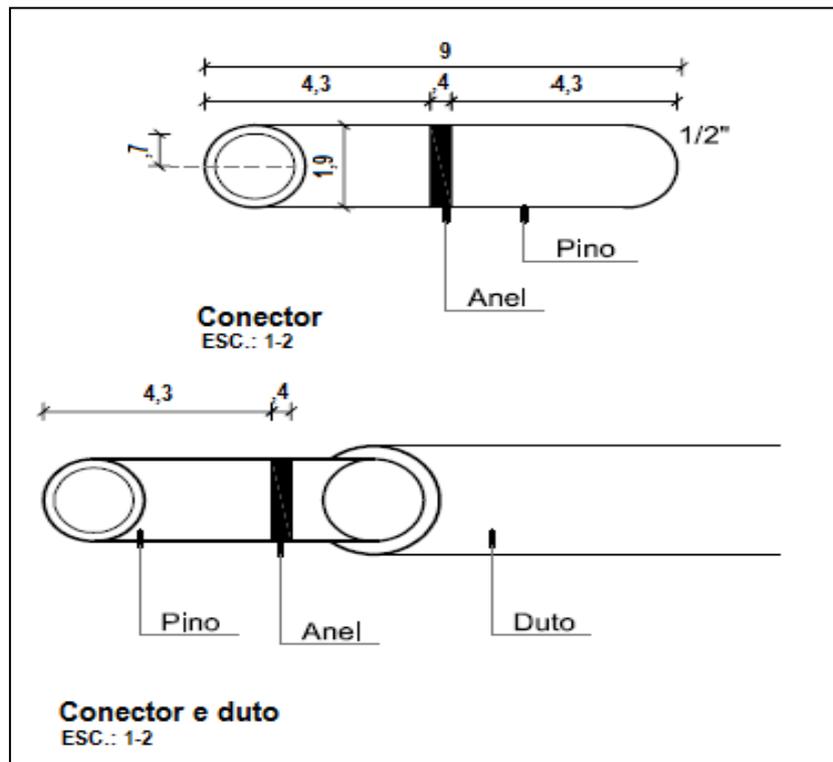


Figura 3.13: Detalhe do conector e encaixe no duto. Elaborado pelo autor(2013).

As placas após suas construções serão conectados entre si conforme a Figura 3.14.

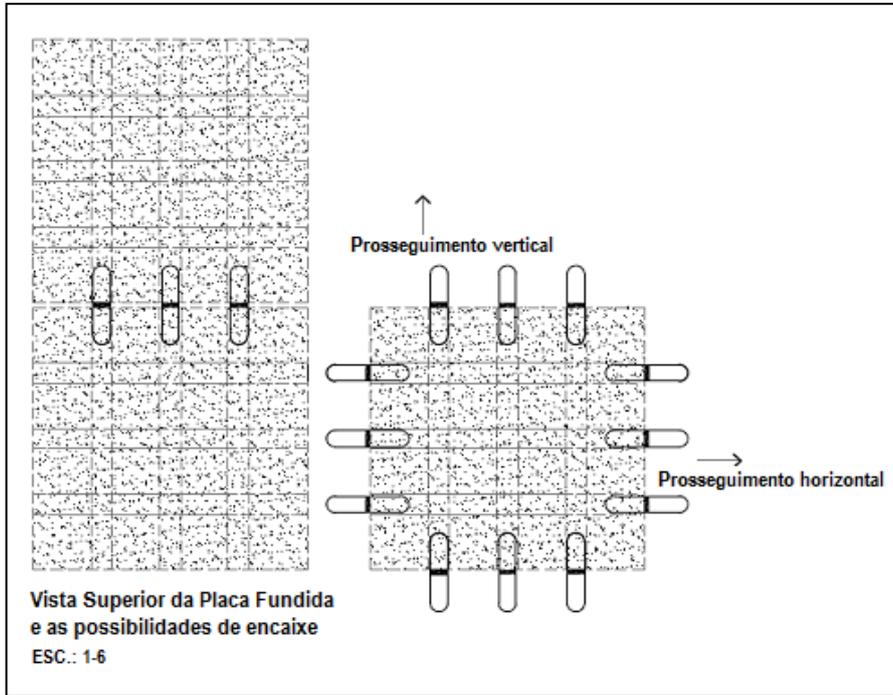


Figura 3.14: Vistas da conexão entre as placas para construção de painel. Elaborado pelo autor(2013).

A conexão das placas possibilitará a montagem de painéis estruturados com perfis, conforme sugestões em detalhes expostos nas Figuras 3.15 a 3.17.

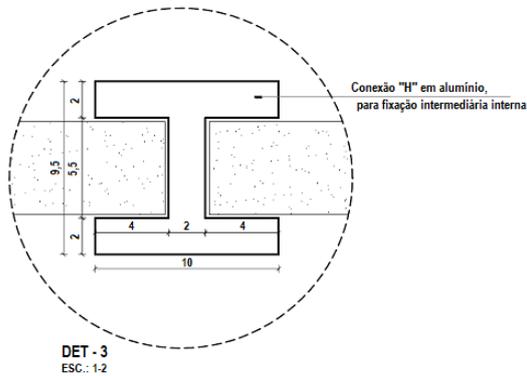


Figura 3.15: Detalhe da conexão interna em "H" para fixação entre painéis. Elaborado pelo autor(2013).

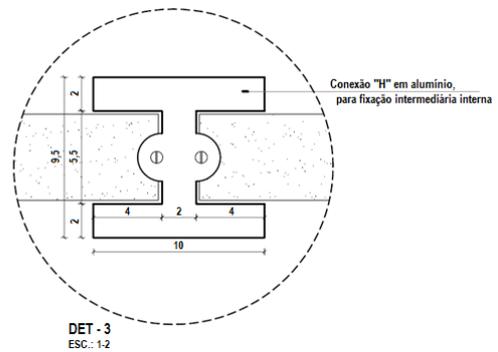


Figura 3.16: Detalhe da conexão interna em "H" para fixação nas extremidades dos montantes. Elaborado pelo autor (2013).

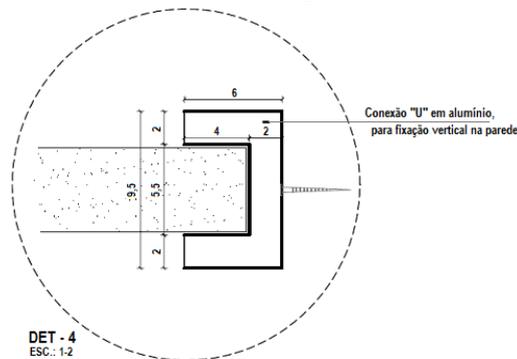


Figura 3.17: Detalhe da conexão de fixação vertical na parede. Elaborado pelo autor(2013).

A Figura 3.18 apresenta exemplo de um painel divisório estruturado, onde as placas taipadas interconectadas poderão ser fixadas em perfis.

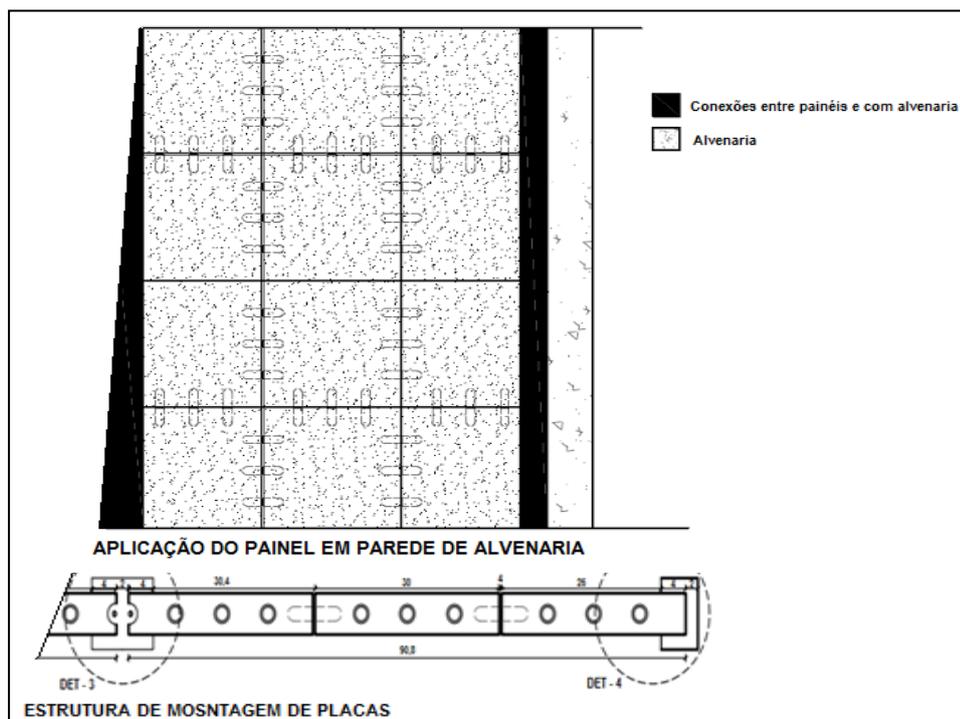


Figura 3.18: Utilização do painel na arquitetura de interiores como divisória. Elaborado pelo autor(2013).

3.3.2 - A Fabricação - Proposta inicial

Tendo como matriz os rejeitos silício-aluminatos e como materiais complementares para a formação do compósito a cinza volante e a cal hidratada processou-se cada material, de acordo com sua origem, desde suas coletas até a cominuição necessária à produção de argamassas.

3.3.2.1 - Coleta, características, beneficiamento e cominuição

Dos rejeitos de construção:

Os rejeitos silício-aluminatos foram coletados na Universidade Federal do Pará, oriundos da obra de reforma do Laboratório de Engenharia Química, localizado no Campus II, sendo constituídos de restos de alvenaria, reboco, concreto e revestimentos cerâmicos como azulejos e lajotas.

Após a coleta dos rejeitos encontrados nos containers, foram embalados em sacos plásticos para depois serem depositados no Laboratório de Materiais de Engenharia Química (Figuras. 3.19 e 3.20).



Figuras 3.19 e 3.20: Rejeitos de Construção, sílico-aluminato. Fotos do autor (2012).

Considerando que os rejeitos de construção civil foram coletados em proporções de demolição, se fez necessário que o seu processamento passasse inicialmente pela separação, sendo aproveitados apenas o material cerâmico que em seguida foi cominuído através da britagem abaixo de $\frac{1}{2}$ ".

Este processo foi desenvolvido no laboratório de Engenharia Química do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará utilizando-se do britador de mandíbula Briterpa (Modelo 1020 – Série 08), (Figuras 3.21 e 3.22).



Figuras 3.21 e 3.22: Britadeira de mandíbula e rejeitos embalados prontos para britagem. Fotos do autor (2012).

Assim, todos os fragmentos coletadas, após serem levadas à britadeira para cominuição, foram peneirados utilizando-se apeneira ABNT $\frac{3}{4}$ (19,1 mm) para nova seleção e melhor adequação ao moinho (Figura 3.23).



