



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL

Rayanderson Saraiva de Souza

**ARGAMASSAS PRODUZIDAS A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO MIÚDO PELO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DA
SCHEELITA E DA ÁGUA DE HIDRATAÇÃO POR MANIPUEIRA**

Natal

2019

Rayanderson Saraiva de Souza

**ARGAMASSAS PRODUZIDAS A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO MIÚDO PELO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DA
SCHEELITA E DA ÁGUA DE HIDRATAÇÃO POR MANIPUEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Acchar

Coorientador: Prof. Dr. Vamberto Monteiro da Silva

Natal

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Souza, Rayanderson Saraiva de.

Argamassas produzidas a partir da substituição do agregado miúdo pelo resíduo do beneficiamento da scheelita e da água de hidratação por manipueira / Rayanderson Saraiva de Souza. - 2019.

127f.: il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Natal, 2019.

Orientador: Dr. Wilson Acchar.

Coorientador: Dr. Vamberto Monteiro da Silva.

1. Argamassa - Dissertação. 2. Resíduo - Dissertação. 3. Scheelita - Dissertação. 4. Manipueira - Dissertação. I. Acchar, Wilson. II. Silva, Vamberto Monteiro da. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

RAYANDERSON SARAIVA DE SOUZA

**ARGAMASSAS PRODUZIDAS A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO MIÚDO PELO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DA
SCHEELITA E DA ÁGUA DE HIDRATAÇÃO POR MANIPUEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

– Prof. Dr. Wilson Acchar, UFRN

– Prof. Dr. Vamberto Monteiro Da Silva, IFPB

– Profa. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques, IFAL

– Profa. Dra. Andreza Kelly Costa Nobrega, UFERSA

Natal, 29 de novembro de 2019.

Dedico ao único Deus, nosso Salvador, por Jesus Cristo nosso Senhor, glória, majestade, domínio e poder, antes de todos os séculos, e agora, e para todo o sempre. Amém.

Judas 1.25

AGRADECIMENTOS

Não há como iniciar os agradecimentos sem direcionar as palavras a Aquele por quem dia-a-dia tem me cercado de bondade, misericórdia, graça e amor incondicional. Ao Deus de Abraão, Isaque e Jacó, ao criador do universo que se revelou em carne através do seu Filho por meio do qual nos permitiu acesso de volta a Ele se revelando através da sua Palavra. Ao único, verdadeiro e eterno Deus agradeço por mais essa etapa concluída.

Através dessa bondade pessoas são colocadas em nosso caminho para nos fazer permanecer caminhando e jamais desistir. Assim agradeço de forma especial ao meus pais, Antônio e Rivadavia que sempre investiram e acreditam em mim mesmo quando tudo parecia não ser capaz, amo vocês. Minhas irmãs Raissa e Rayane que são de fato presentes e amigas, investiram demais em mim e sempre estiveram na primeira fila para torcer em meu favor, o que seria sem vocês?! Minha sobrinha Aninha, que nasceu no meio desse processo e veio como um rico de Deus à nossas vidas para trazer leveza a caminha.

Meu obrigado a minha namorada, Sarah, que esteve como uma grande incentivadora, auxiliadora e apoiadora em todo o processo e sempre me trouxe conforto para prosseguir e não parar, ajudando a entender que tudo tem o seu tempo.

Sem dúvidas não posso deixar de citar os amigos tanto os que nos acompanham de longas datas quanto aos formados nessa trajetória. Obrigado a Analígia, Allan, Deizinha, Débora, Jemima, Jeniffer, Maelson, Maria Cecília, Tiago, Anderson, Juliana, Carol, Wesley, Luane que o PEC me proporcionou a honra de conhecer e caminhar juntos, vocês são demais.

Os amigos formados no grupo de pesquisa do LAPFMIC, a Jonathan, Ricardo, João Batista, Hugo, Sérgio, Paulo, Luana, Larissa, Antônio, Ana Paula, Anna Karla, Sheyla, Arielle e João.

Agradeço a UFRN, instituição que me enche de orgulho;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela oportunidade fornecida e realizações ao longo do programa. A Viviane, sempre disposta a nos ajudar nas burocracias.

Agradeço a Sandro e seus bolsistas Renan e Débora que me ajudaram bastante nos ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil. Justamente com eles agradeço ao bolsista Emerson que também contribuiu para a pesquisa.

Aos técnicos Igor e Carla, do laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais pelas análises de DRX, FRX e MEV.

Ao Laboratório de Cimentos pelo apoio em alguns ensaios;

Ao meu diretor, Jair Leite, por toda compreensão, apoio e aos colaboradores da Diretoria de Projetos/IMD.

Ao meu orientador Wilson Acchar, pela compreensão, apoio e confiança. Ao meu coorientador Vamberto Monteiro pela assistência, doação, investimento e chocolates (rsrsrs) que ajudaram a desenvolver todo o trabalho.

À Capes pela concessão de bolsa durante a realização desse trabalho;

Enfim, agradeço a todos que participaram da construção desse trabalho e que sem sua contribuição não seria possível, você faz parte dessa trajetória!

Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre ombros de gigantes.

Isaac Newton

ARGAMASSAS PRODUZIDAS A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO PELO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DA SCHEELITA E DA ÁGUA DE HIDRATAÇÃO POR MANIPUEIRA

Rayanderson Saraiva de Souza

Orientador: Prof. Dr. Wilson Acchar

Coorientador: Prof. Dr. Vamberto Monteiro Da Silva

RESUMO

Argamassas são misturas homogêneas compostas por agregado miúdo, aglomerante e água, sendo um dos materiais mais consumidos pela indústria da construção civil. Os agregados representam de 60 a 80% do consumo de materiais nas argamassas, além de elevado consumo de água tratada. Nesse sentido, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para substituir os materiais constituintes por resíduos que contribuam com as propriedades das argamassas, reduzam o consumo dos bens naturais finitos e apresentem uma destinação para esses produtos. Por sua vez, o Rio Grande do Norte (RN) apresenta elevados índices de comercialização de minerais, como tungstênio que é encontrado no minério de scheelita. No Brasil, os principais depósitos de minério de scheelita estão localizados na Província Scheelitífera do Seridó (RN). O processo de beneficiamento da scheelita produz cerca de 18.000m³ de resíduos/ano (fino e grosso). Por outro lado, o processo de beneficiamento da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) também produz alguns resíduos, como a manipueira, um líquido de aspecto leitoso com alto teor de ácido cianídrico e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que escorre das raízes da mandioca durante o processo de prensagem para a obtenção de fécula (amido) ou para a produção de farinha. O Brasil é o quarto maior produtor de mandioca (21,08 milhões de toneladas) e estima-se a produção de manipueira na proporção de 3:1, no qual para cada 3 kg de raízes de mandioca prensada, 1 litro de manipueira é gerado. Ambos os resíduos carecem de tecnologia para seu aproveitamento e diminuição dos impactos ambientais, como degradação visual da paisagem, do solo, do relevo, poluição do ar e contaminação do lençol freático. Dessa forma, foram analisadas argamassas de assentamento com substituição do agregado miúdo pela composição do resíduo de scheelita (fino e

grosso) e da água de hidratação por manipueira. Foi realizada a caracterização dos resíduos e materiais para sua utilização em argamassa nos traços de 1:3 (cimento: agregado) e 1:1:6 (cimento: cal: agregado), em volume. Em seguida, as argamassas foram analisadas quanto a suas propriedades no estado fresco (consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água) e endurecido (resistência à tração, à compressão, absorção por imersão, absorção por capilaridade, densidade aparente e módulo de elasticidade dinâmico), além de análises de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura). Os resultados demonstraram que o ajuste granulométrico do resíduo da scheelita permitiu o aumento da densidade das argamassas e em conjunto com a manipueira possibilitaram o aumento do desempenho das argamassas, quanto a absorção capilar e plasticidade. A manipueira favoreceu a melhor hidratação do cimento quanto a produção de CSH e CASH, permitindo um material mais denso e com melhores resistências mecânicas. Os melhores resultados foram obtidos para a composição com cimento, resíduo de scheelita e manipueira, demonstrando ser um material promissor para a indústria da construção civil.

Palavras-chave: argamassa, resíduo, scheelita, manipueira.

**MORTAR PRODUCED FROM THE SUBSTITUTION OF THE FINE
AGGREGATE BY RESIDUE OF THE SCHEELITE AND THE WATER OF
HYDRATION BY CASSAVA WASTEWATER**

Rayanderson Saraiva de Souza

Advisor: Prof. Dr. Wilson Acchar

Co-advisor: Prof. Dr. Vamberto Monteiro Da Silva

ABSTRACT

*Mortars are homogeneous mixtures between fine aggregate, binder and water, being one of the materials most consumed by the construction industry, presenting main uses in masonry laying and coating. Aggregates account for 60 to 80% of material consumption in ready-mixed mortars, in addition to high consumption of treated water. In this sense, research has been developed to replace the constituent materials with residues that contribute to the properties of the mortars, reduce the consumption of the finite natural resources and present a destination for the residues. In this scenario the Rio Grande do Norte (RN) presents high levels of commercialization of minerals, such as tungsten that is found in the ore of scheelite. In Brazil, the main scheelite ore deposits are located in the Província Scheelitífera do Seridó. The process of beneficiation of the scheelite produces about 18,000m³ of waste/year (fine and coarse). On the other hand, the cassava processing process (*Manihot esculenta* Crantz) also produces some residues, such as cassava wastewater, a milky-looking liquid that flows from the roots of cassava during the pressing process to obtain starch or for the production of flour. This liquid has high content of hydrocyanic acid and high biochemical oxygen demand (BOD). Brazil is the fourth largest producer of manioc (21.08 million tons) and it is estimated the production of cassava wastewater in the proportion of 3: 1, in which for every 3 kg of manioc roots pressed, 1 liter of cassava wastewater. Both residues lack technology for their use and reduction of environmental impacts, such as visual degradation of landscape, soil, relief, air pollution and groundwater contamination. In this way,*

mortars for bricklaying will be analyzed with replacement of the fine aggregate by residue of scheelite (fine and coarse) and water of hydration by cassava wastewater. The residues and materials will be characterized for use in mortar in the proportion of 1: 3 (cement: aggregate) and 1: 1: 6 (cement: lime: aggregate), in volume. Afterwards, mortars will be analyzed for their freshness properties (consistency, mass density, entrained air content and water retention) and hardened (tensile strength, compression, immersion absorption, capillary absorption, bulk density and dynamic modulus of elasticity), as well as MEV analyzes to verify its technical feasibility of substitution. The expected results are the obtaining of properties, using the residues, with values within those expected for use as mortar for bricklaying.

Keywords: mortar, residue, scheelite, cassava wastewater.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE TABELAS	xix
CAPÍTULO 1	21
Introdução	21
1.1 Objetivos	24
1.1.1 Objetivo geral	24
1.1.2 Objetivos específicos	24
CAPÍTULO 2	25
Fundamentação teórica.....	25
2.1 Contextualização da mineração no mundo	25
2.2 A mineração no Rio Grande do Norte	26
Tabela 1 – Produção Bruta de minério.....	27
Fonte: DNPM (2017).	28
2.3 Scheelita.....	28
2.3.1 Mina Brejuí.....	29
2.3.2 Beneficiamento da scheelita	30
2.4 Manipueira.....	35
2.5 Argamassa	40
2.5.1 Materiais constituintes da argamassa	44
2.5.1.1 Cimento Portland	44
2.5.1.2 Cal	45
2.5.1.3 Agregado miúdo.....	46
2.5.1.4 Água de hidratação.....	47
2.5.2 Propriedades das argamassas no estado fresco	48
2.5.2.1 Trabalhabilidade	48
2.5.2.2 Consistência e plasticidade.....	49
2.5.2.3 Retenção de água.....	50
2.5.2.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado	51
2.5.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido	53
2.5.3.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido	53
2.5.3.2 Resistência mecânica à compressão e tração.....	53

2.5.3.3	Capacidade de absorver deformações	55
2.5.3.4	Permeabilidade – coeficiente de capilaridade	55
2.5.3.5	Durabilidade	57
2.6	Argamassas produzidas com resíduos	58
2.7	Materiais produzidos com scheelita	68
2.8	Materiais com substituição da água de amassamento	72
CAPÍTULO 3		75
Materiais e Métodos		75
3.1	Materiais	76
3.1.1	Areia	76
3.1.2	Resíduo do beneficiamento da scheelita	76
3.1.3	Cimento	77
3.1.4	Cal	77
3.1.5	Água	77
3.1.6	Manipueira	77
3.2	Métodos	78
3.2.1	Beneficiamento dos materiais	78
3.2.1.1	Beneficiamento da scheelita	78
3.2.1.2	Beneficiamento da manipueira	78
3.2.1.3	Beneficiamento da areia	79
3.2.2	Caracterização dos materiais	79
3.2.2.1	Caracterização da manipueira	79
3.2.2.2	Caracterização dos agregados e aglomerantes	79
3.2.2.2.1	Análise granulométrica	79
3.2.2.2.2	Massa unitária	80
3.2.2.2.3	Massa específica	80
3.2.2.3	Fluorescência de Raios-X (FRX) dos resíduos.	80
3.2.2.4	Difração de Raios-X (DRX) das matérias-primas	80
3.2.3	Formulações	81
3.2.4	Moldagem e cura dos corpos-de-prova	81
3.2.5	Ensaio das argamassas no estado fresco	82
3.2.5.1	Ensaio de consistência das argamassas	82
3.2.5.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	83
3.2.5.3	Retenção de água das argamassas	84