Figura 3.23: Peneira 19,1 mm. Foto do autor (2012).

Em seguida, o rejeito foi moído em Moinho de Disco contínuo Marconi (Modelo MA700 – Série 10 0690037) com a finalidade de atingir uma granulometria abaixo da malha 654, para então poder ser pela segunda vez levado ao moído de disco e aí proceder-se nova cominuição do rejeito, propiciando granulometria compatível ao processo de peneiragem na malha #65 (Figuras. 3.24 e 3.25)



Figuras 3.24 e 3.25:Material da 1º peneiragem sendo moído e peneirado em malha #65. Fotos do Autor(2012).

Da cinza volante:

A cinza Volante foi extraída como rejeito, derivada da queima de carvão mineral foi extraída das caldeiras da empresa HYDRO ALUNORTE, localizada em Barcarena-Pará, possuindo granulometria passante na peneira #400 podendo ser utilizada como pozolana na confecção de argamassas. Foi transportada em embalagem plástica até a Usina do Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, sendo utilizada *in natura* (Figura 3.26).



Figura 3.26: Cinza Volante (Lab. de Eng. Química). Foto do autor(2013).

A cinza utilizada para compor a argamassa, apresenta em sua composição a predominância dos minerais, segundo a Figura 3.27.

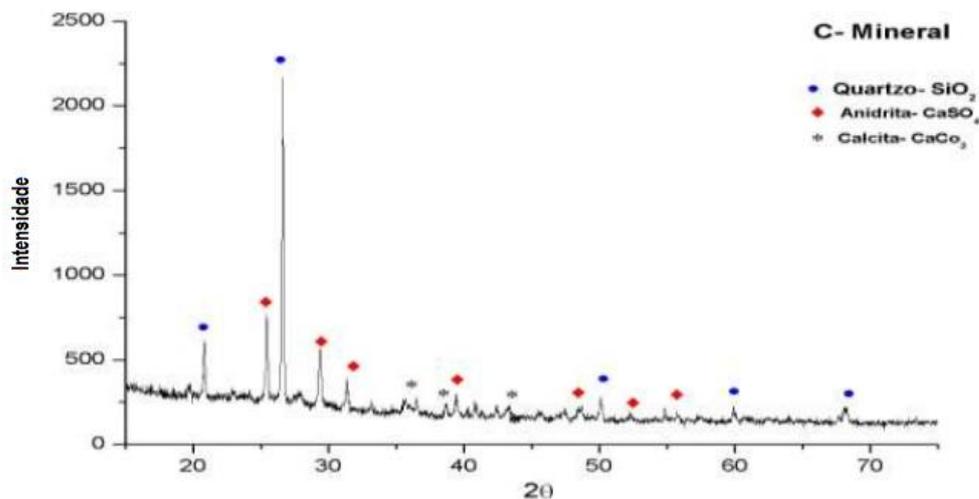


Figura 3.27: Difração de Raio-X da cinza volante (adaptado). Fonte: SIQUEIRA, Jacilene de (2011).

A composição química da cinza utilizada segue-se de acordo com a ilustração conforme a Tabela 3.25, tendo como referência teor Hydro Alunorte.

Tabela 3.25: Composição química da cinza volante. Fonte: Análise realizada no Centro de Geociências da UFPA (1999).

Elementos	Teor (%) Hydro Alunorte	Teor (%) Candiota
Na ₂ O	0,09	0,941
MgO	0,46	1,836
Al ₂ O ₃	22,71	16,399
SiO ₂	51,71	42,53
P ₂ O ₅	0,08	0,194
S	0,65	-
K ₂ O	0,94	1,61
Cão	2,75	19,005
TiO ₂	0,86	0,897
MnO	0,04	0,073
Fe ₂ O ₃	5,93	7,081
PF	14,35	-
C.Orgânico	10,74	-
CO ₂ total	40,09	-
Cl (ppm)	1030(ppm)	0,056
SO ₃	-	9,208
ZnO	-	0,014
Rb ₂ O	-	0,011
SrO	-	0,046
BaO	-	0,095
Rb ₂ O	-	0,011

Da cal apagada:

A Cal viva foi adquirida no comércio da cidade de Belém e após foi apagada através da reação:



Após a obtenção da cal apagada o material foi desaglomerado e submetido ao processo de secagem em estufa marconi a 100°C, por 24 horas e posteriormente moído em moinho de disco contínuo, Marconi (Modelo MA700 – Série 10 0690037) com a finalidade de atingir uma granulometria abaixo de 100# (Figuras 3.28 a 3.29)



Figuras 3.28 a 3.29: Processo de secagem e moagem da cal hidratada. Fotos do Autor (2012).

3.3.2.2 - Composições das argamassas

Após as cominuições dos materiais iniciaram-se diversos experimentos através de misturas nas quais os resíduos de construção, tratados como matriz, foram misturados inicialmente com argila, cal e cinza.

Em seguida foram realizadas diferentes misturas compostas de resíduo, cal, cinza, e cimento. Dos diversos traços estudados, optou-se em utilizar uma quantidade mínima de aglomerante, pois a mistura cal/cinza tem também tal propriedade, formando estruturas cristalinas hidratadas com boa estabilidade, conforme tratado no capítulo 4. Tal combinação minimiza a utilização de cimento como aglomerante, tornando o material produzido com maior elasticidade e com baixo custo, levando-se em conta que o uso de materiais reciclados, via de regra, são processados com o mínimo de equipamentos. se comparados com a produção de blocos cerâmicos que utilizam materiais extraídos do meio ambiente, degradando-o, e utilizando em maior escala o cimento.

Foram realizadas misturas que assemelham-se com as argamassas com presença da cal utilizados no passado, substituindo-se a terra pelos rejeitos de construção, somando-se ao uso da cinza volante.

A realização de estudos das propriedades de diversas misturas com cal apagada, Ca(OH)₂, cinza volante como material pozolânico e resíduo da construção civil com composição mais concentrada em silício - aluminatos (restos de concreto, argamassas e paredes) resultou em diversos traços propiciando a opção de traço composto de 75% de Resíduos de Construção, 12,5% de Cal e 12,5% de Cinza Volante. Nesta composição foram obtidos resultados compatíveis nos ensaios realizados, quanto as normas referentes às argamassas para fabricação de blocos cerâmicos

A Tabela 3.26 a seguir elucida os traços que foram ensaiados a partir da composição dos materiais citados, destando-se o de número 3.

Tabela 3.26: Traços utilizados no experimento 01. Elaborado pelo autor (2012).

Material/ Traço	Rejeito	Cal	
		hidratada	Cinza
1	75%	15%	10%
2	75%	10%	15%
3	75%	12,5%	12,5%
4	75%	25%	0%

3.3.2.3 - Construção das placas

Após a elaboração do projeto para a construção das placas, foi dado início à elaboração do conjunto que comporá a produção das mesmas com a confecção das formas, das estruturas tubulares e com a preparação da argamassa, referente ao traço 3 produzido no experimento 01, que obteve resultados considerados satisfatórios nos ensaios realizados, no que se refere aos valores quanto à resistência à compressão de 22,55 MPa, acima dos valores exigidos para o uso em reboco (<8 MPa).

A construção das formas e das estruturas tubulares procedeu-se de acordo com o projeto cabendo, portanto o estabelecimento dos cálculos e ações referentes à fundição das placas (Figura 3.30)



Figura 3.30: Formas e estruturas taipais tubulares. Fotos do autor(2013).

Assim, para o cálculo do volume de cada placa considerou-se sua forma prismática, segundo o projeto, chegando-se a uma medida de 4.050 cm^3 Levando-se em conta que os dutos de PVC que compõem a estrutura tubular ocuparão $747,86 \text{ cm}^3$ concluiu-se que para o preenchimento das formas serão necessários $3.302,15 \text{ cm}^3$ de Argamassa.

Tomando como medida do traço escolhido chegou-se a cubagem (Tabela 3.27) dos materiais que constituirão o composto argamassico.

Tabela 3.27: Cubagem dos materiais. Concebido pelo autor(2013).

Cubagem dos materiais (cm^3)	
Rejeito Sílico-aluminoso	$2.476,61 \text{ cm}^3$
Cinza Volante	$412,77 \text{ cm}^3$
Cal Hidratado	$412,77 \text{ cm}^3$

Para proceder-se a cubagem dos materiais e suas correspondências em gramas, foi realizado a conversão de cm^3 para grama utilizando-se recipiente plástico com capacidade de 60cm^3 que após preenchido em sequência pelos materiais a serem usados, foi pesado sucessivamente e assim chegou-se às quantidades necessárias para cada componente da argamassa. As dimensões do recipiente foram conferidas com uso de paquímetro.

Após a cubagem procedeu-se a pesagem dos materiais utilizando-se como referência a transformação de cm^3 em g. (Figura 3.31)



Figura 3.31: Pesagem do Material. Foto: Dinah Tutyia (2013).

Em seguida se estabeleceu como fator água x compósito, 33%. Ao proceder-se a mistura da argamassa com água foi observado que os volumes dos materiais calculados sofreram redução, sendo, portanto, necessário um aumento na pesagem de cada componente de aproximadamente 50%.

Assim, cada placa para ser construída utilizando-se a argamassa selecionada necessita das massas segundo Tabela 3.28.

Tabela 3.28: Material necessário para confecção da argamassa. Concebido pelo autor(2013).

Peso dos materiais (g)	
Rejeito Sílico-aluminoso	3.900g
Cinza Volante	324g
Cal Hidratado	650g

Antes do enchimento das formas procedeu-se a pesagem das estruturas em PVC com seus respectivos parafusamentos, obtendo-se para cada estrutura 381g. (Figura 3.32)



Figura 3.32: Estrutura taipal parafusada. Foto do autor(2013).

Após a argamassa ser batida foi procedido o enchimento das formas e em seguida o acabamento, com o desempeno na parte superior de cada placa (Figura 3.33).



Figura 3.33: Desempeno das Placas. Foto: Dinah Tutuya (2013).

3.3.2.4 - Teste de conexão das placas

Após 28 dias de cura a temperatura de 30°C, foi realizada do o teste de conexão das placas em que os conectores foram introduzidos nos taipados tubulares, fixados os anéis separadores. (Figuras 3.34 a 3.37)



Figuras 3.34 a 3.37: Detalhes dos conectores. Fotos do autor (2013).

3.3.3 - A Fabricação – Proposta Final

A partir da argamassa final do experimento 04, traço 1, a confecção das placas taipadas processa-se a partir do fluxograma, conforme a Figura 3.38.