3.2.6	Ensaios das argamassas no estado endurecido	84
3.2.6.1	Densidade de massa no estado endurecido	84
3.2.6.2	Absorção de água por imersão e Índice de vazios	85
3.2.6.3	Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade ..	86
3.2.6.4	Resistência à compressão e à tração na flexão.....	87
3.2.6.5	Módulo de elasticidade dinâmico	87
3.2.6.6	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	88
3.2.6.7	Difração de raios-X (DRX) e Fluorescência de raios-x (FRX) das argamassas.....	88
CAPÍTULO 4		89
Resultados e Discussões		89
4.1	Materiais	89
4.1.1	Areia.....	89
4.1.2	Resíduo do beneficiamento da scheelita.....	90
4.1.3	Manipueira	91
4.1.4	Massas unitárias e específicas	93
4.1.4.1	Agregados.....	93
4.1.4.2	Aglomerantes.....	93
4.1.5	Análise química e mineralógica dos materiais.	93
4.2	Ensaio das argamassas no estado fresco.	94
4.2.1	Ensaio de consistência das argamassas	94
4.2.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	96
4.2.3	Retenção de água das argamassas.....	98
4.3	Ensaio das argamassas no estado endurecido.	99
4.3.1	Densidade de massa no estado endurecido	99
4.3.2	Absorção por imersão e índice de vazios.....	100
4.3.3	Absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade.	102
4.3.4	Resistência à compressão.	103
4.3.5	Resistência à tração.....	107
4.3.6	Difração de raios-x e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). ..	109
4.3.7	Módulo de elasticidade.....	111
CAPÍTULO 5		115
Conclusões.....		115
CAPÍTULO 6		117

Sugestões para trabalhos futuros.....	117
Referências	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Minérios e suas reservas nacionais brasileiras e posição no ranking mundial.....	26
Figura 2 – Valor da produção mineral comercializada no RN.	28
Figura 3 – Localização geográfica do município de Currais Novos no Rio Grande do Norte.....	30
Figura 4 – Fluxograma do beneficiamento da scheelita.	31
Figura 5 – Esteiras de movimentação da scheelita.	32
Figura 6 – Mesas vibratórias.	33
Figura 7 – Parcelas resultantes da mesa vibratória.	34
Figura 8 – Hélice de destinação dos resíduos (A); resíduo de scheelita fina. (B)	34
Figura 9 – Manipueira em tanques.....	36
Figura 10 – Etapas de produção da farinha.	38
Figura 11 – Procedimento experimental.....	75
Figura 12 – Resíduo Grosso e Fino do beneficiamento da scheelita.	76
Figura 13 – Manipueira líquida.	77
Figura 14 – Corpos-de-prova moldados.....	82
Figura 15 – Ensaio para determinação do índice de consistência antes (A) e depois (B) da realização.....	83
Figura 16 – Ensaio para determinação do teor de ar incorporado e densidade de massa, tara do cilindro + tampa (A) e com argamassa (B).	83
Figura 17 – Ensaio para determinação da retenção de água das argamassas.	84
Figura 18 – Corpos-de-prova para ensaio de densidade de massa no estado endurecido.....	85
Figura 19 – Porosidade aparente do corpo-de-prova com manipueira 1:3 (A) e 1:1:6 (B).....	85
Figura 20 – corpos-de-prova submersos no tanque para determinação da absorção de água aos 28 dias.	86

Figura 21 – Realização do ensaio de absorção por capilaridade, detalhadas em (A e B).	86
Figura 22 – Ensaio para determinação da resistência à tração (A) e compressão (B).	87
Figura 23 – Realização do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico.	88
Figura 24 – Distribuição granulométrica da areia.	89
Figura 25– Densidade obtida para diferentes composições do agregado fino e grosso do resíduo do beneficiamento da scheelita.	90
Figura 26 – Distribuição granulométrica do RS.	91
Figura 27 – Difratoograma do resíduo do beneficiamento da scheelita.	94
Figura 28 – Densidade de massa no estado fresco para a proporção de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).....	96
Figura 29 – Teores de ar incorporado para as formulações 1:3 (A) e 1:1:6 (B).	97
Figura 30– Retenção de água para as formulações 1:3 (A) e 1:1:6 (B).	98
Figura 31 – Densidade de massa no estado endurecido para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).....	100
Figura 32 – Absorção por imersão para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).	102
Figura 33 – Índice de vazios para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).	102
Figura 34 – Resistência a compressão para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B) aos 7, 14 e 28 dias.	105
Figura 35– Densidade de massa no estado endurecido <i>versus</i> resistência à compressão aos 28 dias das proporções 1:3.	106
Figura 36– Densidade de massa no estado endurecido <i>versus</i> resistência à compressão aos 28 dias das proporções 1:1:6.	106
Figura 37 – Resistência à tração para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B) aos 7, 14 e 28 dias.....	107
Figura 38 – Densidade de massa no estado endurecido <i>versus</i> resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:3.	108
Figura 39 – Densidade de massa no estado endurecido <i>versus</i> resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:1:6.	108

Figura 40 – Resistência à compressão <i>versus</i> resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:3.....	109
Figura 41 – Resistência à compressão <i>versus</i> resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:1:6.....	109
Figura 42 – Difratoograma de raios-x para a formulação C-RS-H.....	110
Figura 43 – Difratoograma de raios-x para a formulação C-RS-M.	110
Figura 44 – MEV da pasta de cimento e manipueira aos 28 dias.	111
Figura 45– Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).....	112
Figura 46 – Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:3.....	113
Figura 47 – Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:1:6...	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção Bruta de minério.....	27
Tabela 2 - Composição da manipueira apresentada por diversos autores.	39
Tabela 3 - Classificação das argamassas com relação a vários critérios	42
Tabela 4 - Classificação das argamassas segundo suas funções.	43
Tabela 5 – Classes de argamssas conforme retenção de água.....	51
Tabela 6 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.....	51
Tabela 7 - Classificação conforme a densidade de massa no estado fresco. ...	52
Tabela 8 – Classificação das argamassas em função da densidade de massa aparente no estado endurecido.....	53
Tabela 9 – Classificação das argamassas quanto classificações quanto à resistência à compressão.....	54
Tabela 10 – Classificação das argamassas quanto classificações quanto à resistência à tração.	54
Tabela 11 - Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade.	56
Tabela 12 – Porcentagens utilizadas para análise do ajuste granulométrico. ...	78
Tabela 13 – Nomenclatura das composições produzidas.	81
Tabela 14 – Composição química da manipueira líquida.	92
Tabela 15 – Massas unitárias e específicas da areia natural e RS.	93
Tabela 16 – Massa unitária e específica dos aglomerantes.....	93
Tabela 17– Fluorescência de raios-x do cimento, cal e manipueira.....	94
Tabela 18 – Relação (a/c) materiais secos água ou manipueira.....	95
Tabela 19 – Absorção por capilaridade: 10 min (A10), 90 min (A90) e coeficiente de capilaridade das argamassas.....	103

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPC	Associação Brasileira de Produtores de Cal
ANA	Agência Nacional de Águas
CBCA	Cinzas Da Queima Do Bagaço De Cana-De-Açúcar
CH	Cal hidratada
Conab	Companhia Nacional de abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção de Minério
DRX	Difração por raios X
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FRX	Fluorescência de raios X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Megapasca
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PMB	Produção Mineral Brasileira
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RN	Rio Grande do Norte
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

CAPÍTULO 1

Introdução

Argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, que pode ser ainda dosada em obra ou em instalação própria, como é o caso de argamassas industrializadas (NBR 13281, ABNT 2005). A argamassa é um dos materiais mais consumidos pela indústria da construção civil. Apresentam uso, principalmente, como assentamento das alvenarias e no revestimento, como emboço, reboco ou ainda camada única (CARASEK, 2010).

Por outro lado, o consumo em argamassas, dos agregados representam de 60 a 80% do consumo de materiais da argamassa pronta (CARASEK, 2010). Quando analisado o consumo de agregados, o consumo mundial de agregados corresponde a cerca de 2/3 de todo o minério produzido no planeta. No Brasil, o consumo per capita, ainda no ano de 2014, correspondeu a 5,7 milhões de toneladas (ANEPAC, 2014). O processo de obtenção dos agregados produz impactos ambientais como a degradação visual da paisagem, do solo, do relevo, poluição do ar e contaminação do lençol freático (DIAS, 1999).

Quando analisada a produção mineral, o Brasil apresenta elevada participação mundial nas reservas de minérios, com destaque para as reservas de grafita natural (31,4%), Tântalo (33,5%), manganês (30,1%) e com destaque para o Nióbio, o qual representa 98,01% da reserva mundial, tendo participação na produção com 93,7% (DNPM, 2016).

Por sua vez, quando analisado o valor da participação mineral comercializada, o RN comercializou R\$ 454.449.834,00; sendo destacado o valor comercializado de Sal (R\$ 296.800.000,00), Rochas Ornamentais (R\$ 40.856.826,00) e Tungstênio (R\$ 30.016.237,00), conforme DNPM (2017).

O tungstênio, representado pelo símbolo W, é um elemento químico metálico considerado um entre os elementos mais raros da crosta terrestre. Apresenta elevada densidade, cerca de 19,3 g/cm³, elevado ponto de fusão (3.419°C) e elevado ponto de ebulição, 5.927°C. Apresenta ainda características como dureza elevada, resistência ao desgaste e a corrosão, boa condutibilidade de calor e eletricidade (CANO, COSTA e NESI, 2009). Existem 20 minerais que contém tungstênio, entre eles a scheelita. No Brasil os principais depósitos estratiformes de minério de scheelita estão localizados na Província Scheelitífera do Seridó, na região Seridó dos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no nordeste brasileiro, detendo a maior reserva nacional (DNPM, 2016).

Nesse cenário, destaca-se a Mina Brejuí considerada a maior mina de scheelita da América do Sul (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2019). A mina realiza o beneficiamento do minério de scheelita, afirmando que os fatores ambientais mais afetados na extração de scheelita estão relacionados ao solo (erosões), flora (abertura de acessos e picadas), ar (britagem e detonações), poluição sonora (martelotes pneumáticos), gases (ustulação da pirita) e alterações estéticas da paisagem (pilhas de rejeito) (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2019).

O processo de beneficiamento de scheelita na mina apresenta, aproximadamente, 50m³ de resíduos produzidos diariamente, 365 dias/ano, totalizando cerca de 18.000 m³ de resíduos/ano. Além disso, estima-se que cerca de 99,2% do material extraído é desperdiçado (GERAB, 2014), sendo um resíduo acumulado em duas frações, grossa e fina, no qual são amontoadas como dunas, existindo cerca de 4,5 milhões e 2,5 milhões da fração grossa e fina respectivamente (PAIVA, 2013).

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, conforme Viana (2002), é uma planta tropical perene e lenhosa, adaptada a solos de baixa fertilidade, podendo ser propagada por estacas ou sementes. A manipueira, por sua vez, é o líquido de aspecto leitoso que escorre das raízes da mandioca, durante o processo de prensagem para a obtenção de fécula (amido) ou para a produção de farinha, sendo, portanto, um subproduto ou ainda um resíduo do processo de beneficiamento da mandioca (PONTE, 2006; FERREIRA et al., 2001). A

disposição inadequada da manipueira geram problemas ambientais severos, como a contaminação de águas subterrâneas (Magalhães *et al.*, 2000). A manipueira apresenta, ainda, alto teor de ácido cianídrico e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que pode variar de 14.000m/L até 34.000 mg/L (FERREIRA *et al.*, 2001; BOTELHO, 2009).

O Brasil ocupava o quarto lugar na produção mundial de mandioca, correspondendo a 21,08 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2016), apenas em 2018 foram produzidos 19 milhões de toneladas (IBGE, 2019). Estima-se a produção de manipueira na proporção de 3:1, no qual para cada 3 kg de raízes de mandioca prensada, 1 litro de manipueira é produzido (PONTE, 2006).

Por sua vez, a substituição da água de hidratação em argamassas permite uma redução na elevada taxa de consumo de água tratada para produção das argamassas. Conforme dados da ANA (2018), as indústrias de transformação e construção consomem aproximadamente 12% das vazões totais de águas consumidas pelos setores da economia. Além disso, a água tratada poderá ser aplicada em destinações mais nobres ao ser substituída por manipueira, que é um efluente extremamente tóxico para o meio ambiente, em argamassas, necessitando apenas de passar por uma filtragem simples para redução da meterias orgânica presente e exposição ao sol para saída de possíveis cianetos presentes.

Dessa forma, pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de substituir os constituintes das argamassas por resíduos que contribuam com as propriedades desse material e apresentem uma alternativa para a destinação desses resíduos e diminuam o consumo dos recursos naturais finito. O uso da água de lavagem de betoneira (Asadollahfardi *et al.*, 2015; Malaguti, 2016), e resíduo de vidro (HUI ZHAO e CHI SUN POON, 2017) em substituição a água de amassamento e agregado, respectivamente, em argamassas são exemplos de substitutos.

Assim, o presente trabalho propõe a análise das propriedades de argamassas no estado fresco e endurecido produzidas com a substituição do agregado miúdo natural por resíduo do beneficiamento da scheelita e da água

de assentamento por manipueira, buscando comprovar sua viabilidade técnica de utilização em argamassas, apontando ainda uma destinação para os resíduos estudados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento de argamassas no estado fresco e endurecido ante a substituição do agregado miúdo por resíduo do beneficiamento da scheelita e da água de hidratação por manipueira.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a propriedades físicas, químicas e mineralógicas do resíduo de scheelita e areia natural.
- Avaliar a manipueira em função de suas propriedades químicas.
- Desenvolver um ajuste granulométrico com o resíduo grosso e fino da scheelita.
- Analisar os produtos hidratados gerados na pasta de cimento e manipueira.
- Analisar o desempenho das argamassas produzidas a partir dos resíduos scheelita e manipueira, no estado fresco e endurecido, com a argamassa padrão, conforme as normas brasileiras e a literatura;
- Analisar a formulação que apresenta viabilidade técnica de utilização do resíduo de scheelita e manipueira.