PLACAS TAIPADAS – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

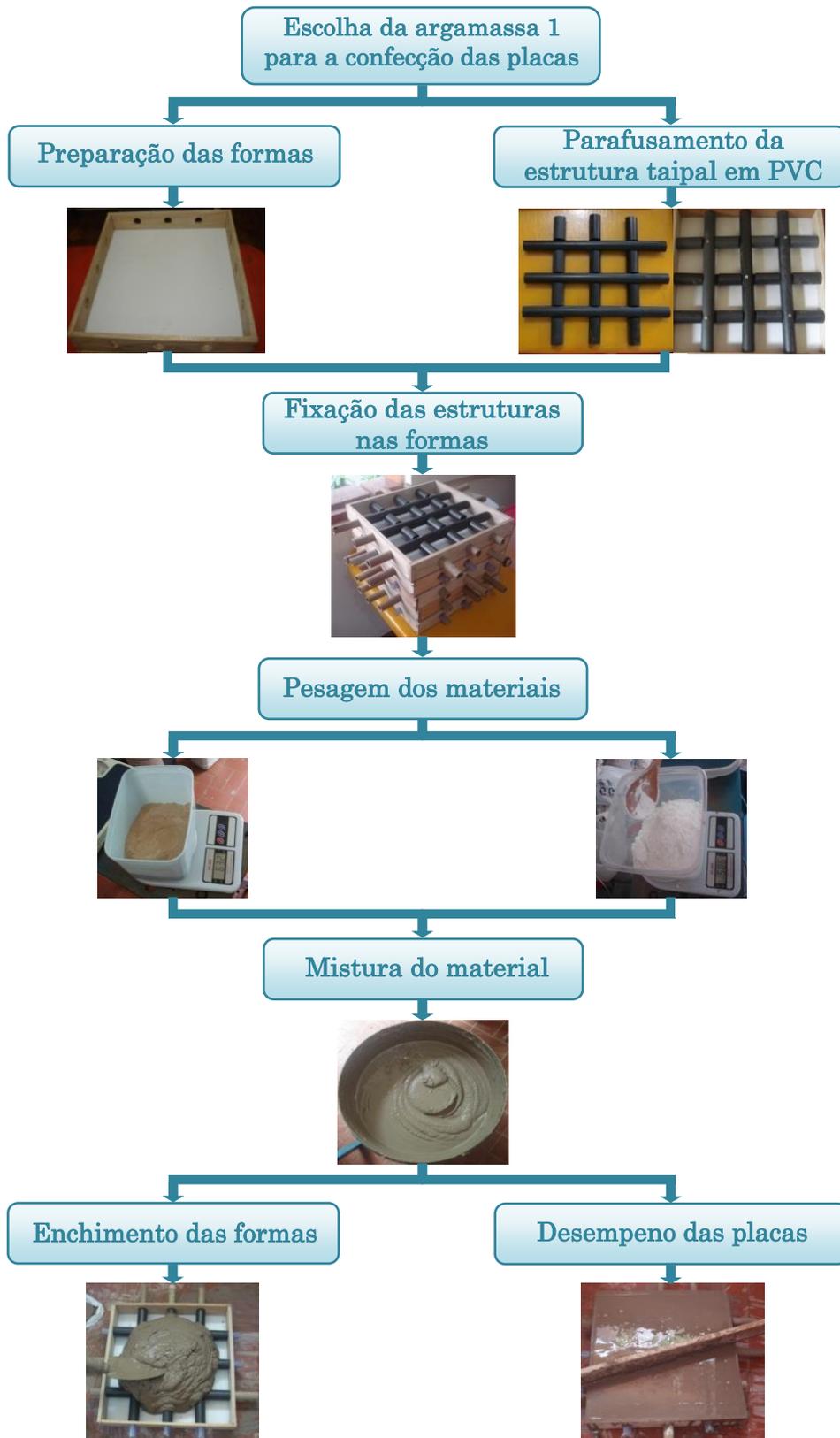


Figura 3.38: Fluxograma de fabricação das placas taipadas. Desenho concebido pelo autor (2014).

3.3.3.1 - Fabricação das formas

Com a escolha do traço 1 entre os três ensaiados, foi iniciado o processo de confecção das placas cerâmicas articuláveis, iniciando-se pela fabricação das formas.

Foram confeccionadas 8 formas para a confecção das placas cerâmicas, sendo três para os ensaios de resistência à compressão, três para os ensaios de resistência à tração e 2 para a demonstração das conexões entre as placas, como na montagem de um painel.

3.3.3.2 - Fixação da estrutura às formas

A fixação das peças tubulares das estruturas taipais se fez a partir do parafusamento em cinco pontos (Figura 3.39), e sua fixação nas formas se processou com o uso de conectores poliméricos, sendo que o espaçamento entre a estrutura tubular e as superfícies da placa foi obtido com o apoio pelas pontas dos parafusos, externos aos dutos, conforme a Figura 3.40



Figura 3.39: Parafusamento dos dutos. Foto do autor, fevereiro(2014).



Figura 3.40: Fixação da estrutura na fôrma e distância às superfícies da placa. Foto do autor, fevereiro(2014).

3.3.3.3 - Cálculo dos materiais cerâmicos

Para o cálculo do volume de cada placa considerou-se sua forma prismática, com dimensões internas de 30x30 cm, altura 4.50cm e volume de 4.050 cm³. Levando-se em conta que os dutos de PVC que compõem a estrutura tubular ocuparão 747,86 cm³ conclui-se que para o preenchimento das formas serão necessários 3.302,15 cm³ de Argamassa.

Tomando como referência as dosagens do traço 1 chegou-se a cubagem dos materiais (Tabela.3.29) que constituirão o compósito argamássico.

Tabela 3.29: Volume dos materiais na forma. Concebido pelo o autor(2014).

Traço 01 - Volume (cm³)			
Rejeito Silico-aluminoso (cm³)	Cal hidratada(cm³)	Cinza volante (cm³)	Cimento portland comum (cm³)
3302,14 ----- 100%	3302,14 ----- 100%	3302,14 ----- 100%	3302,14 ----- 100%
X ----- 70%	X ----- 15%	X ----- 10%	X ----- 05%
X = 2311,49cm ³	X = 495,32cm ³	X = 330,21cm ³	X = 165,10cm ³

Para proceder-se a cubagem dos materiais e suas correspondências em gramas, (Tabela 3.30) foi realizada a conversão de cm³ para grama utilizando-se o peso específico dos materiais compósitos da argamassa.

Tabela 3.30: Massa correspondente ao peso específico. Concebido pelo o autor(2014).

Traço 01 - Massa (g)			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada (g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 1,5 x 2311,49	M = 1,24 x 495,32	M = 1 x 330,21	M = 1,3 x 165,10
M = 3467,23	M = 614,20	M = 330,21	M = 214,63

Considerando como fator água x argamassa 33%, cálculo da massa total de material (Tabela 3.31) considerando a perda de volume pela água em 25%.

Tabela 3.31: Massa total correspondente a uma forma. Concebido pelo o autor(2014).

Traço 01 – Massa (g)			
Rejeito Silico-aluminoso (g/cm³)	Cal hidratada (g/cm³)	Cinza volante (g/cm³)	Cimento portland comum (g/cm³)
M = 3467,23 x 1,25	M = 614,20 x 1,25	M = 330,21 x 1,25	M = 214,63 x 1,25
M = 4334,03	M = 767,75	M = 412,76	M = 268,29

A massa total de cada material para a confecção dos 8 corpos de prova, é estabelecida segundo a Tabela 3.32.

Tabela 3.32: Massa total para confecção de 8 placas. Concebido pelo o autor(2014).

Traço 01 - Massa Total (g)			
Rejeito Silico-aluminoso (g)	Cal hidratada (g)	Cinza volante (g)	Cimento portland comum (g)
M = 4334,03 x 8	M = 767,75 x 8	M = 412,76 x 8	M = 268,29 x 8
M = 34672,24	M = 6142	M = 3302,08	M = 2146,32

3.3.3.4 - Pesagem e mistura dos materiais

Após a cubagem procedeu-se a pesagem dos materiais em gramas e em seguida estabeleceu-se para a realização da mistura da argamassa, a adição de 33% de água em relação ao volume dos materiais, conseguindo-se desta forma uma argamassa homogênea e plástica.

Antes do enchimento das formas procedeu-se a pesagem das estruturas em PVC com seus respectivos parafusamentos, obtendo-se para cada estrutura 381g. Desta forma torna-se possível ao final do processo de confecção de cada placa calcular-se o peso efetivo do material cerâmico, na composição da placa final.

3.3.3.5 - Fundição das placas

Após a argamassa ser batida durante o tempo necessário à formação de uma argamassa uniforme e plástica, foi procedido o enchimento das formas e em seguida o acabamento, com o desempeno na parte superior de cada placa conforme as Figuras 3.41 e 3.42



Figura 3.41: Enchimento das formas. Foto: Amanda Farias(2014).



Figura 3.42: Desempeno da placa. Foto: Amanda Farias(2014).

As placas foram submetidas à cura de 28 dias em temperatura ambiente de 28°C e após este período desformadas, a partir da retirada dos pinos fixadores dos dutos taipais (Figuras 3.43 a 3.49).



Figura 3.43: Placas no período de cura. Foto do autor(2014).



Figura 3.44: Retirada dos pinos.Foto: Cybelle Miranda (2014).

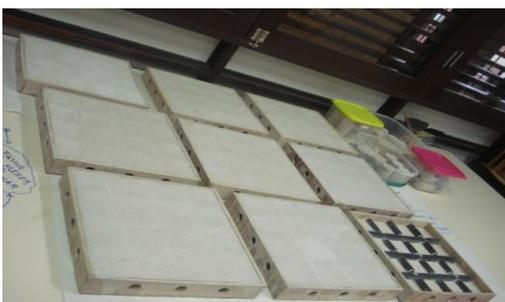


Figura 3.45: Placas prontas para desforma.Foto do autor (2014).



Figura 3.46: Desparafusando as formas.Foto: Amanda Farias (2014).



Figura 3.47:Início da retirada da forma. Foto: Amanda Farias (2014).



Figura 3.48: Retirada da forma. Foto: Amanda Farias(2014).



Figura 3.49: Placas desformadas. Foto do autor (2014).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - QUANTO AS PROPOSTAS DE ARGAMASSAS ALTERNATIVAS

Os experimentos que levaram a composição de diversas argamassas, ensaiadas nos laboratórios de Engenharia Química e Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, apresentaram os seguintes resultados:

4.1.1 - Experimento 01

No experimento, os ensaios de Absorção de água (AA), Porosidade aparente (PA) e Massa Específica Aparente (MEA), após imersão em água, durante 24 horas à temperatura de 28°C, evidenciam-se com a tabela abaixo que mostra os resultados dos ensaios dos traços com 28 dias de cura (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Resultados dos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Elaborado pelo autor (2012).

ENSAIOS			
Traço (T)	Absorção de água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica aparente g/cm ³
T 01	16,25	22,88	1,41
T02	27,82	35,47	1,26
T03	25,45	33,63	1,32
T04	15,85	23,40	1,47

A partir dos resultados, observa-se que a utilização da cinza volante como material pozolânico na preparação de argamassa não conferiu grandes propriedades aglomerantes, uma vez que a argamassa não apresentou resultados satisfatórios para as análises em questão. Os traços 1 e 2 ficaram fragilizados ao entrarem em contato com a água, e o traço 3, após absorver água, solubilizou-se. O traço 4 apresentou a menor absorção e maior massa específica a partir da ausência da cinza.

Quanto à resistência à compressão, os ensaios demonstraram resultados conforme a tabela abaixo (Tabela 4.2)

Tabela 4.2:Ensaio de resistência à compressão - resultados. Elaborado pelo autor(2012).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
Traço (T)	Teor de Cal (%)	Kgf/cm²	MPa
T 01	15	300	29,42
T 02	10	150	14,71
T 03	12,5	230	22,55
T 04	25	270	26,48

O corpo de prova com a menor quantidade de cal – traço 2 – teve menor resistência à compressão. A medida que o teor de cal aumentou, a resistência acompanhou este acréscimo. Porém o traço 4, que tem maior quantidade de cal (25%), por não apresentar cinza, não apresentou o maior valor de resistência.

A maior resistência apresentada foi no traço 1, que continha 15% de cal. Desta forma, podemos dizer que a interação cinza/cal, sendo a cinza predominante, confere à mistura maior resistência, se comparada com o corpo de prova com ausência de cinza, caracterizando-se como reações pozolânicas.

4.1.2 - Experimento 02

Neste experimento para os ensaios de Absorção de água (AA), Porosidade aparente (PA) e de Massa Específica Aparente (MEA), após imersão em água durante 24 horas à temperatura de 28° obteve-se os seguintes resultados (Tabela 4.3).

Tabela 4.3:Ensaio de Absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Elaborado pelo autor(2013).

Ensaio			
Traço (T)	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm³)
T 01	33,28	40,59	1,22
T02	41,10	43,94	1,07

Observou-se que no traço 1 que possui rejeito, cinza e argila, a absorção de água foi menor que o traço 2 composto somente por cinza e cal hidratada. A porosidade aparente do traço 1 foi menor que a porosidade aparente do traço 2, já que a maior porosidade aparente ocasiona a maior absorção de água.

A densidade, ou massa específica aparente, do traço 1 também foi maior que o

traço 2, o que mostra que a combinação entre a cinza e a cal hidratada forma um composto de natureza mais leve que o formado pelo rejeito, cinza e argila.

Ambos os corpos de prova permaneceram sólidos após a imersão por 24h em água.

Quanto à resistência à compressão, o traço 2 (materiais compósitos) apresentou melhor resultado se comparado ao traço1 (Tabela 4.4).

Tabela 4.4:Ensaio de resistência à compressão. Elaborado pelo autor(2013).

Traço (T)	T 01		T 02	
Unidade	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
Resultado	280	27,46	600	58,84

4.1.3 - Experimento 03

Apenas 4 corpos de prova resistiram aos ensaios à imersão em água durante 24 horas, corpos dos traços 2, 3, 4 e 5, todos pertencentes à argamassa 1, os demais solubilizaram-se em decorrência da composição rejeito x argila não apresentar reações de agregação.

Assim após os ensaios de Absorção de água (AA), Porosidade aparente (PA) e Massa Específica Aparente (MEA), após imersão em água durante 24 horas, à temperatura de 28° observou-se os seguintes resultados (Tabela 4.5).

Tabela 4.5:Ensaio de Absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Elaborado pelo autor(2013).

Ensaio			
Traço (T)	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm ³)
T 02	38,38	44,54	1,16
T03	40,75	47,94	1,17
T04	47,12	50,55	1,07
T05	37,27	49,21	1,32

O traço 4 apresentou maior absorção de água e porosidade aparente, apresentando o menor valor de densidade levado pelo maior percentual no uso da cal hidratada que leva a uma estrutura mais porosa. Esse traço, por sua vez, é constituído de 20% de cal e 10% de argila, concluindo-se que esse resultado ocorreu devido ao alto índice de retenção de água característico da cal e que se deu devido à composição com a argila.

O traço 5, onde não há argila, apresentou o menor valor de absorção de água. Esse traço também apresentou a maior massa específica, possivelmente pela maior quantidade de cal.

As Tabelas 4.6 e 4.7 mostram os valores de resistência à compressão referentes às duas argamassas utilizadas.

Tabela 4.6: Resistência à compressão das argamassas. Elaborado pelo autor(2011).

RESULTADOS- ARGAMASSA 1		
TRAÇO (T)	Kgf/cm²	MPa
T 01	30	2.94
T 02	10	0.98
T 03	30	2.94
T 04	30	2.94
T 05	120	11.76

Tabela 4.7: resistência à compressão das argamassas. Elaborado pelo autor(2011).

RESULTADOS- ARGAMASSA 2		
TRAÇO (T)	Kgf/cm²	MPa
T 01	30	2.94
T 02	60	5.88
T 03	40	3.92
T 04	40	3.92
T 05	0	0

4.1.4 - Tabelas com os resumos dos experimentos 01, 02 e 03.

Os três experimentos que levaram à composição de 16 argamassas e que foram submetidos aos ensaios absorção de água, porosidade aparente, massa específica e resistência à compressão são visualizados e discutidos a seguir. (Tabelas 4.8; 4.9; 4.10 e 4.11.)

Tabela 4.8: Experimento 01. Elaborada pelo autor(2013).

	TRAÇOS (T)	ENSAIOS				OBSERVAÇÕES
		Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm ³)	Resistência à Compressão (MPa)	
Experimento 1	Traço 1 Rejeito 75% Cal 15% Cinza 10%	16,25	22,88	1,41	29,42	<ul style="list-style-type: none"> Observou-se pelos ensaios que a utilização da cinza volante como material pozolânico na preparação de argamassa não conferiu grandes propriedades aglomerantes a mesma, pois após os 28 dias de cura, a argamassa não apresentou resultados satisfatórios para as análises em questão. Os corpos de prova para o traço 1 e 2 ficaram quebradiços ao entrarem em contato com a água. O traço 3 não quebrou imediatamente, entretanto após absorver água desmanchava A medida que o teor de cal aumentou, a resistência acompanhou este acréscimo. De acordo com esta tendência, o esperado seria o pico de resistência ser atingido no traço 4, quando o teor de cal é de 25%. No entanto, não foi como ocorreu: a resistência maior foi atingida no corpo de prova de traço 1, que possui 15% de cal. O corpo de prova de traço 4 com maior quantidade de cal, não apresenta cinza. Deste fato, podemos supor que a interface cinza/cal, sendo a cinza predominante, confere à mistura maior resistência, se comparada com o corpo de prova com ausência de cinza.
	Traço 2 Rejeito 75% Cal 10% Cinza 15%	27,82	35,47	1,26	14,71	
	Traço 3 Rejeito 75% Cal 12,5% Cinza 12,5%	25,45	33,63	1,32	22,55	
	Traço 4 Rejeito 75% Cal 25% Cinza 0%	15,85	23,40	1,47	26,48	

Absorção de Água (%)

Traço	Absorção de Água (%)
T1	16,25
T2	27,82
T3	25,45
T4	15,85

Porosidade Aparente (%)

Traço	Porosidade Aparente (%)
T1	22,88
T2	35,47
T3	33,63
T4	23,40

Massa Específica Aparente (g/cm³)

Traço	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
T1	1,41
T2	1,26
T3	1,32
T4	1,47

Resistência à compressão (Mpa)

Traço	Resistência à compressão (Mpa)
T1	29,42
T2	14,71
T3	22,55
T4	26,48

Tabela 4.9: Experimento 02. Elaborada pelo autor(2013).

	TRAÇOS (T)	ENSAIOS			
		Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm ³)	Resistência à Compressão (MPa)
Experimento 2	Traço 1 Rejeito 70% Cinza 15% Argila 15%	33,28	40,59	1,22	27,46
	Traço 2 Cal 50% Cinza 50%	41,10	43,94	1,07	58,84

Absorção de Água (%)

Traço	Absorção de Água (%)
T1	33,28
T2	41,10

OBSERVAÇÕES

- De acordo com os ensaios realizados o que se observou foi a predominância de maior absorção e Porosidade Aparente na Argamassa 2.
- Quanto a Massa Específica a Argamassa 2, onde predomina Cal e Cinza é menor.
- A Presença da Cal, combinada com a Cinza na Argamassa 2, mais que duplicou a resistência à Compressão.

Porosidade Aparente (%)

Traço	Porosidade Aparente (%)
T1	40,59
T2	43,94

Massa Específica Aparente (g/cm³)

Traço	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
T1	1,22
T2	1,07

Resistência à compressão (Mpa)

Traço	Resistência à compressão (Mpa)
T1	27,46
T2	58,84

Tabela 4.10: Experimento 03, Argamassa 1. Elaborada pelo autor(2013).

EXP. ARGILAS	TRAÇOS (T)	ENSAIOS – NUMEROS				RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
		Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm ³)	Resistência à Compressão (MPa)	
Experimento 3 – Argamassa 1	Traço 1 Rejeito 70% Argila 30% Cal 0%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	2.94	
	Traço 2 Rejeito 70% Argila 20% Cal 10%	38,38	44,54	1,16	0.98	
	Traço 3 Rejeito 70% Argila 15% Cal 15%	40,75	47,94	1,17	2.94	
	Traço 4 Rejeito 70% Argila 10% Cal 20%	47,12	50,55	1,07	2.94	
	Traço 5 Rejeito 70% Argila 0% Cal 30%	37,27	49,21	1,32	11.76	

Traço	Absorção de Água (%)
T1	~100
T2	~38
T3	~41
T4	~47
T5	~37

Traço	Porosidade Aparente (%)
T1	~44
T2	~45
T3	~48
T4	~51
T5	~49

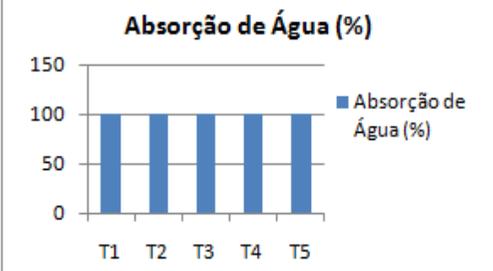
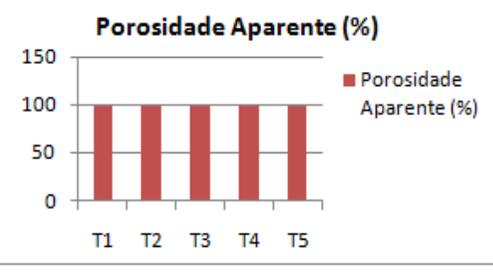
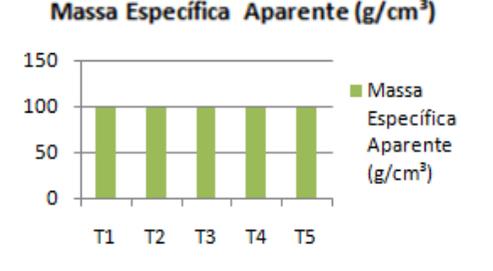
Traço	Massa Específica Aparente (g/cm³)
T1	~1.16
T2	~1.17
T3	~1.07
T4	~1.16
T5	~1.32

Traço	Resistência à compressão (Mpa)
T1	~2.94
T2	~0.98
T3	~2.94
T4	~2.94
T5	~11.76

OBSERVAÇÕES

- Nos traços ensaiados o que observa-se é a maior resistência à compressão do traço 5 em que o rejeito compõe com a cal sem a presença da argila.
- Com a presença da argila o melhor desempenho observa-se nos traços 1, 3 e 4
- O melhor desempenho como a absorção de água está no traço 2 e 5.