CAPÍTULO 2

Fundamentação teórica

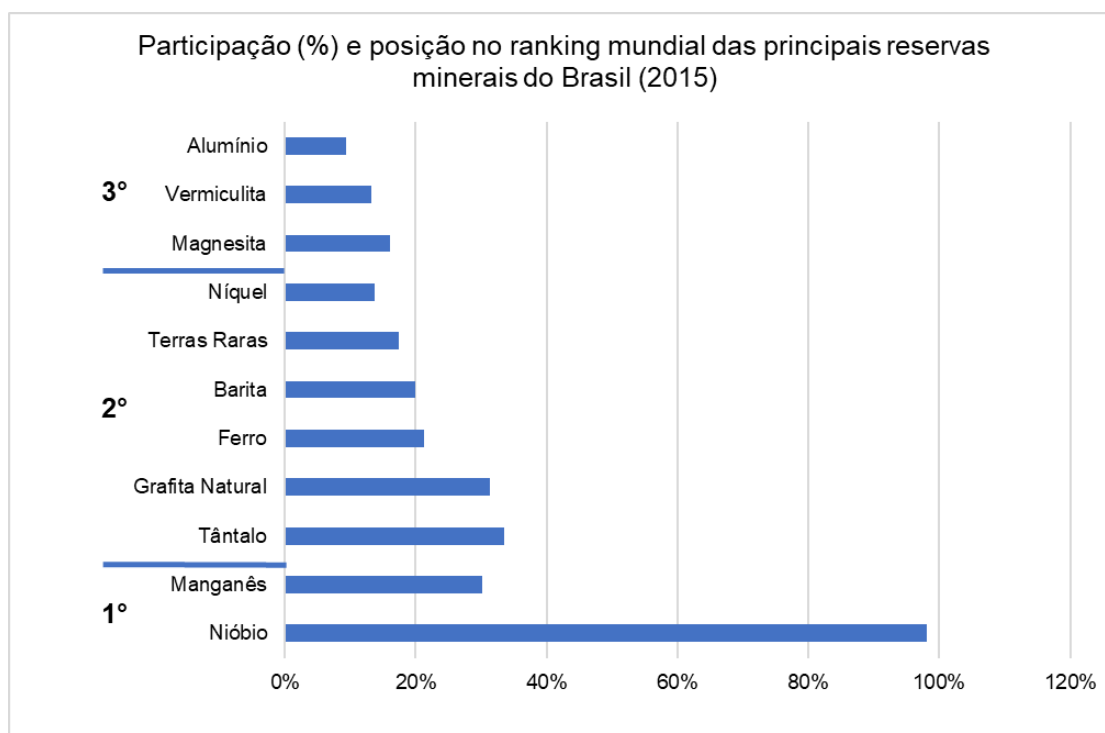
No presente capítulo, são apresentados os aspectos sobre o resíduo do processo de beneficiamento da scheelita, assim como características da manipueira, resíduo oriundo do processamento da mandioca em indústrias ou casas de farinha, são apresentados. É apresentado ainda uma revisão da literatura quanto as argamassas e suas propriedades no estado fresco e endurecido, sendo abordado também uma revisão da literatura sobre o uso de resíduo de diversas origens em substituição ao agregado miúdo.

2.1 Contextualização da mineração no mundo

Dados segundo o Departamento Nacional de Produção de Minério (DNPM), em seu último sumário anual, 2016, em parceria com os dados da *United States Geological Survey* (USGS), mostram que o Brasil apresenta elevada participação mundial nas reservas de alguns minérios, como grafita natural (31,4%), Tântalo (33,5%), manganês (30,1%) e com destaque para o Nióbio, o qual representa 98,01% da reserva mundial, tendo participação na produção com 93,7%. A Figura 1 apresenta minérios e suas reservas nacionais

Segundo IBRAM, em seu relatório anual de julho de 2018, a produção mineral tem participação fundamental no PIB brasileiro representando 1,4% de todo o PIB, empregando cerca de 180 mil trabalhadores diretamente. Em valores monetários a Produção Mineral Brasileira (PMB) apurada pelo IBRAM para o ano de 2017 ficou em US\$ 32 bilhões, sendo 33% maior que a apurada no ano anterior, 2016. Quando analisado o percentual de produção por minerais, os principais destaques para a exportação são para o ferro, ouro, ferronióbio e cobre com 62, 13, 6 e 9% de participação nas importações respectivamente (IBRAM, 2018), brasileiras, assim como a posição no ranking mundial.

Figura 1 – Minérios e suas reservas nacionais brasileiras e posição no ranking mundial.



Fonte: DNPM (2016).

2.2 A mineração no Rio Grande do Norte

Dados do último anuário realizado pelo DNPM sobre a produção mineral do Rio Grande do Norte (RN) realizado no ano base de 2013, o estado contava com 121 empresas produtoras, dessas 121 empresas 1 era considerada de grande porte por apresentar produção bruta anual maior que 1.000.000 t; 11 eram consideradas de porte médio, com produção maior que 100.000 t e até 1.000.000 t; 56 foram consideradas pequenas, com produção maior que 10.000 t até 100.000 t; e 53 foram consideradas como micro empresas com produção bruta anual abaixo de 10.000t/ano. A Tabela 01 abaixo apresenta a quantidade bruta produzida de minérios.

Tabela 1 – Produção Bruta de minério

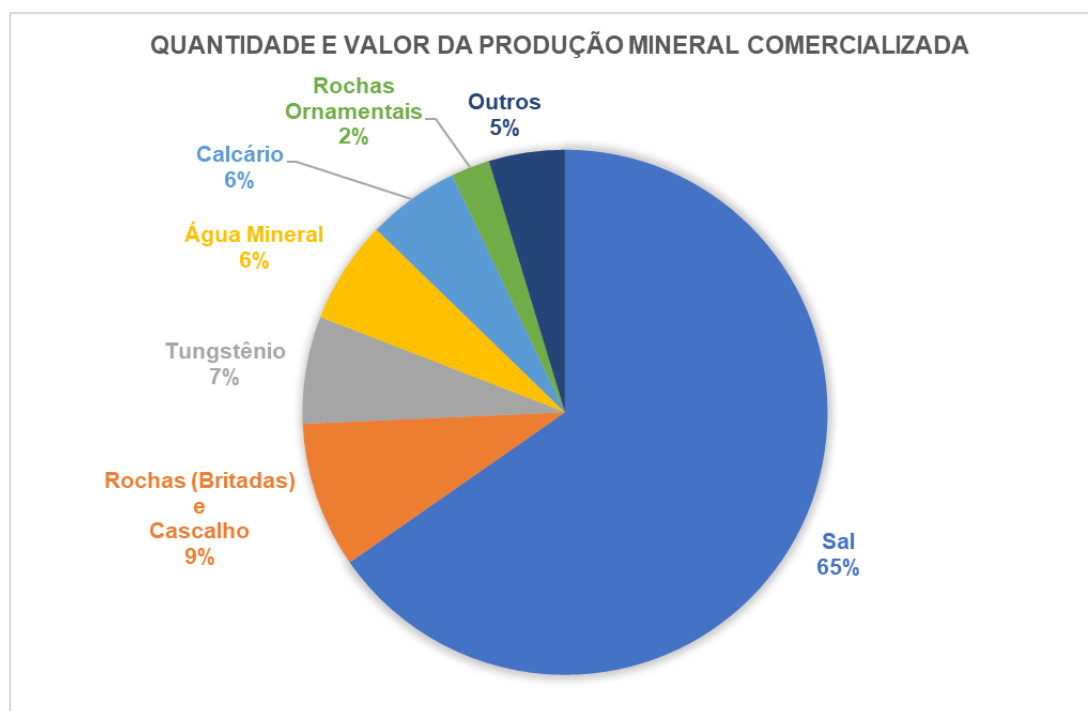
Classe / Substância	Quantidade (ROM)	Contido	Teor Médio	
Metálicos				
Ferro				
Ferro	164.472 t	92.275 t	56,10 %	Fe
Ouro				
Ouro (Primário)	18.355 t	83 kg	4,54 g/t	Au
Tântalo				
Tântalo (Columbita-Tantalita)-Primário	440 t	3.140 kg	7.136,36 g/t	Ta ₂ O ₅
Tungstênio				
Tungstênio	68.617 t	523 t	0,76 %	WO ₃
Não-Metálicos				
Areia				
Areia	108.253 t	-	-	
Argilas				
Argilas Comuns	432.248 t	-	-	
Calcário				
Calcário	1.676.424 t	-	-	
Caulim				
Caulim	14.456 t	-	-	
Diatomita				
Diatomita	300 t	-	-	
Feldspato, Leucita e Nefelina-Sienito				
Feldspato	20.295 t	-	-	
Mica				
Mica	121 t	-	-	
Minerais Industriais (Outros)				
Turmalina Industrial	1 t	1 kg	0,08 %	
Rochas (Britadas) e Cascalho				
Brita e Cascalho	1.792.980 t	-	-	
Rochas Ornamentais				
Ornamental (Granito, Gnaiss e afins)	30.208 t	-	-	
Ornamental (Mármore e afins)	3.042 t	-	-	
Quartzito Ornamental	151 t	-	-	
Rochas Ornamentais - Outras				
Outras Rochas Ornamentais (Pedra de Talhe, Pedra-Sabão, Basalto, etc.)	496 t	-	-	
Saibro				
Saibro	1.094.527 t	-	-	
Talco e Outras Cargas Minerais				
Talco	43.455 t	-	-	

Fonte: DNPM (2017).

Quando analisada a produção bruta de minérios por ano, o calcário aparece em primeiro lugar com 1.676.424 t; seguido da produção de brita e cascalho (1.792.980 t), saibro (1.094.527 t), argilas comuns (432.248 t), ferro (164.472 t) e areia (108.253 t). Quando analisado o valor da participação mineral

comercializada, o RN comercializou R\$ 454.449.834,00; sendo destacado o valor comercializado de Sal (R\$ 296.800.000,00), Rochas Ornamentais (R\$ 40.856.826,00) e Tungstênio (R\$ 30.016.237,00), conforme DNPM (2017). A Figura 02 resume os principais contribuintes no valor da produção mineral comercializada no RN.

Figura 2 – Valor da produção mineral comercializada no RN.



Fonte: DNPM (2017).

2.3 Scheelita

O tungstênio, representado pelo símbolo W, é um elemento químico metálico de transição do grupo 6B da tabela periódica, considerado um entre os elementos mais raros da crosta terrestre. Apresenta elevada densidade, cerca de 19,3 g/cm³, elevado ponto de fusão (3.419°C) e elevado ponto de ebulição, 5.927 °C. Apresenta ainda características importantes como elevada dureza, resistência ao desgaste e a corrosão, boa condutibilidade de calor e eletricidade (CANO, COSTA e NESI, 2009). Algumas de suas aplicações é a fabricação de caixas pretas de avião, brocas de sondas de perfuração para petróleo e na indústria bélica.

São conhecidos aproximadamente 20 minerais que contém tungstênio, com destaque para quatro minérios: wolframita (Fe, Mn) WO₄, scheelita

(CaWO_4), ferberita (FeWO_4) e hubnerita (MnWO_4), todavia a volframita e scheelita destacam-se por apresentarem maior produção de tungstênio no mundo e conseqüentemente maior relevância econômica (Cano, Costa e Nesi, 2009). A scheelita é caracterizada pelas cores branca, amarela, verde ou castanha, brilho vítreo a adamantino, fratura conchoidal, clivagem imperfeita e dureza intermediária (CANO, COSTA e NESI, 2009). No cenário mundial a China apresenta a maior reserva, com 1.800.000 t de tungstênio, representando mais da metade das reservas mundiais, com 56,25% (USGS, 2018).

No Brasil, a produção para o ano de 2015 correspondia a 0,5% da produção mundial. Os principais depósitos estratiformes de minério de scheelita estão localizados na Província Scheelitífera do Seridó, na região Seridó dos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, no nordeste brasileiro. Esta Província constitui a maior concentração de minério de tungstênio do País, detendo a maior reserva nacional (DNPM, 2016). Ainda segundo o DNPM, O minério de scheelita foi extraído das minas: Mina Brejuí, Mina Boca de Laje e Mina Mineração Barra Verde, localizadas no município de Currais Novos/RN; Mina Bodó, no município de Bodó/RN e Minas Bonfim I e II, no município de Lajes/RN pelas respectivas empresas: Mineração Tomaz Salustino; Acauan Mineração Comércio e Serviços (arrendatária da Mineração Boca de Laje e da Mineração Barra Verde); Bodó Mineração (arrendatária da Metais do Seridó) e Mineradora Nosso Senhor do Bonfim.

2.3.1 Mina Brejuí

A Mina Brejuí está localizada no município de Currais Novos/RN, na região de clima Semi-Árido. Considerada a maior mina de Scheelita da América do Sul, a Mina Brejuí iniciou a exploração de suas atividades em 1943, data da descoberta do minério no município. Somente em 1954, a Mina Brejuí foi constituída empresa com o nome de Mineração Tomaz Salustino S/A, sendo concessionário o Desembargador Tomaz Salustino Gomes de Melo (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2019)

A mineração em Currais Novos teve o seu apogeu em plena Segunda Guerra Mundial, fornecendo toneladas de minérios às indústrias do aço. A partir dos anos 80, do século XX, ocorreu o declínio da mineração em consequência

da oscilação dos preços internacionais da Scheelita e da utilização de outros minérios para a fabricação de artefatos industriais e tecnológicos, dessa forma a Mina Brejuí reduziu suas atividades de extração mineral. Apenas no final da década de 90 as atividades voltaram ao seu funcionamento regular (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2019).

O método de extração da scheelita é a lavra subterrânea, sendo construído túneis com até 900 m de profundidade e composto de 8 níveis, com aproximadamente 65 km de extensão e temperatura oscilante de 19°C a 43°C (GERAB, 2014). Devido ao processo de beneficiamento do tungstênio ser oneroso, a Mineração Tomaz Salustino realiza apenas o processo de extração do minério de scheelita, sendo, portanto, seus compradores responsáveis pelo beneficiamento para extração do tungstênio. A Figura 03 abaixo apresenta a localização do município de Currais Novos dentro do estado do Rio Grande do Norte.