Tabela 4.11: Experimento 03, Argamassa 2. Elaborada pelo autor (2013).

EXP. ARGILAS	TRAÇOS (T)	ENSAIOS – NÚMEROS				RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
		Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm ³)	Resistência à Compressão (MPa)		
Experimento 3 – Argamassa 2	Traço 1 Rejeito 70% Argila 30% Cinza 0%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	2.94	 <p>Absorção de Água (%)</p> <p>Y-axis: 0, 50, 100, 150. X-axis: T1, T2, T3, T4, T5. Legend: Absorção de Água (%).</p>	
	Traço 2 Rejeito 70% Argila 20% Cinza 10%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	5.88		 <p>Porosidade Aparente (%)</p> <p>Y-axis: 0, 50, 100, 150. X-axis: T1, T2, T3, T4, T5. Legend: Porosidade Aparente (%).</p>
	Traço 3 Rejeito 70% Argila 15% Cinza 15%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	3.92		
	Traço 4 Rejeito 70% Argila 10% Cinza 20%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	3.92		 <p>Massa Específica Aparente (g/cm³)</p> <p>Y-axis: 0, 50, 100, 150. X-axis: T1, T2, T3, T4, T5. Legend: Massa Específica Aparente (g/cm³).</p>
	Traço 5 Rejeito 70% Argila 0% Cinza 30%	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	Corpo solubilizou	0		
						 <p>Resistência à compressão (Mpa)</p> <p>Y-axis: 0, 2, 4, 6, 8. X-axis: T1, T2, T3, T4, T5. Legend: Resistência à compressão (Mpa).</p>	

OBSERVAÇÕES

- Nestes traços o que observa-se é a fragilidade quanto a ação da água nas argamassas. Os corpos de prova ao serem acomodados de molho em água durante 24h se solubilizaram, logo nas primeiras duas horas.
- Caso as argamassas (1, 2, 3 e 4) sejam utilizada em ambiente seco, observa-se que apresentam razoável resistência a compressão.
- No traço 2 com predominância do rejeito e da argila foi o que melhor resistiu a compressão.
- No traço 5, composto de rejeito e cinza a resistência foi zero.

4.1.5 - Experimento 04

4.1.5.1 - Ensaio de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

Para avaliar as propriedades cerâmicas e verificar como as argamassas comportavam-se em diferentes composições (traços), submeteu-se os corpos de prova aos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente, utilizando balança de precisão GEHAKA-BG 200.

Estes ensaios foram realizados na Usina de Materiais da Faculdade de Engenharia Química da UFPA, de acordo com a ABNT NBR 6220 onde a primeira etapa consistiu em pesar os corpos curados (Figura 4.1), com resultados conforme Tabela 4.12 e em seguida inseri-los em um recipiente com água destilada durante 24 horas (Figura 4.2) e após foi realizada nova pesagem com objetivo de adquirimos a porcentagem de absorção (AA). Os mesmos corpos de prova foram submetidos à pesagem para a verificação da massa imersa (Figura 4.3 e 4.4).



Figura 4.1: Pesagem dos corpos secos. Foto: Amanda Farias(2014).

Tabela 4.12: Peso referente a cada corpo de prova. Concebido pelo autor(2014).

Traços (T)	Corpos de prova (g)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	125, 404	123, 558	118, 383
T 02	114, 246	117, 642	126, 734
T 03	127, 232	125, 270	121, 753



Figura 4.2: Imersão dos corpos de prova. Foto: Amanda Farias(2014).



Figura 4.3: Verificação de massa do corpo úmido. Foto: Amanda Farias(2014).



Figura 4.4: Verificação do corpo imerso. Foto: Amanda Farias(2014).

A Tabela 4.13 apresenta os valores correspondentes à pesagem dos corpos de provas após imersão durante 24 horas, em água destilada à temperatura de 30°C.

Tabela 4.13: Pesagem dos corpos de prova úmido. Concebido pelo autor(2014).

Traços (T)	Corpos de prova (g)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	162,373	159,910	153,430
T 02	149,089	152,735	162,727
T 03	168,412	165,937	161,034

A Tabela 4.14 contem os valores referentes à pesagem dos corpos de provas imersos em água à temperatura de 30°C.

Tabela 4.14: Pesagem dos corpos de prova imersos. Concebido pelo autor(2014).

Traços (T)	Corpos de prova (g)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	69,130	69,310	65,100
T 02	63,251	65,005	69,105
T 03	69,702	70,261	67,151

Após os procedimentos e resultados acima foram calculados os valores relativos às propriedades em estudo.

Assim temos:

A- Cálculo e resultados (Tabela4.15) da absorção de água.

$$AA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (4.1)$$

Sendo:

AA= Absorção de água (%)

Mu= Massa úmida (g)

Ms= Massa seca (g)

Tabela 4.15: Resultado da absorção de água. Concebido pelo autor(2014).

Traços (T)	Absorção de Água (%)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	29,47	29,42	29,60
T 02	30,49	29,83	28,40
T 03	32,36	32,46	32,26

B- Cálculo e resultados (Tabela 4.16) da porosidade aparente.

$$PA\% = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} \times 100 \quad (4.2)$$

Sendo:

Mu= Massa úmida (g)

Ms= Massa seca (g)

Mi= Massa imersa (g)

Tabela 4.16: Resultado da porosidade aparente. Concebido pelo autor (2014).

Traços (T)	Porosidade aparente (%)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	39,65	40,12	39,68
T 02	40,59	40,00	38,44
T 03	41,72	42,50	41,84

C- Cálculo e resultado (Tabela 4.17) da massa específica aparente.

$$yap = 1000 \times \frac{M}{V} \quad (4.3)$$

Sendo:

yap= Densidade da massa aparente (Kg/m³)

M= Massa

V= Volume

Tabela 4.17: Resultado da massa específica aparente. Concebido pelo autor(2014).

Traços (T)	Massa específica aparente (g/cm ³)		
	Corpo 01	Corpo 02	Corpo 03
T 01	1, 278	1, 259	1, 206
T 02	1, 164	1, 199	1, 292
T 03	1, 297	1, 277	1, 241

Os resultados de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente dos corpos de prova referente aos três traços, são demonstrados conforme a Tabela 4.18.

Tabela 4.18: Ensaio de absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente. Concebido pelo autor (2014).

Ensaio (média)			
Traços (T)	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
T 01	29,49	39, 82	1, 25
T 02	29,57	39, 68	1, 22
T 03	32,36	42, 02	1, 27

4.1.5.2 - Ensaio de resistência à compressão

Para aferir a resistência à compressão dos traços propostos foi utilizado o método exposto na ABNT NBR 7215:1996 – “Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão”. O ensaio foi executado no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil-UFGA, com o equipamento da marca Amsler, que mede a compressão em kgf/cm². Os corpos foram colocados individualmente no equipamento sendo anotados os valores de resistência em g/cm³ a partir da primeira fissura (Figura 4.5)



Figura 4.5: Corpo de prova submetido à compressão. Foto: Amanda Farias(2014).

Aferida a resistência à compressão dos traços propostos (Tabela 4.19) observa-se que o traço 1 é o que apresenta a melhor resistência média à compressão (Tabela 4.20).

Tabela 4.19: Resultados do ensaio de resistência à compressão. Da argamassa. Concebido pelo autor(2014).

Nº Corpo de prova (CP)	Resistência a Compressão					
	Traço 01		Traço 02		Traço 03	
	Unidade	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
CP 01	320	31,36	260	25,48	170	16,66
CP 02	200	19,60	230	22,54	180	17,64
CP 03	330	32,34	230	22,54	200	19,60

Tabela 4.20: Média da resistência a compressão. Concebido pelo autor(2014).

Traço (T)	Resistência a Compressão (média)	
	Unidades	
	Kgf/cm ²	MPa
T 01	283,34	27,77
T 02	240	23,52
T 03	183,34	17,97

4.1.6 - Tabela com o resumo do experimento 4

O quarto experimento que levou à composição de 3 traços de argamassas e que foram submetidos aos ensaios absorção de água, porosidade aparente, massa específica e resistência à compressão são visualizados e discutidos (Tabela 4.21).

Tabela 4.21: Experimento 04. Elaborada pelo autor(2014).

	TRAÇO (T)	ENSAIOS			
		Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Resistência à compressão (Mpa)
EXPERIMENTO 04	TRAÇO 01 Rejeito 70% Cal 15% Cinza 10% Cimento 05%	29,50	39,82	1,25	27,77
	TRAÇO 02 Rejeito 70% Cal 10% Cinza 15% Cimento 05%	29,57	39,68	1,22	23,52
	TRAÇO 03 Rejeito 70% Cal 12,5% Cinza 12,5% Cimento 05%	32,36	42,05	1,27	17,90

Absorção de Água (%)

Traço	Absorção de Água (%)
T1	29,50
T2	29,57
T3	32,36

OBSERVAÇÕES

- Observa-se neste experimento que o traço 01, que apresenta a cal hidratada na proporção de 15%, produziu corpos de prova com maior resistência à compressão.
- Quanto à absorção de água, a presença da cal hidratada no traço 01 corresponde a menor porcentagem e com isso a argamassa caracteriza-se como menos absorvente em relação às demais.
- Os melhores resultados apresentados nos ensaios realizados decorrem da alternância de percentuais entre a cal hidratada e a cinza para mais ou para menos.
- No traço 03 em que a cinza volante e a cal hidratada são usadas na mesma proporção observa-se que há um aumentada absorção de água, da porosidade aparente e da massa específica, com isso havendo maior peso no compósito em condições seca e úmida.
- Nestas condições a argamassa correspondente ao traço 01 destaca-se para ser usada na confecção das placas taipadas propostas.

Porosidade Aparente (%)

Traço	Porosidade Aparente (%)
T1	39,82
T2	39,68
T3	42,05

Massa Específica Aparente (g/cm³)

Traço	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
T1	1,25
T2	1,22
T3	1,27

Resistência à compressão (Mpa)

Traço	Resistência à compressão (Mpa)
T1	27,77
T2	23,52
T3	17,90

4.2 - QUANTO A REOLOGIA DE ARGAMASSAS – PARÂMETROS ENTRE TRAÇOS COM USO DO REJEITO SÍLICO-ALUMINATO, COMBINADO COM CINZA VOLANTE E CAL HIDRATADA E POSTERIORMENTE SUBSTITUINDO A CAL HIDRATADA PELA ARGILA

Os resultados apresentados de acordo com a Tabela 4.22 a seguir, tratam do Torque versus tempo e da Histerese dos experimentos.