Figura 3 – Localização geográfica do município de Currais Novos no Rio Grande do Norte.



Fonte: Wikipédia (2019).

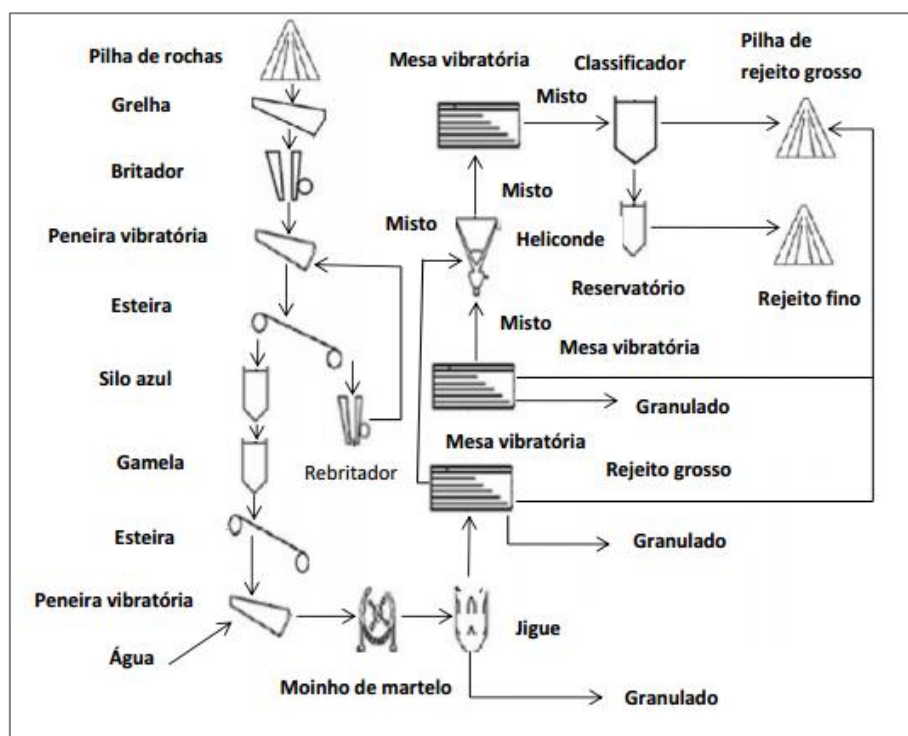
2.3.2 Beneficiamento da scheelita

A Mineração Tomaz Salustino em seu processo de beneficiamento afirma exercer suas atividades minerais consciente dos impactos ambientais gerados pela extração do minério de scheelita e procura tomar medidas e

providências que permitam minimizá-los. Afirmando ainda que não se utiliza de efluentes químicos na usina de beneficiamento do minério e que os fatores ambientais mais afetados na extração de scheelita estão relacionados ao solo (erosões), flora (abertura de acessos e picadas), ar (britagem e detonações), poluição sonora (marteleiros pneumáticos), gases (ustulação da pirita) e alterações estéticas da paisagem (pilhas de rejeito) (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2019).

O processo de extração da scheelita é dividido em várias etapas. O processo de beneficiamento é bastante rústico e pouco evoluiu nas últimas 4 décadas, tendo a maior parte dos equipamentos a utilização da gravidade como ferramenta de separação (GERAB, 2014). A Figura 04 abaixo apresenta as etapas de extração e separação da scheelita.

Figura 4 – Fluxograma do beneficiamento da scheelita.



Fonte: GERAB (2014).

A primeira etapa para o processo de extração consiste na extração de testemunhos para determinação da existência ou não da scheelita. Os testemunhos são de aproximadamente 60 cm e são realizados alguns furos de sondagem para auxiliar no encontro da jazida. Verificada a ocorrência de

scheelita, vai para a segunda etapa: a implosão das rochas. Após a implosão os pedregulhos são transportados para o exterior da mina, no qual passarão por uma terceira etapa, que consiste na quebra manual com o auxílio de marteletes para redução da dimensão de blocos com dimensões maiores que 200mm para poderem acessar a grelha que dará acesso a próxima fase: a britagem (PAIVA, 2013).

Após a passagem na grelha o material é transportado por uma esteira para o britador, onde serão britados e terão suas dimensões reduzidas, sendo essa a quarta etapa. Os fragmentos que após passarem no britador ainda apresentarem grandes dimensões passam por um processo de “rebritagem”. Nessa fase o material já se encontra com aspecto de areia, mas apresentado fragmentos com cerca de 20mm de dimensão, sendo armazenado em um silo azul. Na Figura 05 é apresentado o sistema de esteiras utilizadas no processo de beneficiamento da scheelita.

Figura 5 – Esteiras de movimentação da scheelita.



Fonte: Autor (2019)

Após a estocagem no silo azul o material é transportado para outro silo, amarelo. Do silo amarelo o material segue para peneiras vibratórias e em seguida é conduzido para o moinho de martelo, que posteriormente segue para uma tubulação que direciona ao jigge.

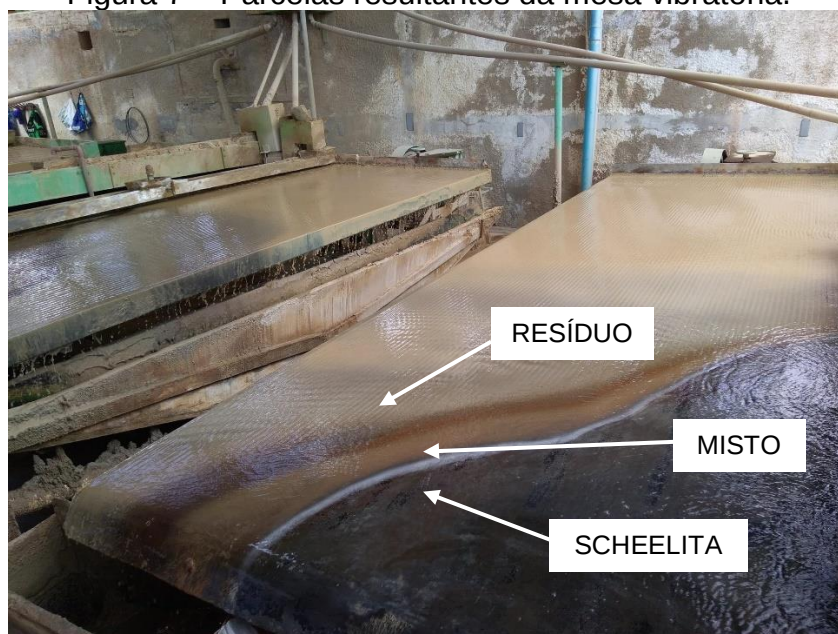
A sexta etapa consiste na hidratação dos fragmentos, o material estocado segue para um depósito onde é adicionada água. O objetivo do jigue é realizar a separação hidráulica do material mais fino do material mais granular. Após o jigue, o material é transportado para mesas vibratórias horizontais, retangulares, chamadas de deque, no qual o material que escoou do jigue é espalhado na mesa vibratória e através de oscilações e escoamento da água tem-se a formação de três partes distintas (SAMPAIO E TAVARES, 2005) como apresentado na Figura 06. A primeira trata-se da scheelita propriamente dita; a segunda é uma composição de scheelita e resíduos; e a terceira é o resíduo, que apresenta composição granulosa como areia e é descartado (GERAB, 2014), detalhadas na Figura 07.

Figura 6 – Mesas vibratórias.



Fonte: Autor (2019).

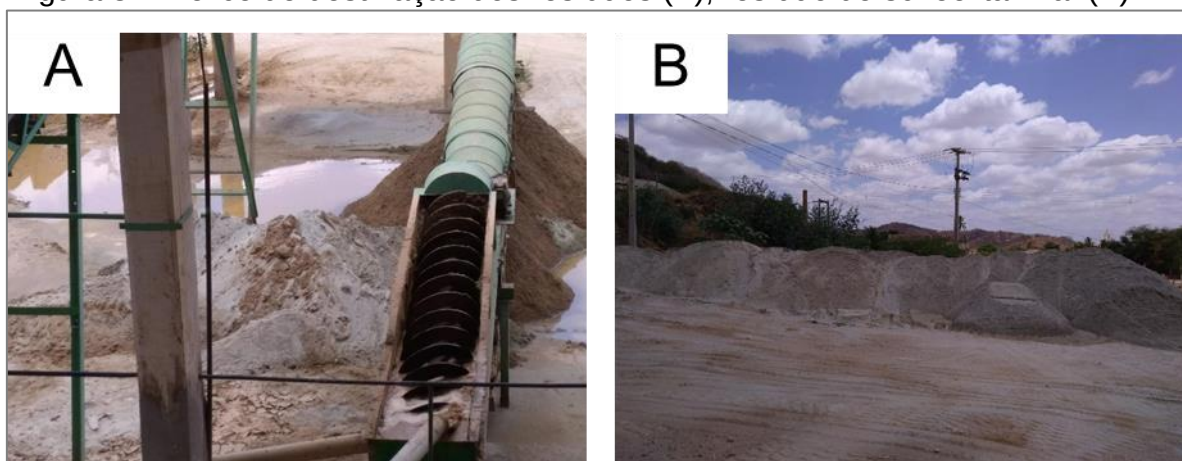
Figura 7 – Parcelas resultantes da mesa vibratória.



Fonte: Autor (2019).

O resíduo da primeira triagem é reprocessado, uma vez que a empresa constatou que existiria ainda porcentagens de scheelita presentes. Assim, após o reprocessamento o material é retirado por um equipamento que contém uma hélice que ao ser rotacionada retira o material para um classificador quem tem por objetivo separar da “lama” (finos e água) as partículas grossas, conforme Figura 08.

Figura 8 – Hélice de destinação dos resíduos (A); resíduo de scheelita fina. (B)



Fonte: Autor (2019).

A partícula grossa é por sua vez armazenada diretamente a céu aberto, a “lama” é levada a um reservatório com objetivo de melhorar a turbidez da água e realizar o reaproveitamento para o processo de beneficiamento. Em seguida,

a lama mais seca é transferida por tubulações e sendo seca a céu aberto, constituindo esse o resíduo fino da scheelita, apresentado na Figura 08-B (PAIVA, 2013; GERAB, 2014). Como etapa final do beneficiamento da scheelita, tem-se a secagem da scheelita ao sol, seguida do seu armazenamento para queima, e posteriormente a utilização de um eletroímã que tem a função de separar impurezas, como o ferro.

Segundo Paiva (2013), aproximadamente 50m³ de resíduos são produzidos diariamente, 365 dias/ano, dessa forma a Mina Brejuí produz anualmente cerca de 18.000 m³ de resíduos. Além disso, estima-se que cerca de 99,2% do material extraído é desperdiçado (GERAB, 2014), sendo um resíduo acumulado em duas frações, grossa e fina, no qual são amontoadas como dunas, existindo cerca de 4,5 milhões e 2,5 milhões de toneladas da fração grossa e fina respectivamente (PAIVA, 2013). No ano de 2012, Carvalho *et al.* estimaram que a área ocupada pelo resíduo seria de 31.800m² do resíduo fino e 89.700 m² do resíduo grosso, altura próxima a 16 m, com volumes em tomo de 508.800 e 1.435.200 m³, respectivamente. Em toneladas a quantidade de resíduo seria cerca de 814.080 t da fração fina e 2.296.320 t da fração grossa, totalizando 3.110.400 t.

Quanto ao impacto ambiental o artigo 1º da Resolução CONAMA nº 1/1986 descreve: [...] considera-se impacto ambiental 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: I -a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II -as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V -a qualidade dos recursos ambientais. (CONAMA, 2019 p.1). Assim, o resíduo de scheelita constitui-se um passivo ambiental que carece de tecnologias para seu aproveitamento e destinação adequada.

2.4 Manipueira

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, conforme Viana (2002), é uma planta tropical perene e lenhosa, adaptada a solos de baixa fertilidade, podendo

ser propagada por estacas ou sementes. No Brasil a mandioca é conhecida por algumas variações regionais como macaxeira e aipim (SILVA *et al.*, 2018). A manipueira, por sua vez, é o líquido de aspecto leitoso que escorre das raízes da mandioca durante o processo de prensagem para a obtenção de fécula (amido) ou para a produção de farinha, sendo, portanto, um subproduto ou ainda um resíduo do processo de beneficiamento da mandioca (PONTE, 2006; FERREIRA *et al.*, 2001). A Figura 09 apresenta manipueira armazenada em tanques, destaque para seu aspecto leitoso e amarelado.

Figura 9 – Manipueira em tanques.



Fonte: Moraes (2016).

A manipueira é um resíduo rico em açúcares, amidos, proteínas, linamarina, sais e derivados cianogênicos (ácido cianídrico, cianetos e aldeídos), (PONTE, 2006; REBOUÇAS *et al.*, 2015.). Assim, as raízes de mandioca são essencialmente energéticas, com altos teores de carboidratos, principalmente polissacarídeos (FENIMAN, 2004). O amido presente em sua composição é um dos biopolímeros mais utilizados na composição de materiais biodegradáveis, associados ao seu baixo custo e disponibilidade. Os amidos utilizados para este fim podem ser de origem natural, de fontes vegetais, ou modificados.

A incorporação de biopolímeros na construção civil é exemplificada pela sua aplicação na construção em terra, sendo utilizados como estabilizadores e com o objetivo primordial no aprimoramento das propriedades do material frente à ação da água. Por apresentar moléculas de comportamento higroscópico, os

amidos tendem a contribuir com a menor absorção, controlando a umidade presente no material. Quando analisado os principais efeitos no aspecto reológico a capacidade que os biopolímeros têm de alterar as cargas eletrostáticas das placas de argila, que as mantêm ligadas face a face, originam a sua dispersão e atração podem originar floculação. Os principais biopolímeros utilizados são os de origem vegetal, como as farinhas, amidos, gomas de cactos, óleos, ceras e resinas de plantas, e os de origem animal, como as gorduras animais, o soro de leite ou caseína (HENRIQUE, CEREDA, BRUDER, 2008; EIRES, CAMÕES, JALALI, 2010).