Tabela 4.22: Composição dos traços dos experimentos 2 traço 3 e experimento 4 argamassa 2, traço 3. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

Experimentos	Rejeito (%)	Cinza Volante (%)	Cal (%)	Argila (%)	H ₂ O (%)
2	75	12,5	12,5	0	35
4	70	15	0	15	35

De acordo com a Figura 4.6 as formulações das argamassas apresentadas neste trabalho apresentaram um crescente aumento do torque conforme o tempo de execução dos ensaios, sendo que este aumento é menos evidenciado no experimento 4, (argila 2, traço 3) com composição 70% de Rejeito silico-aluminato, 15% de Cinza Volante e 15% de Argila, o aumento do valor do torque é mais pronunciado no experimento 2, (traço 3) com 75% de Rejeito, 12,5% de Cinza Volante e 12,5 de Cal hidratada. Observou-se que uma das causas do aumento do torque em relação às argamassas analisadas é o aumento da absorção de água por parte da Cinza volante associada a Cal, tendo como consequência redução de água no sistema, devido a Cinza volante e a Cal possuírem granulometrias com presença predominante de grãos finos e além disso ambas apresentam forte atividade pozolânica, o que acarreta uma elevada absorção de água com formação de uma cadeia cristalina de produtos hidratados (CRIADO, 2009), tendo como consequência uma grande absorção de água pelo sistema levando a um aumento do torque, melhorando o fator de trabalhabilidade do material.

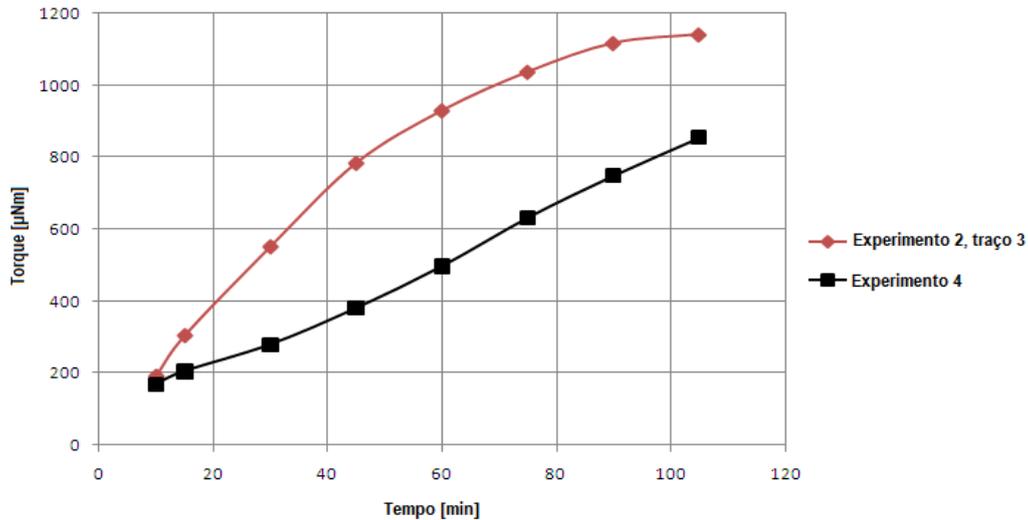


Figura 4.6: Análises reológicas (torque versus tempo) para cada experimento. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

De acordo com a Figura 4.7 da histerese reológica do experimento 2, em comparação com a curva do experimento 4, observou-se que as mesmas possuem em comum o comportamento de fluidos não-newtonianos dependentes do tempo. Estudos da literatura mostram que sistemas constituídos por partículas sólidas em suspensão, dependendo do teor de material incorporado apresentam características de fluidos não-newtonianos dependentes do tempo, podendo apresentar características reopéticas ou tixotrópicas (SANTOS, 1989). Analisando ainda a Figura 4.8, observa-se que a área da histerese reológica do experimento 2 é bastante reduzida em comparação a histerese do “experimento 4”, apresentando também uma diminuição da tensão de cisalhamento ao longo do tempo que é característico de um comportamento tixotrópico. No mesmo gráfico observa-se que na histerese do “experimento 4” ocorre um aumento da tensão de cisalhamento de acordo com o aumento da taxa de cisalhamento no tempo de volta o que é característico de um comportamento reopético.

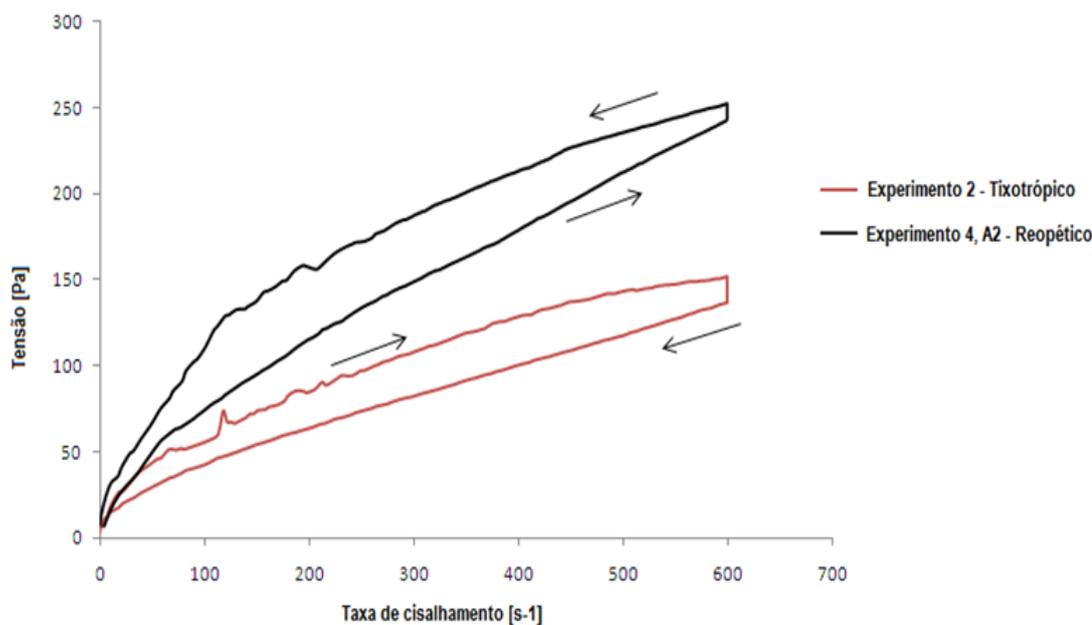


Figura 4.7: Gráfico de Histerese reológica dos traços dos experimentos 2 e 4. Fonte: Laboratório de Reologia; Faculdade de Engenharia Química da UFPA.

Neste contexto o principal fator para a ocorrência da reopexia, observado na argamassa do experimento 4 é que ela possui pouca atividade pozolânica devido a mesma ser constituída em sua grande maioria de partículas finas, descontinuas e inertes (rejeito) e argila, superior a quantidade de aglomerantes, apresentando somente 15% de cinza volante e isenta de cal (CaO), em comparação ao experimento 2.

Estudos da literatura mostram que sistemas constituídos de partículas finas e assimétricas de granulometria variável quando se encontram hidratadas fazem surgir forças de atração entre si favorecendo a formação de aglomerados que aumentam a viscosidade aparente da suspensão, originando o comportamento reopético (OLIVEIRA, 2000).

Quando a cinza volante e a cal estão em grande concentração suas características pozolânicas são mais bem acentuadas conforme mostra o gráfico da histerese do experimento 2. As propriedades pozolânicas, da cinza são devidas a presença de compostos siliciosos ou sílico aluminosos, que apresentam pouco ou nenhum valor aglomerante, porém quando na presença de água ficam disponíveis a reagirem quimicamente com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento, produzindo através da reação química compostos com propriedades aglomerantes, ocorrendo à mudança do comportamento reológico da argamassa.

Outro fator que colaborou para o caráter tixotrópico no experimento 2 foi a

associação das composições de Cinzas Volantes e Cal (CaO).

Partindo-se dos resultados obtidos conclui-se que o uso da cal hidratada em substituição à argila além de melhorar a qualidade da argamassa, evita a degradação do meio ambiente uma vez que a cal hidratada, como os rejeitos de construção e a cinza volante, pode também ser reciclados.

Assim a argamassa referente ao experimento 2 constituída de rejeito de construção civil, cinza volante e cal hidratada passa a ser usada para a confecção das placas taipadas.

4.3 - QUANTO A PROPOSTA INICIAL PARA A EXECUÇÃO DE PLACAS EM FORMA DE TAIPA

4.3.1 - Monitoramento do processo de pega e cura das placas

Após as primeiras 24 horas da fundição das 4 placas a argamassa utilizada já apresentou o estado de pega a uma temperatura de 30°C, passando na sequência à cura e nos primeiros 5 dias (17.09.13) não apresentou qualquer fissura, na superfície superior aparente. (Figura 4.8)



Figura 4.8: Placas, 5 dias após fundição. Foto do Autor (2013).

Decorridos 6 dias (18.09.13) após a fundição, as placas foram molhadas superficialmente, a fim de serem anotadas, após 24 horas, observações a respeito de possíveis fissuras superficiais.

Decorridas as 24 horas foi observado que as placas molhadas na superfície superior não apresentaram fissuras a olho nú, concluindo-se que decorrido este tempo nenhuma anormalidade foi constatada e as placas apresentavam-se em processo de cura.

4.3.2 - Desforma

Após 15 dias da fundição as placas foram desformadas (Figuras 4.9 e 4.10).



Figuras 4.9 e 4.10: Desforma das primeiras placas fundidas e placas desformadas. Foto: Cybelle Miranda (2013).

4.3.3 - Pesagem das placas

Em seguida as placas foram pesadas, onde se constatou que cada uma apresentou em média 5,5 kg. (Figura 4.11).



Figura 4.11: Pesagem da placa. Foto do autor (2013).

4.3.4 - Ensaio de resistência à compressão das placas

Foram executados os ensaios de resistência à compressão de duas placas, após a cura de 28 dias, no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil da UFPA com o equipamento da marca Amsler, que mede a compressão em kgf/cm^2 .

As placas 1 e 2 ensaiadas resistiram à compressão conforme as Figuras 4.12 e 4.13, 4.14 e 4.15 respectivamente apresentando valores de resistência à compressão expressos na Tabela 4.23.



Figuras 4.12 e 4.13: Ensaio da placas 1. Fotos: Amanda Farias (2013).



Figuras 4.14 e 4.15: Ensaio da placa 2. Fotos: Amanda Farias(2013)

Tabela 4.23: Ensaio de compressão das placas. Concebido pelo autor (2014).

Placa (P)	Resistência a Compressão das Placas	
	Kgf/cm ²	MPa
P 01	300	29,42
P 02	0	0

O resultado do ensaio de resistência à compressão das placas deixou claro que o taipamento em dutos de PVC contribuem para o aumento da resistência das mesmas e que a melhoria na resistência da argamassa propiciará melhores resultados às placas. O fato da placa 2 sofrer fraturas imediatas, deve-se ao aparecimento de espaços vazios interiores (“brocas”)³, ocasionados pela reduzida vibração no momento do enchimento das formas. Nota-se ainda que a placa 2 não apresenta-se com a estrutura taipal deformada tanto quanto a estrutura da placa 1, ficando evidente a fragilidade causada pelas prováveis “brocas” no interior material cerâmico.