Dados apresentados por Cardoso (2003) constam o resultado da aplicação da farinha de mandioca na produção de colas para chapas compensadas. Os resultados obtidos demonstraram o aumento de quase duas vezes da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento.

A utilização de colas em madeira é amplamente difundido e apresenta como uma das principais propriedades a resistência ao cisalhamento na linha de colagem da madeira. Estudos apontam resistências ao cisalhamento na linha de colagem em torno de 3,0 MPa a 7,0 MPa (BIAZZON *et al.*, 2019; GONÇALVES *et al.*, 2016; BIANCHE *et al.*, 2016), apresentando quão resistentes as colas podem ser.

Entre os estudos realizados estão os que utilizam o amido da mandioca na composição das colas. Akindahunsi (2019), analisou a utilização do amido de mandioca em concretos com o objetivo de estudar a sua influência nas propriedades do concreto, mas especificamente a fluência. Foram realizadas adições de até 2% de amido em relação ao peso de cimento. Os resultados apresentaram que a resistência à compressão foi aumentada em até 5% em relação a amostra padrão além de deformações por fluência significativamente menores quando comparados aos prismas de referência.

Izaguirre, Lanas e Álvarez (2010) utilizaram o amido da batata como modificador da viscosidade em argamassas aéreas a base de cal. Na pesquisa foi verificado que adições superiores a 0,30% de amido atuaram como um aditivo plastificante resultando na dispersão das partículas e contribuindo para uma maior fluidez da argamassa.

A Figura 10 apresenta as etapas pelo qual a mandioca passa para a produção da farinha, destacando a etapa no qual é produzido a manipueira.

Figura 10 – Etapas de produção da farinha.



Fonte: Autor (2019).

A disposição inadequada da manipueira gera problemas ambientais severos, como a contaminação de águas subterrâneas (MAGALHÃES *et al*, 2000). A manipueira apresenta elevada toxidade devido, principalmente, à presença de glicosídeo característico da planta de mandioca (linamarina) e o alto teor de ácido cianídrico, um tóxico bastante agressivo para a maioria dos seres

vivos que possuem respiração aeróbica (BOTELHO, 2009). A manipueira apresenta ainda uma elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que pode variar de 14.000mg/L até 34.000 mg/L (FERREIRA et al, 2001). A tabela 02 abaixo apresenta a composição química características apresentadas por alguns autores:

Tabela 2 - Composição da manipueira apresentada por diversos autores.

Componentes	Referências						
	Leonel, Cereda (1995)	Silva et al. (2005)	Neves et al. (2014)	Nasu et al. (2015)	Santos et al. (2017)		
Nitrogênio total (mg/L)	1421	32,4		863	44	167	83
Fósforo (mg/L)	293	17,8	201,5	260			
Potássio (mg/L)	2650	333,6	4044	2408			
Cálcio (mg/L)	220	31,37	29,5	2738			
Magnésio (mg/L)	340	36,87	288,4	915			
Enxofre (mg/L)	74		22,7				
Ferro (mg/L)	7,6	6,09	3,6	52,5			
Zinco(mg/L)	3,2	0,59	3,5				
Manganês (mg/L)	3,9	0,62		3			
Cobre (mg/L)	0,9	0,05	1,2				
Sódio (mg/L)		51,7					
DQO: demanda química de oxigênio (g O ₂ /L)		14,7		1,75	7,7	6,5	6,2
SST: Sólidos suspensos totais (g/L)					6,3	6,8	6,9
pH	6,27	4,8	4,14	6,3	7,1	6,7	6,7
Cianeto (mg/L)	52,2	12	257,2	32,5	1,3	2	2,33

Fonte: Autor (2019).

Devido a necessidade de controle sobre a exposição dos trabalhadores ao cianeto, a *Occupational Safety and Health Administration* – OSHA (2018), agência ligada ao departamento do trabalho dos Estados Unidos, estabelece o limite de 10 partes por milhão – ppm para 8 horas de trabalho. Enquanto a Norma Regulamentadora NR 15 (BRASIL, 1978), brasileira, apresenta uma maior restrição, estabelecendo o limite de 8 ppm para as mesmas 8 horas de trabalho.

A quantificação precisa da produção de mandioca acaba sendo restrita, uma vez que a produção e consumo de mandioca não se limitam ao consumo industrial, mas sendo bastante representativo no cultivo para alimentação familiar, como praticado no nordeste brasileiro.

Segundo a Conab (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017), até o ano de 1991 a produção de raízes de mandioca no mundo era liderada pelo Brasil. Entretanto, conforme dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAOSTAT, 2016), no último levantamento realizado no ano de 2016, a produção mundial alcançou a marca de 277 milhões de toneladas. O primeiro lugar pertencia a Nigéria, com 57,13 milhões de toneladas de raízes produzidas, seguido pela Tailândia e Indonésia. O Brasil passou a ocupar o quarto lugar na produção mundial de mandioca, correspondendo a 21,08 milhões de toneladas.

Conforme dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola realizado pelo IBGE (dezembro, 2019), a produção brasileira foi de cerca de 19 milhões de toneladas. A região norte e nordeste representa as regiões com maiores concentrações de produção de raízes, juntas somam 59% da produção nacional, aproximadamente.

Diante da elevada produção e consequente consumo de mandioca, tem-se uma produção elevada do resíduo de manipueira, Ponte (2006) estima a produção de manipueira na proporção de 3:1, no qual para cada 3 kg de raízes de mandioca prensada, 1 litro de manipueira é produzido, ficando próximo dos valores apresentados por RIBAS et al. (2010). Ferreira et al (2001), afirma que o volume de manipueira varia entre 300L para produção de farinha e 3000L para fenicula por tonelada de raízes processadas.

2.5 Argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, que pode ser ainda dosada em obra ou em instalação própria, como é o caso de argamassas industrializadas. Carasek (2010), corrobora com a definição da norma, adicionando a possibilidade de além de poder conter aditivos, pode

conter também adições minerais. Carasek (2010) destaca ainda sua relevância para a indústria da construção civil tendo como usos principais: assentamento das alvenarias e no revestimento, como emboço, reboco ou ainda camada única. Além de sua utilização em outras etapas construtivas, como camada de regularização de pisos e para assentamento e rejuntamento de cerâmica e pedra.

Quanto ao tipo de argamassas a NBR 13281 (ABNT, 2005) apresenta as seguintes classificações:

- a) Argamassas de assentamento:
 - Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: Argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
 - Argamassa para assentamento em alvenaria de estrutural: Argamassa indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
 - Argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): Argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.
- b) Argamassa para revestimento de paredes e tetos:
 - Argamassa para revestimento interno: Argamassa indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
 - Argamassa para revestimento externo: Argamassa indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
- c) Argamassa de uso geral: Argamassa indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.

- d) Argamassa para reboco: Argamassa indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.
- e) Argamassa decorativa em camada fina: Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
- f) Argamassa decorativa em monocamada: Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Carasek (2010), apresentou duas classificações para as argamassas, a primeira é apresentada na Tabela 03, quanto a vários critérios.

Tabela 3 - Classificação das argamassas com relação a vários critérios

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 à consistência da argamassa	Argamassa seca
	Argamassa plástica
	Argamassa fluída
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra
	Argamassa média ou cheia
	Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa 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

Fonte: Carasek (2010).

Já na Tabela 04, Carasek (2010) apresenta a classificação das argamassas segundo as suas funções.

Tabela 4 - Classificação das argamassas segundo suas funções.

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

Fonte: Carasek (2010).

Quanto as argamassas de assentamento, Carasek (2010) cita que as principais propriedades desejadas são: trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações. Quando analisada em relação as principais funções, as seguintes funções das juntas de assentamento são:

- Unir as unidades de alvenaria para criar um sistema monolítico, que contribuirá para resistência a esforços laterais.
- Realizar a distribuição das cargas atuantes na parede de maneira uniforme.
- Garantir a estanqueidade da parede através das juntas seladas.
- E absorver as deformações provenientes da variação térmica e da retração térmica.

Quando relacionada a argamassa de revestimento as principais propriedades desejadas são: trabalhabilidade, aderência, retração, permeabilidade a água, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações (CARASEK, 2010;

RECENA, 2012). Quanto analisada em relação as principais características, as seguintes são apresentadas:

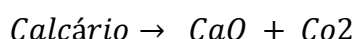
- Proteger as alvenarias quanto aos intemperismos.
- Contribuir com o sistema de vedação, no isolamento térmico, acústico, estanqueidade, resistir ao fogo, ao desgaste e abalos superficiais.
- Apresentar boa regularização da superfície e acabamento estético.

ABCP (2003), destacando a relevância do revestimento como isolamento, cita que um revestimento de argamassa com espessura entre 30 a 40% da espessura da parede, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e contribuir em 100% para a estanqueidade de uma alvenaria de vedação comum.

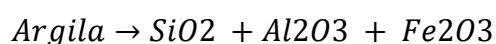
2.5.1 Materiais constituintes da argamassa

2.5.1.1 Cimento Portland

Segundo a ABCP (NT, 2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água e após o endurecimento, se submetido a ação da água, não se decompõe. O cimento é resultado da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento da mistura de calcário e argila previamente homogeneizada. Os principais óxidos presentes no cimento são: Cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃); magnésia (MgO), álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₃), (PETRUCCI, 1998). Aproximadamente 6% de gipsita ou sulfato de cálcio é adicionada a processo de mistura do clínquer para controlar o início da pega e endurecimento do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A Equação 01 abaixo apresenta os principais óxidos presentes no calcário e argila.



Equação 01



Compostos formados pela calcinação da argila e calcário, resultando nos seguintes elementos: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico. As equações 02 abaixo apresenta os componentes produzidos e suas abreviações:

Argila + Calcário:

- $3CaO.SiO_2$ (C_3S)
- $2CaO.SiO$ (C_2S)
- $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A)
- $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ (C_4AF).

Equação 02

Quando relacionado a hidratação do cimento, os compostos presentes no cimento apresentam velocidades de reações diferentes. Os aluminatos apresentam velocidade de reação elevada comparada aos silicatos, ficando os aluminatos como principais responsáveis pelas características de enrijecimento e pega, enquanto os silicatos, que compõem cerca de 75% do cimento Portland comum, são responsáveis na determinação das características de endurecimento (taxa de desenvolvimento de resistência) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O produto resultante do processo de hidratação é composto de quatro produtos: C-S-H (Silicato de cálcio hidratado), CH (hidróxido de cálcio), sulfoaluminato de cálcio e grãos de clínquer não hidratados, sendo o volume ocupado na pasta de cimento completamente hidratada variando de 50 a 60% para o C-S-H, 20 a 25% para o CH, e 15 a 20% para o sulfoaluminato de cálcio. O C-S-H é a fase mais importante para a determinação as propriedades do cimento, como por exemplo, resistência mecânica (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.5.1.2 Cal

Cal é um aglomerante resultante da calcinação de rochas calcária (carbonato de cálcio) a aproximadamente 900°C (Equação 03-A). O processo de calcinação da origem ao que se chama cal viva, após essa etapa é realizada a hidratação da cal, no qual se constitui o aglomerante em si usado na construção civil (Equação 03-B). A cal hidratada recebe por vezes a denominação de cal

extinta. O aglomerante hidratado reage com o CO_2 (Equação 03-C) presente na atmosfera para adquirir resistência, voltando a sua formação original, carbonato de cálcio (Bauer, 2000).

Equação 03

- (A) $\text{CaCO}_3 + \text{Calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- (B) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- (C) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

O uso da cal como aglomerante tem seu emprego registrado desde a época da construção das grandes pirâmides, nos anos 2980 a 2925 a.C., constatado através de observações feitas nas pirâmides de Gizé e Quéfrem que indicaram a existência de argamassas de areia natural em que um dos constituintes é a cal. Os gregos por sua vez também aplicavam a cal em suas construções, e os romanos utilizavam cinzas vulcânicas com o intuito de melhorar as propriedades nas argamassas de cal, que hoje sabe-se tratar de pozolanas que reagem com a cal formando o C-S-H (RECENA, 2012).

A cal quando comparada com o cimento e gesso apresenta endurecimento lento, sendo dependente da difusão do CO_2 , além disso a resistência mecânica de produtos que utilizam a cal como aglomerante apresentam valores inferiores comparado ao cimento Portland (CINCONTTO, QUARCIONI, JOHN, 2007)

O uso de cal em argamassas apresenta dificuldades devido a problemas quanto a qualidade da cal hidratada vendida, existência de partes não hidratadas tendem a gerar problemas. Caso existam óxidos não hidratados após a aplicação e endurecimento da argamassa, pode ocorrer a hidratação retardada, que é bastante expansiva e pode ocasionar o surgimento de patologias (CARASEK, 2010). No Brasil, a NBR 7175 (ABNT, 2003) divide a cal em três tipos: CH-I, CH-II e CH-III, tal classificação diz respeito a sua pureza química e granulometria, sendo a CH-I considerada a cal com maior pureza e melhor granulometria.

2.5.1.3 Agregado miúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define agregado miúdo como sendo agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm ficando retida na malha de abertura 0,150 mm. Bauer (2000) apresenta a areia

como um agregado natural, que pode ser proveniente de rios ou de cavas, que são depósitos aluvionares em fundos de vales. Os agregados representam de 60 a 80% do consumo de materiais da argamassa pronta, dessa forma apresenta bastante significância nas propriedades das argamassas, interferindo consequentemente no comportamento das argamassas (CARASEK, 2010).