Durante o ensaio de compressão observou-se que os dutos constituintes da estrutura taipal ao receberem carga vertical sofrem imediata flambagem, impulsionando a argamassa que recobre a estrutura taipal no sentido das superfícies das placas provocando fraturas no centro das mesmas.

Observou-se no manuseio e transporte das placas que as mesmas apresentam fragilidade na argamassa, gerando constantes fraturas que implicam na necessidade de maior dureza no material cerâmico.

Considerando-se que o compósito argamássico constituído de rejeito de construção civil sílico-aluminoso, cinza volante e cal hidratada não apresentaram dureza necessária a partir do manuseio e transporte e que embora sua resistência à compressão tenha sido satisfatória, foi necessário um novo experimento no qual a adição de outro material possa contribuir como material ligante, propiciando uma melhor aglomeração e resistência às placas. Desta forma foi determinada a opção ao uso do cimento Portland.

4.4 - QUANTO A PROPOSTA FINAL PARA A EXECUÇÃO DE PLACAS EM FORMA DE TAIPA

Após a cura de 28 dias sob temperatura de 28°C, efetivam-se os ensaios das placas taipadas a fim de dimensionar-se sua resistência à compressão, resistência à flexão e conexão entre si.

4.4.1 - Ensaio de compressão

O ensaio de compressão, conforme as Figuras 4.16 a 4.18 foi realizado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará com o equipamento da

³ Vazios no interior do material cerâmico.

marca Amsler, que mede a compressão em kgf/cm² apresentando os resultados conforme Tabela 4.24.



Figuras 4.16 a 4.18: Ensaio de compressão das placas 1, 2 e 3. Fotos: Ruan Lopes(2014).

Tabela 4.24: Ensaio de compressão das placas. Concebido pelo autor(2014).

Placa (P)	Resistência a Compressão das Placas	
	Kgf/cm ²	MPa
P 01	1600	156,86
P 02	2000	196,08
P 03	2000	196,08

Observou-se que no ensaio de compressão a placa 01 fraturou ao atingir a resistência máxima de 156,86 Mpa, enquanto que as placas 02 e 03 resistiram à compressão de 196,06 MPa. Este fato decorreu possivelmente pelo desnivelamento da placa 01, ao ser posicionada no equipamento de ensaio, sendo possível, porém que tenha havido alguma irregularidade no interior da placa no momento de sua confecção, como por exemplo um vazio (bôlha), na estrutura cerâmica ou desajuste da conexão interna dos dutos taipais.

4.4.2 - Ensaio de flexão simples

No ensaio de flexão simples, realizado no laboratório de Engenharia Civil da UFPA foram submetidas três placas (4, 5 e 6) conforme as Figuras 4.19 a 4.21. Nestes ensaios foram apresentados os resultados que são demonstrados na Tabela 4.25.



Figuras 4.19 a 4.21: Ensaio de flexão simples das placas 4, 5 e 6. Fotos: Bianca Barbosa (2014).

Tabela 4.25: Ensaio de flexão simples das placas. Concebido pelo autor(2014).

Placa (P)	Flexão simples	
	Kgf/cm ²	MPa
P 04	160	15,68
P 05	160	15,68
P 06	160	15,68

Ao serem ensaiadas as referidas placas, ficou confirmado a regularidade das mesmas visto que ao serem submetidas aos ensaios em questão, todas resistiram à 15,68 MPa.

Observou-se que as fraturas das placas apareceram na direção dos dutos internos, com possível decorrência da proximidade dos limites das superfícies externas das placas em relação às superfícies externas dos dutos, equivalente a 01 cm.

Todas as placas apresentaram fraturas com mesmas características, em que há o surgimento de fissuras longitudinais na direção do duto central.

Assim, observa-se que os pontos de maior fragilidade das placas taipadas propostas situam-se nas direções dos dutos estruturais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

O Estado do Pará possui produção mineral com processamento relativamente recente e projetando-se para o futuro por muitas décadas, cabendo portanto estudos mais aprofundados, não só no que diz respeito à verticalização econômica e industrial destes minerais, como no aproveitamento dos rejeitos decorrentes da industrialização e seus fluxos de produção.

A indústria da construção civil, que em grande parte desenvolve-se de maneira tradicional, apresenta-se como fonte geradora de diversos tipos de rejeitos, dentre os quais os sílico-aluminosos, que ocupam um grande volume, de modo que sua reciclagem pode propiciar novos materiais de construção como argamassas e produtos prontos para serem utilizados na construção civil, como materiais de vedação entre outros.

Ressalta-se que com o avanço constante da ciência e da tecnologia, os rejeitos industriais passam a ser aproveitados e não desperdiçados.

Os estudos de novos compósitos argamássicos, envolvendo rejeitos da indústria siderúrgica e da construção civil, bem como outros produtos industrializados, promoverá o surgimento de diversos materiais para uso na própria construção, como também aliviará o acúmulo de lixo que polui e ocupa espaços nos territórios urbanos.

Com os experimentos realizadas neste trabalho, que resultaram em propostas de novas argamassas e construção de placas destinadas à confecção de painéis utilizáveis na Arquitetura contemporânea, enfatizou-se o reaproveitamento e a reciclagem, acreditando-se, desta forma, que o produto final (placas taipadas) lançado é inovador e contribui com o desenvolvimento da Engenharia e Arquitetura, além da melhoria da qualidade de vida nas regiões industrializadas e nas cidades.

Assim:

- O reaproveitamento de resíduo da construção civil se configura como uma alternativa para a produção de material agregado em argamassas.
- O uso de compostos de cálcio em argamassas é de grande importância para a melhoria de propriedades reológicas e físicas, no que concerne ao tempo de cura e à resistência a compressão.

- O uso da cal apagada evidencia-se de extrema importância para que as argamassas apresentem melhores propriedades físicas como a de flexibilidade, o que não ocorre na maioria dos materiais cerâmicos sem o uso da cal.
- O uso da cal apagada propicia também o aumento da viscosidade da argamassa com o passar do tempo de pega, contribuindo para a cura em tempo menor.
- As cinzas volantes contribuem para maior resistência mecânica das argamassas além da proteção contra a oxidação do aço nos concretos.

-Após os ensaios realizados nas placas referentes à proposta final, decorrente do experimento 04, em que foi usada nova argamassa fabricada segundo o traço 01, composto de 70% de rejeito sílico-aluminoso, 15% de cal hidratada, 10% de cinza volante e 5% de cimento Portland, chegou-se a conclusão que a resistência das placas apresentou vertiginoso aumento, considerando que na proposta inicial as placas confeccionadas com argamassa sem a presença do cimento, ao serem ensaiadas quanto à compressão, apresentaram resistência de 29,42 MPa, enquanto que as novas placas (experimento final) apresentaram resistência à compressão de 156,86 até 196,08 MPa.

Tomando como referência o valor mínimo acrescido na resistência à compressão das placas, observa-se que as placas referentes à proposta final tiveram um aumento de 533,18% em sua resistência à compressão.

Observa-se desta forma que a inclusão do cimento Portland na argamassa final acrescentou à placa a resistência desejada e desta maneira melhorou a sua dureza quanto ao manuseio, transporte e articulação necessária à confecção de painéis

5.2 - SUGESTÕES

Para futuros trabalhos apresentamos como sugestões:

- Concepções de novas argamassas cerâmicas, tendo em suas composições materiais poliméricos ou outros rejeitos, além da cinza volante, da cal hidratada e dos sílico-aluminosos.

- Novas composições de traços, para a concepção de novas placas com resistências compatíveis a maiores dimensões e formas variadas, podendo ser compostas com desenhos alternativos, bem como destinarem-se a novos usos.

- Produção de revestimentos para pisos e coberturas a partir dos componentes propostos na confecção das placas taipadas.

- Estudos das argamassas, com o emprego do componente básico das

argamassas tradicionais – a Cal – para propostas de novos compósitos como alternativa de uso, nas reposições de paredes danificadas, construídas na técnica da taipa de mão.

- Montagens de painéis divisórios propiciando ambientes internos e externos flexibilizados, bem como para a construção de edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12653/92: Materiais Pozolânicos*. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água*. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13280: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido*. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13281: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6150/80: Eletrodutos de PVC rígido*. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6150: Eletroduto de PVC rígido*. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6220: Materiais refratários densos conformados — Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida*. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7175: Cal Hidratada para Argamassas*. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento*. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7211: Agregados para concreto – especificação*. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR: 5732: Cimento Portland Comum*. Rio de Janeiro, 1991.

ADRIANO, D. C.; PAGE, A. L.; ELSEEWI, A. A.; CHANG, A. C.; STRAUGHAN, I. **Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review.** J. Environm.Qual., v. 9, n. 3, p. 333-334, 1980.

AMDA - Associação Mineira de Defesa do Ambiente. Projetos. Ciclo de Vida do Cimento. Disponível em: <<http://www.amda.org.br/?string=interna-projetos&cod=28>>. Acesso em: 18 mar 2014.

AMORIM, L.V.; PEREIRA, A.S.G.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. **Reciclagem de Rejeitos de Cerâmica Vermelha e da Construção Civil para Obtenção de Aglomerantes Alternativos.** Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 5, n.4, 2000. Disponível em:

<http://ceramicaindustrial.org.br/search.php?f=2&search=v5n4&match=2&date=0&flda_uthor=1&fldsubject=1>. Acesso em: 3 jul. 2013.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** PCC – Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP. São Paulo, S.D. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO Brasileira dos Fabricantes de Materiais para Saneamento. **Eletródutos Plásticos para Sistemas Elétricos de Baixa Tensão em Edificações. Relatório do Programa Setorial de Qualidade, TESIS Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia LTDA.** São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_simac_psq2.php?id_psq=89>. Acesso em: 25 jun. 2013.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do ciclo de vida na construção civil: Um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto.** 2012. 122f. Dissertação (Programa de pós-graduação em construção civil) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte. 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS8XVK6S/dm___felipe_2012_rev02.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 jan 2014.

CARASEK, Helena. Argamassas In: ISAIA, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/51713185/Argamassas-Ibracon>>. Acesso em: 18 out. 2013.

CARVALHO, R. N. F. M.; BARTOLOMEU, A. O; MENDES, A. N. M. M; MORAES, C. G; SANTOS, D. H; OLIVEIRA, D. S.; SOUZA, J. A. S. **Caracterização física e química de uma argila da margem do Rio Guamá.** 12º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia. Ago. 2011. (Apresentação de Pôster).

CARVALHO, Ronaldo Marques de. **Diretrizes Metodológicas Projetuais e Construtivas para Habitação Unifamiliar tendo a Cobertura como primeira etapa.** 145 p. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências da Arquitetura). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, Ronaldo Nonato Ferreira Marques de; CASTRO, Keylla Ferreira; GONÇALVES, Silvane Gonçalves; BESSA, Brena Tavares; SOUZA, José Antonio da Silva; QUARESMA, D. S. **Sustentabilidade na construção civil: reaproveitamento de Rejeitos argilo-minerais da construção civil para produção de argamassas.** 57º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. Natal –RGN, mai. 2013.

CEOTTO, Luiz Henrique; BANDUK, Ragueb C; NAKAKURA, Elza Hissae. **Revestimentos de Argamassas: Boas práticas em Projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. (recomendações técnicas Habitare, V.1) 96 p.

CHENGALA, Xiaosu; CHEN, Qian. **Analysis on the Preparation and Microstructure Characteristics of Cinder Based Ceramics.** In: International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment, 2011, Shanghai. Anais. Shanghai, 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5930546&tag=1>. Acesso em: 12 abr. 2013.

CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. DOU de 17 fev 1986.

CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. DOU nº 136 de 17 jul 2002, p. 95-96.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos A. C. **Dicionário da Arquitetura Brasileira.** São Paulo: EDART, 1972.

CORREIA, Mariana. **Taipa no Alentejo.** Dissertação de DPEA, Argumentum: Portugal, 2000.

COSTA, Irio Barbosa da MESQUITA, Helena Maria. **Tipos de Habitação Rural no Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

COSTA, Jordaine Moreira Costa; VIEIRA, Victor Rodrigues. **Resíduos de construção civil: Gerenciamento dos resíduos de construção e demolição na região metropolitana de Belém.** 2014. 121f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CRIADO, M.; PALOMO, A.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; BANFILL, P. F. G., Alkali Activated Fly Ash: Effect of Admixtures on Paste Rheology. *Rheologica Acta*, V. 48, No. 4, 2009, pp. 447-455.

DREW, Philip. **Tercera generación. La significación cambiante de la arquitectura.** Barcelona, Gustavo Gili, 1973.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo Comparativo entre Traços de Argamassa de**

Revestimento Utilizados em Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Porto Alegre, 2000.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: EPA. **Characterization of building:** Related construction and demolition debris in the United States. Report n. EPA 530-R-98-010 Monografia on-line. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/generation/sqg/cd-rpt.pdf>>. Acessado em: 29 de maio de 2014.

FABRICAÇÃO DO PVC. Disponível em: <<http://www.institutodopvc.org/publico>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

FARO, Maria Claudia da Silva; SILVA, Ruth Helena Almeida da. **A Influência da Imigração Alemã na Arquitetura Eclética em Mosqueiro: o caso “Canto do Sabiá”.** Trabalho final de graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, 2000.

FERNANDES, Maria. **Técnicas de construção em Terra.**In. JORGE, Felipe. Terra: Forma de Construir – Arquitectura, antropologia, arqueologia – 10º Mesa-Redonda de Primavera. Argumentum: Portugal, 2006.

FERREIRA, M. M.; VARAJÃO, A. F. D. C.; MORALES-CARRERA, A.M.; PERALTA-SÁNCHEZ, M. G.; COSTA, G. M. da. **Transformações mineralógicas e cristal químicas decorrentes dos ensaios termais em argilas caulínicas ferruginosas.** Cerâmica, São Paulo, v.58, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n345/17.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2012.

FERRET, Lizete Senandes. **Zeólitas de cinzas de carvão: síntese e uso.** 139 p. Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 2004.

FLORINDO, Renata Nóbrega. **Estudo da reação álcali-silica em concretos através de ressonância magnética nuclear de alta resolução.** 146 p. São Carlos, 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências- Física Básica). Universidade de São Paulo, Instituto de Física, 2009.

GOMES, Mario Varela. **Arquitetura de Terra na Proto-História do Sul de Portugal.** In. JORGE, Felipe. Terra: Forma de Construir – Arquitectura, antropologia, arqueologia – 10º Mesa-Redonda de Primavera. Argumentum: Portugal, 2006.

GOMES, Rosa Varela. **Arquitetura civil e militar de taipa, no Barlavento Algarvio (séculos XII-XIII)** In. JORGE, Felipe. Terra: Forma de Construir – Arquitectura, antropologia, arqueologia – 10º Mesa-Redonda de Primavera. Argumentum: Portugal, 2006.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos; GOMES, Rubens Donizeti; SEABRA, Mauro Adamo. **Guia das Argamassas nas Construções: construindo para sempre com cal hidratada.** São Paulo: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2004.

IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. **Materiais de Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2005. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2013.

INO, Akemi; LOPES, Wilza Gomes Reis. **Aspectos construtivos da Taipa de Mão, 2003**. Disponível em: http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0087.pdf. Acesso em: 27 ago. 2012.

JENKS, C. & BAIRD, G. **El Significado em Arquitectura**. Madrid: Hermann Blume, 1975.

KOUKOUZAS, Nikolaos; KETIKIDIS, Chrisovalantis; ITSKOS, Grigorios; SPILOTIS, Xenophon; KARAYANNIS, Vayos; PAPAPOLYMEROU, Georgios. **Synthesis of CFB-Coal Fly Ash Clay Bricks and Their Characterisation. Waste and Biomass Valorization**.v.2, n.1, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12649-010-9055-1>>. Acesso em: 27 abr. 2012.

LARAIA, Roque de Barros. **Cultura, um conceito antropológico**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

LES PROCÉDÉS SIGMA. Neuilly-sur-Seine – FR : Edition Méthodes, nov. 1975. (Catálogo técnico)

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projeto de Instalações Elétricas e Prediais**. São Paulo: Editora Érica, 2001.

LUCAS, Eduardo Felipe Alves; CARANASSIOS, Adriano; BORLINI, Mônica Castoldi. **Estudos preliminares de Caracterização da Argila do Vale do Mulembá – ES**. In: XV Jornada de Iniciação Científica 15. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/646?show=full>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

MANTUANO NETTO, Rafael. **Materiais Pozolânicos**. Belo Horizonte, 2006. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2006.

MARTINS, Jorge Luiz. **Aproveitamento de cinza de carvão mineral na agricultura**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MONTENEGRO, Gildo A. **A invenção do projeto**. São Paulo, Edgard Blücher, 1987.

NENO, Catarina Jesus Freire. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão**. Lisboa, 2010. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa. Dezembro 2010.

OLIVEIRA, I.; STUDART, A.; PILLEGI, R., PANDOLFELLI, V. **Dispersão e em pacotamento de partículas – Princípios e aplicações em processamento cerâmico**. 18ª ed. São Paulo, Fazendo Arte, 2000.

PELEGRINI, Sandra; FUNARI, Pedro Paulo. **O que é Patrimônio Cultural Imaterial**. São Paulo: Brasiliense, 2008. (Coleção Primeiros Passos, 331).

PEREIRA, Catarina Saraiva. **Taipeiros, construção com Terra e relação com a Natureza**. In. JORGE, Felipe. **Terra: Forma de Construir – Arquitectura, antropologia, arqueologia – 10º Mesa-Redonda de Primavera**. Argumentum: Portugal, 2006.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: a arquitetura de terra**. *Revista Sinergia*. volume 5, n. 1, p. 09-15. São Paulo, 2004.

POLITO, Giulliano. **Avaliação da Introdução de Cal Hidratada nas Argamassas Aplicadas Sobre Blocos Cerâmicos e sua Influência no Desempenho e Morfologia**. Belo Horizonte, 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

POON, C.S.; CHAN, D. **The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong**. *Resources, Conservation and Recycling*, N°.50, p. 293-305, 2007. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344906001480>>. Acesso em: 29 mai. 2014.

RAO, Akash; JHA, Kumar. N.; MISRA, Sudhir. **Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete**. *Resources, Conservation and Recycling*, N°.50, p. 71-81, 2007. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344906001315>>. Acesso em: 29 mai. 2014.

RAKSHVIR, Major; BARAI, Sudhirkumar V. **Studies on recycled aggregates based concrete**. *Waste Management & Research*, vol. 24, p. 225 – 233, 2006. Disponível em <<http://wmr.sagepub.com/content/24/3/225.long>>. Acesso em: 29 mai. 2014.

ROCHA, Miguel. **A Terra na Arquitectura**. In. JORGE, Felipe. **Terra: Forma de Construir – Arquitectura, antropologia, arqueologia – 10º Mesa-Redonda de Primavera**. Argumentum: Portugal, 2006.

ROHDE, G. M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SIILVA, N. I. W. **Cinzas de carvão fóssil no Brasil – Aspectos técnicos e ambientais**. Porto Alegre: CIENTEC. V. 1 (202 p), 2006.

ROSSI, Angela Maria Gabriella. **Exemplos de flexibilidade na tipologia habitacional In VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído/ Qualidade no Processo Construtivo**. Florianópolis, 27-30 abr. 1998. p. 211-217.

SANSÃO, Júlia Hallack. **Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias**. 2011. 116f. Dissertação (Programa de pós-graduação em construção civil) – UFMG.

Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8XMM6F>>. Acesso em: 29 jan. 2014.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento**. Belo Horizonte, 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2008.

SANTOS. P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. Ed., Vol. 2. São Paulo: Edgar Blucher, 1989.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 164 p. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, 2006.

SILVA, N. I. Warpechowski da; CALARGE, L. M.; Chies, F.; MALLMANN, J. E.; ZWONOK, O. **Caracterização de cinzas volantes para aproveitamento cerâmico**. *Cerâmica*, São Paulo, v.45, n.296, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036669131999000600004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 mar. 2013.

SIQUEIRA, Jacilene S. de. **Reciclagem de resíduo a partir de cinza de carvão mineral: produção de argamassas**. 92 p. Belém, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, 2011.

SIQUEIRA, J. S; SOUZA, C. A. G; SOUZA, J. A. S. **Reaproveitamento de cinzas de carvão mineral na formulação de argamassas**. *Cerâmica*, São Paulo, v. 58, n.346, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n346/v58n346a20.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2013.

SOKOLAR, Radomir; VODOVA, Lucie. **The effect of fluidized fly ash on the properties of dry pressed ceramic tiles based on fly ash-clay body**. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884211003774>>. Acesso em: 27 abr. 2012.

SOUZA, Silvério Rosa de. **Elementos de Análise para gestão de Processo e Desempenho de Produtos em Sistemas Construtivos: Estudo de Caso com Sistemas que Adotam Perfis Auto-Encaixáveis de PVC e Concreto**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 2005.

STROETER, João Rodolfo. **Arquitetura e teorias**. São Paulo: Nobel, 1986.

TEODORO, Nuno Filipe Godinho. **Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: reciclagem e reutilização de materiais**. 2011. 79f. Dissertação (mestrado) - Instituto superior técnico, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/2589871446276/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2014.

TONICELO, Roberta Helena dos Santos; ANTUNES, Douglas Ladik. **Estudo dos**

materiais a partir de seus ciclos de vida: um olhar sobre as consequências ambientais de seus empregos no design. S.D. Disponível em: <http://www.ceart.udesc.br/revista_dapesquisa/volume2/numero1/design/pdf>. Acesso em: 29 jan. 2014.

VIEIRA, C.M.F.; PINHEIRO, R.M. **Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha.** Cerâmica, São Paulo, v. 57, n.343, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v57n343/10.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2012.

WALTRICK, Carlos Edson. **Elaboração e Caracterização de compósitos para a Construção Civil a Base de resíduos de Argamassa, Entulho e Cal Residual.** Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano do Setor de Tecnologia). Universidade Federal do Paraná, 2010.

ZEVI, Bruno. **A linguagem moderna da Arquitectura.** Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1984.