A otimização da distribuição granulométrica do agregado passa por vezes no processo de composição de agregados miúdos contento mais de um tipo de areia, no qual pode-se criar um gráfico correlacionado a as variações com a massa unitária e obter a melhor composição para maior massa unitária possível (RECENA, 2012), além disso Pinto, Gomes e Pinto (2006) afirmam, ao analisar o diagrama de Feret, que a composição granulométrica que apresenta o mínimo volume de vazios são constituídas apenas por grãos grossos e finos, na proporção aproximada de 2/3 de grossos e 1/3 de finos.

O conhecimento das propriedades do agregado é importante, uma vez que sua composição química, porosidade, textura, densidade afetarão de maneira significativa o comportamento da argamassa (FARIAS e PALMEIRA, 2007).

2.5.1.4 Água de hidratação

Recena (2012) afirma que as argamassas devem conter boa trabalhabilidade com a menor quantidade de água possível, uma vez que quantidades de água elevada costumam está associada a problemas como a fissuração. A NBR NM 137 (ABNT, 1997) apresenta as exigências químicas e físicas para a água de amassamento utilizada em argamassas, estabelecendo limites como, por exemplo, a exigência de que o PH esteja entre 5,5 e 9,0 (10^{-6} g/cm³).

As argamassas apresentam alguns tipos de água constituintes como a água capilar, que pode ser dividida em água livre (cuja remoção não causa alteração de volume) e água retida por tensão capilar, cuja saída pode causar alteração no volume. Outro tipo de água presente é a água quimicamente combinada, que corresponde à quantidade de água necessária para a hidratação do cimento, correspondendo, a relações água/cimento entre 0,23 e 0,28. Tem-se ainda a água adsorvida que se encontra próxima à superfície da pasta e água

interlamelar que está associada à estrutura do C-S-H. Além disso, a relação água/cimento está associada à porosidade na pasta de cimento e consequentemente a resistência, quanto maior a relação maior tende a ser a porosidade e menor a resistência (MEHTA e MONTEIRO, 2008; RECENA, 2012).

Dados da ANA (2018) apresentam que as indústrias de transformação e construção consomem aproximadamente 12% das vazões totais de águas consumidas pelos setores da economia, cerca de 6,3 mil hm³. Além disso, o Brasil tem aumentado o investimento nos serviços de água e esgotos, saindo de R\$ 11.511,0 milhões em 2011 para R\$ 35.883,7 milhões em 2014 (SNSA, 2018). Sendo a indústria da construção responsável por boa parte desse consumo, percebe-se a necessidade de encontrar alternativas para a substituição de água potável em argamassa, uma vez que iniciativas como a Lei Nº 9.433 (BRASIL, 1997), que apresenta como objetivo a utilização racional e integrada da água, tem sido norteador para essa nova perspectiva.

2.5.2 Propriedades das argamassas no estado fresco

2.5.2.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade consiste na propriedade da argamassa que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, por isso o nome trabalhabilidade, por dizer respeito a capacidade que a argamassa apresenta de ser trabalhável em termos práticos, no qual permita uma boa produtividade dos que manuseiam e garanta o acabamento adequado as necessidades. Essa propriedade está associada a outras, como consistência, plasticidade, retenção de água e densidade de massa (CARASEK, 2010). De maneira resumida, entende-se que a trabalhabilidade de uma argamassa deve estar diretamente associada à tarefa a ser executada, estando suas características ligadas diretamente às funções a serem desempenhadas (RECENA, 2012).

Sousa e Bauer (2003), afirmam que a trabalhabilidade tem interferência direta proporções cimento: cal e na granulometria do agregado utilizados para a produção da argamassa. Gomes, Gonçalves e Faria (2012) estudaram a influência do teor de água na trabalhabilidade das argamassas, os resultados

apresentam que a trabalhabilidade das argamassas foi fortemente influenciada pela relação água/material seco presente, o mesmo afirma Carasek (2010), como sendo esse o método mais direto e prático de se alterar a trabalhabilidade.

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), afirmam que até determinado ponto a presença da cal e de aditivos incorporadores de ar melhoram a trabalhabilidade. Barnat-Hunek, Siddique e Łagód (2017) ao se estudar a utilização de cortiças em substituição ao agregado miúdo percebeu que ocorreu maior consumo de água e consequentemente alteração na trabalhabilidade. Do mesmo modo, Santamaría-Vicario *et al.* (2016), utilizando escória de ferro percebeu que houve melhora na trabalhabilidade da argamassa, devido ao formato das partículas serem arredondados.

2.5.2.2 Consistência e plasticidade

A consistência está relacionada com a maior ou menor fluidez e consequentemente a capacidade da mistura resistir ao escoamento. A consistência pode ser classificada como seca, plástica ou fluida, sendo influenciado sua classificação pela quantidade de pasta ao redor dos agregados. A plasticidade está relacionada com a viscosidade da argamassa, sendo influenciada pelos tipos e quantidade de aglomerante e agregados, pelo tempo e intensidade de mistura e pela presença de aditivos (CARASEK, 2010).

As características das areias exercem forte influência sobre algumas propriedades da argamassa de revestimento no estado fresco. Areia com melhor distribuição granulométrica tende a apresentar melhor grau de empacotamento e resultam em sistemas mais fluidos, com baixa consistência e maior densidade de massa. Ao se comparar dois sistemas que contenham a mesma quantidade de pasta disponível, sendo que um tenha melhor empacotamento das partículas de areia, o sistema com melhor empacotamento contará com mais pasta disponível para “lubrificar” as partículas, afastando as partículas e reduzindo o atrito interno (CARASEK, 2016).

Agregados com características porosas tendem a aumentar o consumo de água, aumentando a consistência da argamassa, como relata Juntao Dang *et al.* (2018) ao utilizar agregados de blocos cerâmicos triturados como agregado,

notaram o aumento do consumo de água para garantir uma consistência adequada a trabalhabilidade da argamassa.

No Brasil a norma NBR 13276 (ABNT, 2005) descreve os procedimentos para determinação da consistência das argamassas. O índice de consistência da argamassa corresponde à média de três medidas de diâmetro, após a aplicação de 30 golpes dados através da elevação e queda da mesa de consistência.

2.5.2.3 Retenção de água

A retenção de água trata-se de uma propriedade associada a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua trabalhabilidade ao ser exposta a solicitações que estimulem a perda de água de amassamento, como evaporação ou absorção de água pela base. Esta propriedade influencia o comportamento da argamassa no estado fresco, como por exemplo a retração plástica, todavia apresenta interferência nas propriedades no estado endurecido, uma vez que a retenção de água permite a continuidade das reações de hidratação do cimento. Essa retenção é variável conforme a composição da argamassa (CARASEK, 2010).

Breitenbach *et al.* (2017), ao utilizar o resíduo do polimento do porcelanato em substituição ao agregado miúdo das argamassas, constatou que a capacidade de retenção de água das argamassas foi relativamente maior, comparada as amostras sem resíduo. Farinha, Brito e Veiga (2015), obtiveram o aumento da retenção de água nas amostras de argamassa que continham 20% do resíduo de louça sanitária utilizados como substituto parcial do agregado miúdo.

A capacidade das argamassas em reter água é também de muita importância na garantia da aderência aos substratos, evitando o deslocamento de porções de argamassas empregadas em revestimentos de paredes e garantindo a homogeneidade das alvenarias pela manutenção da união dos vários elementos que a compõem na formação de um todo compacto (Recena, 2012). Além disso a rápida perda de água compromete a aderência, a capacidade de absorver deformações, resistência mecânica e consequentemente a durabilidade (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998).

A norma NBR 13277 (ABNT, 2005) normatiza um método para avaliação da retenção de água, que consiste na medida da quantidade de água retirada pela argamassa após submetida a uma sucção por meio de uma bomba de vácuo. A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas em função da sua retenção de água, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de argamssas conforme retenção de água.

Classe	Retenção de água %	Método de Ensaio
U1	≤ 78	ABNT NBR 13277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

2.5.2.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa apresenta variação conforme o teor de ar incorporado e a massa específica dos materiais utilizados, especialmente do agregado. Quanto mais leve a argamassa mais trabalhável se torna para o processo executivo com a argamassa (RECENA, 2012). A tabela 6 apresenta a classificação das argamassas quanto a densidade de massa no estado fresco.

Tabela 6 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.

Argamassa	Densidade de massa (g/cm ³)	Principais agregados	Usos
Leve	$d < 1,40$	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$1,40 \leq d \leq 2,30$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	$d > 2,30$	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2010).

Badache *et al.* (2018), substituíram o agregado miúdo por polietileno de alta densidade reciclada em argamassas conseguiram produzir argamassas com densidade até 25% menor que o traço de referência, além da redução de até 41% da condutividade térmica. Corinaldesi, Mazzoli, Siddique (2016), utilizando 5% de substituição do agregado por subprodutos de processamento de madeira na produção de argamassas conseguiu produzir argamassas leves, que apresentaram 25% de redução na condutividade térmica, comparado com a amostra de referência. Baali *et al.* (2011), estudaram a composição de argamassas com substituição do agregado miúdo por areia ternária composta de areias siliciosa, areia de escória e areia de resíduo de tijolos, utilizando 70% de areia siliciosa, 15% de areia de escória e 15% areia de resíduo de tijolos. Os autores conseguiram um material com melhor empacotamento e consequentemente maior densidade e menor teor de ar incorporado.

A determinação da densidade de massa no estado fresco, é realizada pelo método apresentado pela norma NBR 13278 (ABNT, 2005) e representa a relação entre a massa e o volume do material sendo expressa em g/cm^3 , com duas casas decimais. O teor de ar incorporado poder ser determinado pelo método gravimétrico apresentado ainda pela NBR 13278 (ABNT, 2005), ou pelo método pressométrico fazendo uma adaptação do método para concreto da norma NBR NM 47 (ABNT, 2002). A Tabela 7 apresenta a classificação conforme a densidade de massa no estado fresco.

Tabela 7 - Classificação conforme a densidade de massa no estado fresco.

Classe	Densidade de massa no estado fresco kg/m^3	Método de Ensaio
D1	$\leq 1\,400$	ABNT NBR 13278
D2	1\,200 a 1\,600	
D3	1\,400 a 1\,800	
D4	1\,600 a 2\,000	
D5	1\,800 a 2\,200	
D6	$> 2\,000$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

2.5.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido

2.5.3.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Carasek (2010) afirma que corpos-de-prova cilíndricos apresentaram densidades cerca de 7% menores no estado endurecido após secagem ao ar, quando comparada com o estado fresco. Além disso, a densidade está relacionada com a granulometria e o teor de ar incorporado, argamassas com menor teor de ar e melhor granulometria apresentarão consequentemente menores densidades, como apresentado por Baali *et al.* (2011) que ao utilizar uma composição de areia ternária com resíduos obteve melhor distribuição granulométrica, diminuindo a quantidade de vazios, aumentando a densidade.

A densidade de massa no estado endurecido é dada pela relação entre massa e volume (g/cm^3) sendo no Brasil determinada seguindo as orientações apresentadas pela norma NBR 13280 (ABNT, 2005). Na Tabela 8 é apresentada a classificação das argamassas em função da densidade de massa aparente no estado endurecido.

Tabela 8 – Classificação das argamassas em função da densidade de massa aparente no estado endurecido.

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m^3	Método de Ensaio
M1	$\leq 1\,200$	ABNT NBR 13280
M2	1 000 a 1 400	
M3	1 400 a 1 600	
M4	1 00 a 1 800	
M5	1 600 a 2 000	
M6	$> 1\,800$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

2.5.3.2 Resistência mecânica à compressão e tração.

A resistência mecânica é a capacidade dos revestimentos de suportar esforços das mais diversas naturezas, que resultam em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento. Esforços de abrasão superficial, cargas de impacto e movimentos de contração e expansão dos revestimentos por efeitos de umidade, são exemplos de ações que geram essas solicitações (ABCP, 2003).

A resistência mecânica é influenciada por diversos fatores, dentre eles a porosidade. Mehta e Monteiro (2008), apresentam a relação entre a porosidade e resistência, sendo dada por uma curva exponencial cúbica, quanto maior a presença de poros na argamassa de cimento menor será a resistência. Cavalcanti e Ribeiro (2013), utilizaram cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em substituição a areia como agregado em argamassa, o estudo constatou que a substituição parcial do CBCA ocasionou o aumento da porosidade e a consequente perda de resistência mecânica em até 50%.

A resistência mecânica das argamassas, principalmente à compressão, deve ser inferior à resistência dos blocos, em argamassas de assentamento, de maneira que possam absorver as deformações. Além disso, a argamassa apresenta pouca influência na resistência à compressão da alvenaria, quando analisado o sistema monolítico (CARASEK, 2010).

No Brasil a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), descreve os procedimentos para a determinação da resistência à compressão axial e à tração na flexão. A NBR 13281 (ABNT, 2005) faz as seguintes classificações quanto à resistência à tração e à compressão:

Tabela 9 – Classificação das argamassas quanto classificações quanto à resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão Mpa	Método de Ensaio
P1	$\leq 2,0$	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$> 8,0$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 10 – Classificação das argamassas quanto classificações quanto à resistência à tração.

Classe	Resistência à Tração na flexão Mpa	Método de Ensaio
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

2.5.3.3 Capacidade de absorver deformações

As argamassas, de maneira ampla, têm aplicação principal como material usado para unir ou revestir elementos fabricados com materiais que apresentam diferentes naturezas, logo diferentes comportamentos com relação à capacidade de absorção de água e à deformação causada por ação térmica ou higrométrica. A capacidade de deformação está relacionada com o módulo de elasticidade da argamassa. O módulo de elasticidade apresenta uma relação com a resistência à compressão de um material, dessa maneira materiais com baixo módulo de elasticidade tendem a apresentar menores resistências à compressão (RECENA, 2012).

ABCP (2003) descreve a capacidade de absorver deformações como sendo a propriedade que o revestimento possui de absorver deformações intrínsecas (do próprio revestimento) ou extrínsecas (da base) sem sofrer ruptura, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder aderência. Além disso, a capacidade de absorver deformações é governada pela resistência à tração e pelo módulo de deformação do revestimento.

Monte, Silva e Figueiredo (2007), pesquisaram sobre a influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas, com traço 1:3 (cimento, areia) e utilizando incorporador de ar nas proporções de 0,015; 0,03 e 0,06 % da massa de cimento. Os resultados mostraram a relação existente entre a resistência mecânica e o módulo de elasticidade, uma vez que ocorreram variações no módulo de elasticidade na mesma proporção que a resistência mecânica ao aumentar o teor de ar das argamassas.

O módulo de elasticidade pode ser determinado pela curva de relação entre tensão e deformação dos materiais, sendo expressa pela secante a curva que representa a relação (RECENA, 2012). Outra forma é através da NBR 15630 (ABNT, 2009), que orienta quanto à determinação do módulo de elasticidade em argamassas.

2.5.3.4 Permeabilidade – coeficiente de capilaridade

A permeabilidade está associada a passagem de água pela camada de revestimento, dependente da natureza da composição e dosagem da

argamassa, técnica de execução, espessura da camada de revestimento e do acabamento final (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). Sentone (2011) afirma que a característica principal que indica a ocorrência de um fenômeno de permeabilidade é a existência de um gradiente de pressão entre dois meios, que gera a movimentação do fluido da região com pressão mais elevada para a de menor pressão.

A movimentação de água pela diferença de pressão ocorre pela formação de canais capilares durante o estabelecimento de um fluxo hidráulico (RECENA, 2012). A absorção por capilaridade é determinada no Brasil pela NBR 15259 (ABNT, 2005) e a absorção por imersão pela NBR 9778 (ABNT, 2009), além de ser classificada, quanto ao coeficiente de capilaridade, conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005) da seguinte forma:

Tabela 11 - Classificação das argamassas quanto ao coeficiente de capilaridade.

Classe	Coeficiente de capilaridade g/dm².min^{1/2}	Método de Ensaio
C1	≤ 1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

A permeabilidade à água é uma propriedade que está ligada diretamente com a estanqueidade da parede, sendo de bastante relevância para argamassas, principalmente em fachadas. A ausência de estanqueidade pode permitir a infiltração de água e gerar patologias, como eflorescências, descolamentos, manchas de bolor e mofo (CARASEK, 2010). A permeabilidade não depende apenas da existência de poros, mas diz respeito a existência e continuidade desses poros (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

No trabalho realizado por Corinaldesi, Mazzoli, Siddique (2016) utilizando o resíduo de subprodutos de processamento de madeira substituindo o agregado para produzir argamassas, foi verificado que a maior presença de resíduo levou ao aumento da porosidade e absorção por capilaridade. O mesmo

resultado foi obtido por Cavalcanti e Ribeiro (2013), ao utilizar o CBCA como substituto ao agregado.

2.5.3.5 Durabilidade

A durabilidade de uma argamassa é a capacidade dela manter sua estabilidade química e física ao longo do tempo em condições normais de exposição a um determinado ambiente, desde que submetida aos esforços que foram considerados para seu projeto, sem deixar de cumprir as funções para as quais foi projetada. Sendo associada intrinsecamente as condições de agressividade do meio ao qual está exposta e pelo tipo de solicitações de natureza física e mecânica a que estará submetida (RECENA, 2012).

Mehta e Monteiro (2008), ao falar sobre durabilidade descreve a influência da existência de poros, que influenciará na permeabilidade e na porosidade capilar em pastas de cimento hidratado, conforme maior for o grau de hidratação menor será a quantidade de poros existentes.

A resistência à compressão, na durabilidade, é uma das propriedades que podem servir de parâmetro para quantificação e observação de possíveis variações quando se observa a vida útil de um material inserida em determinado meio ambiente (FARIAS FILHO, 2017).

Ao analisar a durabilidade em argamassa produzidas com resíduos de construção e granito substituindo ao agregado, Farias Filho (2017) submeteu corpos-de-prova a envelhecimento natural por 180 dias e ao envelhecimento acelerado com ciclos de molhagem e secagem de 20, 30, 45, 60 e 90 ciclos. Os resultados apresentaram que o para o envelhecimento natural ocorreu o comprometimento da durabilidade após 60 dias. As amostras submetidas ao envelhecimento acelerado não apresentaram comprometimento da durabilidade, pelo contrário, o processo de envelhecimento acelerado através da técnica de ciclos de molhagem e secagem favoreceu a reação pozolânica que contribuiu para manutenção das propriedades.

A ABCP (2003), descreve os principais fatos que geralmente comprometem a durabilidade:

- Movimentações de origem térmica, higroscópica ou imposta por forças externas, que podem causar fissuração, desagregação e descolamento dos revestimentos;
- Espessura dos revestimentos, que podem ocasionar fissuras de retração, podendo comprometer a capacidade de aderência e a impermeabilidade do revestimento;

Cultura e proliferação de microrganismos, sendo patologias no qual a presença de fungos e líquens que se proliferam na superfície do revestimento produzem ácidos orgânicos que reagem e destroem progressivamente os aglomerantes da argamassa endurecida.

2.6 Argamassas produzidas com resíduos

A utilização de resíduo vem sendo amplamente estudada como substituto/adição ao agregado nos materiais de construção. Como por exemplo a utilização de areia descartada de fundição (ANDRADE, CARNIN, PINTO, 2018), agregado reciclado (FERREIRA, 2017; ANGELIN, LINTZ, BARBOSA, 2018) como substitutos ao agregado miúdo em concreto de cimento Portland, ou ainda a utilização de resíduo em substituição ao cimento (ARAÚJO, 2017). Além do concreto, tijolos de solo-cimento também vêm sendo estudados, como Silva *et al.* (2014) que utilizaram a adição de resíduos cerâmicos na produção de blocos de solo-cimento e obtiveram resultados satisfatórios para a adição de 4%; semelhantemente a incorporação do cascalho de perfuração de poços de petróleo em blocos de solo-cimento permitiram resultados satisfatórios nas propriedades dos blocos (MARQUES, ACCHAR, 2014). Do mesmo modo, algumas pesquisas vêm analisando a substituição do agregado miúdo por resíduos em argamassas.

Andrade *et al.* (2018) avaliaram as propriedades mecânicas e de carbonatação de argamassas produzidas com RCD. Foram analisadas argamassas produzidas com dois tipos de agregados reciclados: agregado reciclado de cerâmica e agregado reciclado misto. As argamassas foram analisadas quanto a resistência à compressão, flexão e adesividade, e quanto a suas propriedades físicas: porosidade, absorção de água e densidade do solo, profundidade de carbonatação ao longo do tempo e CO₂ absorvido. Foram

realizadas substituições nas seguintes porcentagens: 25, 50, 75 e 100%. Os resultados apresentaram a diminuição da resistência à compressão a medida que aumentou o teor de substituição por RCD, assim como aumento na profundidade de carbonatação. As argamassas com agregado reciclado cerâmico apresentaram maior aderência. Todas as argamassas com RCD apresentaram maior absorção de CO₂. De maneira geral, o RCD apresenta-se como alternativa válida e sustentável para uso na construção.

Ledesma *et al.* (2014) analisaram o uso do concreto reciclado também em substituição ao agregado miúdo em argamassas. Foram analisadas argamassas no traço de 1:7 em volume, e realizada a substituição do agregado miúdo em 0, 5, 10, 20 e 40%, em volume. Foi realizada uma análise estatística dos resultados, os quais demonstraram um efeito estatisticamente significativo nas diferentes propriedades frescas e endurecidas, sendo os corpos-de-prova analisados por um período de cura de 180 dias. Como resultado, o estudo apontou a possibilidade de substituição do agregado miúdo por concreto reciclado, tendo a substituição de 40% alcançado resultados satisfatórios nas propriedades analisadas.

Com o intuito de se propor uma destinação aos resíduos de tijolos cerâmicos, Juntao Dang *et al.* (2018) desenvolveram um estudo das propriedades de argamassas que também substituem o agregado miúdo, dessa vez por agregados reciclados finos de blocos triturados. Sendo analisada a consistência, resistência à compressão e resistência à flexão da argamassa. Além das propriedades físicas, composição química, composição mineral e morfologia microscópica do resíduo cerâmico.

Os resultados mostram que a estrutura porosa dos tijolos cerâmicos e o tratamento de britagem mecânica secundária resultam no declínio das propriedades físicas do resíduo. O teor de água adicional no resíduo é benéfico para melhorar a fluidez da argamassa, mas o teor de água parcialmente adicional no resíduo tem um impacto adverso. Além disso, o resíduo com teor de água parcialmente adicionada e tamanho de partícula de 0 a 5 mm é benéfico para a melhoria da resistência da argamassa. No entanto, o resíduo com teor de água totalmente adicionada e tamanho de partícula de 0,15-5 mm é prejudicial ao

desenvolvimento da resistência da argamassa. Foram realizadas substituições nas proporções de 0, 25, 50 e 75%.

Hui Zhao e Chi Sun Poon (2017) realizou um estudo comparativo das propriedades de argamassas utilizando vidro reciclado proveniente de tubos de raios catódicos como agregado miúdo. O resíduo foi subdividido em dois tipos: vidro de funil não tratado com ácido nítrico e tratado com ácido nítrico, sendo realizadas formulações com as seguintes substituições ao agregado miúdo: 25, 50 e 75%. As argamassas formuladas com vidro tratado com ácido nítrico apresentam resultados não satisfatórios de fluidez, menor densidade no estado fresco e menor resistência mecânica do que argamassa com vidro não tratado com ácido nítrico. O mesmo comportamento ocorreu quando analisada a retração aos 56 dias, a argamassa com vidro não tratado com ácido apresentou ainda menores retrações.

So Yeong Choi, Yoon Suk Choi e Eun Ik Yang (2017) utilizaram resíduos de vidros de alta densidade substituindo o agregado miúdo em amostras de argamassa. Foram realizadas substituições nas seguintes proporções 0, 25, 50, 75, 100%. Sendo analisada a consistência, massa unitária, resistência à compressão e à flexão, além da análise da distribuição dos microporos. Os resultados apresentaram aumento da fluidez e da massa unitária conforme se aumentou a quantidade de vidro substituído, entretanto a resistência à compressão e à flexão da argamassa diminuíram gradualmente com um aumento na taxa de substituição pelo vidro, como ocorreu com Hui Zhao e Chi Sun Poon (2017). Além disso, a distribuição do tamanho dos microporos é significativamente afetada pela substituição de resíduos de vidro de alta densidade.

Além de argamassa convencionais, as pesquisas têm utilizado materiais residuais dos processos industriais para desenvolvimento de argamassas leves, como Avci *et al.* (2017) que analisou a produção de argamassas de cimento e cal, substituindo o agregado por lodo de tinta. Foram preparados corpos-de-prova de cimento e cal separadamente com o lodo de tinta nas proporções de 2, 4, 6, 8 e 10% em substituição ao agregado miúdo. Foram analisadas a

expansibilidade, propriedades mecânicas, absorção por capilaridade, além de ensaios de caracterização.

O estudo demonstrou que todos os traços com resíduo apresentaram expansão em comparação com o traço de referência. Além disso a adição de lodo de tinta levou a diminuição da resistência de maneira progressiva. Todavia, a estrutura final tem um potencial característico promissor para materiais de construção residenciais leves. Além disso, possui propriedades de isolamento térmico e sonoro devido à alta expansão e alto conteúdo poroso.

Andrade *et al.* (2018), também utilizou lodo, mas desta vez realizou a análise de argamassas utilizando o lodo de estação de tratamento de água como agregado miúdo. Foram analisadas as propriedades mecânicas: aderência, resistência à compressão e resistência à flexão; a durabilidade através do ensaio de absorção de água e a análise microestrutural. As substituições ao agregado miúdo foram realizadas nas seguintes porcentagens: 2,5; 5,0; 7,5 e 10% em massa.

Os resultados foram tratados estatisticamente e analisado a variância. O estudo permitiu verificar que a inclusão de lodo aumenta a porosidade das argamassas, influenciando diretamente suas propriedades. A aderência apresentou valores satisfatório para a substituição de 5% com lodo. A resistência à compressão das argamassas com lodo foi ligeiramente menor que das argamassas de referência. A resistência à flexão das argamassas com lodo não apresentou diferença significativa em relação à resistência das argamassas de referência ao longo do tempo. A análise microestrutural mostrou a influência das características das partículas no desempenho das argamassas com lodo de tratamento de água. A massa unitária das argamassas diminuiu conforme maior presença do lodo.

Características termofísicas e mecânicas foram estudadas por Badache *et al.* (2018), ao se substituir o agregado miúdo por polietileno de alta densidade reciclado na produção de argamassas leves. Através de substituições nas proporções de 0, 15, 30, 45 e 60% do agregado por polietileno, foram realizados ensaios de massa unitária para o estado fresco e endurecido, além da análise das propriedades mecânicas através dos ensaios de resistência à compressão

e à flexão, características termofísicas, velocidade do pulso ultrassônico e o módulo de elasticidade dinâmico, além da análise através do Microscópio Eletrônico de Varredura.

Os dados revelaram que argamassas com polietileno podem ser até 25% mais leves que argamassas comuns. A condutividade térmica substituindo 60% do agregado por polietileno pode apresentar diminuição na condutividade térmica de até 41%. O módulo de elasticidade dinâmico apresentou valores 73% menores que a argamassa de referência. O desempenho mecânico das argamassas com polietileno é consideravelmente menor do que argamassa sem polietileno, para substituição de 60% a resistência a compressão foi reduzida em 38%. De maneira geral, o estudo mostrou que é possível usar o polietileno reciclado da indústria de termoplásticos como agregados para a produção de materiais de construção.

Ainda sobre a produção de argamassas leves, Barnat-Hunek, Siddique e Łagód (2017), analisaram os efeitos da utilização de cortiça expandida hidrofobizadas como substituição ao agregado miúdo. Foram analisadas a resistência à compressão, resistência à tração, densidade, porosidade total, absorção, capacidade de difusão de vapor de água, permeabilidade ao vapor, coeficiente de absorção de água capilar, resistência à geada, resistência à corrosão com sulfato de sódio coeficiente de condutividade térmica. Foram realizadas substituições de 10 e 20% em argamassas de cimento e cal, e 20% em uma argamassa apenas usando areia e cimento como aglomerante. As argamassas foram caracterizadas por uma densidade diversificada que varia entre 1,10 g/cm³ nas argamassas de cal e cimento com 20% de cortiça e 1,63 g/cm³ no caso das argamassas apenas com cimento.

A presença da cortiça aumentou em cerca de 30% a porosidade. Quanto a condutividade térmica a presença da cortiça reduziu em cerca de 38%. Relacionado a resistência à compressão, o dobro da quantidade de cortiça reduziu pela metade a resistência. A argamassa com apenas cimento apresentou maior resistência à flexão. A presença da cortiça aumenta a porosidade, a absorção e o coeficiente de absorção de água. A maior perda de

massa após o teste de resistência à geada foi apresentada pela argamassa com 20% de cortiça, com 14,63%.

Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento Portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) como agregado miúdo foram estudadas por Cavalcanti e Ribeiro (2013). Foram realizadas substituições nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%. A substituição parcial do agregado miúdo de referência pelo agregado contendo CBCA afetou significativamente na argamassa, havendo uma diminuição da densidade aparente e aumento da porosidade, aumentando ainda a absorção de água por capilaridade. Analisada a resistência mecânica substituições até 50% foram melhores do que o teor de referência e demais teores, apresentando sua viabilidade de aplicação em argamassas.

Corinaldesi, Mazzoli, Siddique (2016) utilizaram resíduos de subprodutos de processamento de madeira para produzir argamassas leves. O resíduo, usado em substituição ao agregado miúdo, foi usado em três diferentes porcentagens de substituição de areia natural: 2,5%, 5% e 10% em volume de areia. Os resíduos da madeira foram umedecidos em água e, por vezes, em solução aquosa de hidróxido de cálcio, a fim de obter a mineralização da madeira antes da adição à mistura de argamassa. As argamassas foram caracterizadas através de ensaios de massa unitária, resistência à compressão e à flexão, retração por secagem, absorção por capilaridade, condutividade térmica e módulo de elasticidade. A adição do resíduo de madeira produziu efeitos prejudiciais menos evidentes sobre a resistência à flexão do que a resistência à compressão, provavelmente devido à estrutura fibrosa das aparas de madeira. Adições maiores que 5% se mostraram prejudiciais a resistência mecânica. A densidade para caracterização como argamassa leve foi alcançada quando substituído a parti de 5% da areia por resíduo.

A presença do resíduo causou a redução do módulo de elasticidade. Quanto a retração por secagem, a retração se apresentou maior na presença de resíduos de madeira e a razão, provavelmente, está na alta absorção de água dos resíduos de madeira. A adição de resíduos de madeira mostrou uma influência positiva na redução da resistência à permeabilidade ao vapor de água

e da condutividade térmica, o que resultou em uma redução de 25% pela adição de 5% de resíduos; entretanto a absorção de água capilar aumentou conforme maior presença do resíduo.

Bederina *et al.* (2013) realizaram a análise da durabilidade de argamassas expostas a soluções químicas quanto a substituição parcial e completa da areia siliciosa por areia britada calcária. Para isso os corpos-de-prova foram expostos a três ambiente: ao ar livre, numa solução contendo cal e noutra contendo ácido clorídrico (HCl). As amostras foram substituídas nas seguintes proporções: 0, 25, 50, 75 e 100%. Foram analisadas a trabalhabilidade, resistência mecânica à compressão e à tração, perda de massa, absorção por capilaridade, resistência a ataques de HCl.

Os resultados demonstraram que no ambiente calcário, todas as argamassas foram submetidas a ganhos de massa, enquanto em solução ácida foram submetidas a perdas de massa. Com areia calcária, a resistência à compressão e à tração na flexão, é melhor em qualquer ambiente de conservação: ar livre, solução de calcário ou em solução ácida. Uma substituição total aumenta a resistência mecânica, em 180 dias, de 24,73% ao ar livre, de 33,94% em água de cal e de 57,97% em solução de HCl. Comparado ao ambiente de cal, a absorção capilar é maior no caso de argamassas conservadas em solução ácida devido ao aumento da porosidade devido ao ataque ácido. Os estudos concluem ainda que a cal é um ambiente benéfico para a cura da argamassa, enquanto o ácido clorídrico é um ambiente agressivo. Realizando a substituição total da areia, o coeficiente de absorção capilar diminui de 22,5% no caso da solução de HCl, enquanto diminui de apenas 4,28% na solução com cal.

Outros tipos de resíduos têm sido estudados, como a borracha reciclada. Guelmine, Hadjab e Benazzouk (2016) analisaram o efeito de temperaturas elevadas nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa de borracha reciclada. Os corpos-de-prova foram submetidos as seguintes temperaturas: 150, 200, 300 e 400°C. Foram moldados corpos-de-provas com 3, 6 e 9% de areia por borracha, além de um corpo de prova de referência sem resíduo. Os resultados deste estudo mostraram que a argamassa contendo resíduo superior a 3% é sensível a temperaturas elevadas. Até este limite, pode-se utilizar a

argamassa com resíduo em materiais à base de cimento com segurança, sem risco de combustão em caso de incêndio. Além disso, para todas as amostras, temperaturas acima de 200°C aumenta significativamente a perda de massa.

Foi analisado ainda a resistência à compressão dos corpos-de-prova, os resultados descrevem quanto a utilização do resíduo, a substituição apresenta baixa interferência na resistência à compressão para exposições térmicas de até 300°C, mas tem um forte efeito para 400°C. Quanto a resistência à tração, os valores são convergentes até 200°C para todas as argamassas aquecidas, mas são divergentes além deste valor. O trabalho conclui que a substituição até 9% não tem efeito sobre a estabilidade físico-mecânica da argamassa de borracha para exposições térmicas até 200°C.

A escória de aço foi utilizada como substituto do agregado miúdo em argamassa por Santamaría-Vicario *et al.* (2016), que analisou os efeitos da substituição na durabilidade das argamassas. Os corpos-de-provas foram submetidos a ciclos de congelamento e descongelamento, ciclos de molhamento seco, ambientes marinhos, ensaios de cristalização de sal e atmosferas industriais. Além dos ensaios de resistência à compressão e à tração, comparativa entre corpos-de-provas submetidos a envelhecimento acelerado e os curados normalmente durante 90 dias. As substituições foram de 0, 25, 50, 75 e 100%, foi ainda utilizado aditivos para melhorar a consistência das argamassas. A substituição de 100% de areia por escória de aço permitiu obter resistências acima de 15 MPa aos 28 dias, aos 90 dias pode chegar a 20 MPa, apresentando elevada densidade.

As argamassas ainda apresentaram bons resultados nos testes de durabilidade, sem mudanças em sua aparência nem perda significativa de material após os ensaios, garantindo a estabilidade das argamassas nos ensaios frente às ações de envelhecimento acelerado. A perda ou variação de peso no ensaio a congelamento foi inferior a 3%, o que permite classifica como um material resistente ao congelamento.

Baali *et al.* (2011) realizaram um estudo experimental no qual investigou a possibilidade de fazer uma argamassa com areia ternária, com agregados finos naturais e artificiais, com o intuito de corrigir a distribuição de tamanho de

partícula de várias areias usadas em argamassa. A composição da areia ternária foi realizada com areis siliciosa (AS), areia de escória (AE) e areia de resíduo de tijolos (AT). A composição foi caracterizada quanto a densidade, porosidade, módulo de finura, areia equivalente, tamanho de partícula distribuição, absorção de água e posteriormente as propriedades das argamassas frescas e endurecidas foram analisadas.

Foram realizadas as seguintes composições de areia ternária: M0 (100%AS + 0%AE + 0%AT), M1 (70%AS + 5%AE + 25%AT), M2 (70%AS + 10%AE + 20%AT), M3 (70%AS + 15%AE + 15%AT), M4 (70%AS + 20%AE + 10%AT) e M5 (70%AS + 25%AE + 5%AT). Os resultados quanto a resistência mecânica demonstra que a amostra M3 com 70% de areia siliciosa, 15% de areia de escória e 15% de areia de resíduo de tijolos melhoraram significativamente a resistência a compressão e à tração. O resultado se deve ao melhor empacotamento dos grãos, que permitiu uma menor porosidade, consequentemente maior densidade.

Para o desenvolvimento de argamassas de assentamento, *Fontes et al.* (2016) utilizaram rejeitos de minério de ferro de barragens de rejeito para substituir o agregado. Três misturas foram produzidas: argamassas convencionais, argamassas com substituição completa do agregado natural e argamassas com substituição da cal nas proporções de 10% 20, 50% e 100%. Os autores constaram a maior densidade das argamassas com resíduo, assim como maior consumo de água para adequada consistência e plasticidade, todavia apresentaram melhor desempenho mecânico aos 28 dias, colaborando com os resultados apresentados por *Santamaría-Vicario et al.* (2016).

Farinha, Brito e Veiga (2015) analisaram o uso de resíduos de louças sanitárias como agregado fino na produção de argamassa. Foram efetuadas substituições em percentuais de 0%, 10%, 15% e 20% do volume de agregados naturais. O trabalho estudou o comportamento da resistência mecânica, absorção de água, retenção de água, instabilidade dimensional e permeabilidade à água. De maneira geral, as argamassas modificadas apresentaram, na maioria dos ensaios, melhor desempenho que a argamassa de referência, sem adição. A argamassa com adição de 20% de resíduo apresentou o melhor desempenho

de todas as argamassas com adição, principalmente em termos de maior resistência e menor absorção de água.

Camarini e Soares (2018), estudaram as propriedades de argamassas de cimento produzidas com resíduo de isolador de porcelana. Foram avaliados o desempenho de pastas e argamassas nos estados fresco e endurecido quando se utiliza o resíduo substituindo o cimento e também a areia natural. O cimento foi substituído pelo pó (0%, 10%, 20%, e 30%) e a areia natural foi substituída pela areia de resíduo (0%, 25%, 50%, 100%). Nas pastas foram determinados os tempos de pega, a consistência, as resistências à compressão e à tração na flexão, e a permeabilidade ao ar nas idades de 7, 28 e 90 dias. Os resultados indicaram que o aumento da quantidade de resíduo aumentou o tempo de pega e a perda de fluidez. A quantidade de areia de resíduo interferiu nas resistências mecânicas das argamassas, entretanto quando analisado individualmente as argamassas apresentaram aumento de resistência com a idade, apresentando bons resultados, indicando sua possibilidade uso em argamassas.

A utilização de resíduos para a produção de argamassas de restauro também vêm sendo pauta das pesquisas sobre argamassa. Breitenbach *et al.* (2017), estudaram a adição de resíduo do polimento de porcelanato em argamassas de restauro à base de cal, aplicando ao traço de 1:3 (cal, agregado miúdo). Foram realizadas adições entre 5 e 30%, além de uma amostra de referência. Foram realizados ensaios de consistência, densidade de massa aparente, retenção de água e teor de ar incorporado no estado fresco. No estado endurecido foram avaliadas a resistência mecânica à tração, flexão e compressão e aderência, aos 90 dias de idade.

Os resultados mostraram que a substituição de areia por resíduo aumentou densidade e compacidade, diminuindo o teor de ar incorporado. As argamassas com concentrações de resíduo entre 10 e 20% apresentaram melhores propriedades no estado endurecido, com ganho em retração livre, maior resistência mecânica e aderência. A pesquisa, apresentou resultados satisfatórios quanto aos parâmetros analisados, sendo viável para a contribuição em obras de restauro arquitetônico.

2.7 Materiais produzidos com scheelita

Com o intuito de apresentar uma destinação para o resíduo de scheelita, pesquisadores têm desenvolvido estudos quanto a utilização do resíduo da scheelita no desenvolvimento de novos produtos, ou ainda como substituto ou incorporação de materiais de construção, como concretos, argamassas e pavimentação. A essa incorporação objetiva-se conservar a qualidade e/ou produzindo novos produtos com propriedades equivalentes ou melhores, além da destinação aos resíduos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (MACHADO, 2012).

Gerab (2014), estudou a utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias. Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, caracterização do pavimento através do ensaio de compactação e CBR, e por fim a caracterização mecânica através dos ensaios de cisalhamento direto, nas condições inundadas e não inundadas. Foi constatada a viabilidade técnica da utilização do resíduo grosso compactado na energia modificada em camadas de sub-base de pavimentação. Nas energias intermediária e normal analisou-se ser viável sua utilização como camadas menos nobres, como por exemplo, o subleito, devido a valores do CBR superiores ao valor exigido pela norma do DNIT.

Ainda sobre aplicações em pavimentação, Farias Filho (2017), realizou um estudo da viabilidade técnica resíduo fino e grosso oriundos do beneficiamento da scheelita na composição de concretos asfálticos. Os resíduos foram oriundos da Mina Brejuí, Currais Novos/RN. O resíduo foi incorporado nas seguintes porcentagens para fração grossa: 6, 10, 14, 18 e 22%, um traço com 14% da fração grossa e 4% da fração fina, além de dois traços de referência: um com areia natural e outro com 14% de areia natural e 4% do resíduo fino. Em seguida os materiais foram submetidos a ensaios de caracterização; posteriormente a mistura asfáltica foi submetida aos ensaios de caracterização: ponto de amolecimento, ponto de fulgor, viscosidade, densidade e penetração.

A fração grossa do resíduo do beneficiamento da scheelita *in natura* apresentou-se viável para ser utilizada como agregado miúdo artificial em concreto betuminoso usinado a quente. Para a fração fina do resíduo, foi

verificado a viabilidade para a aplicação como *microfiller* artificial, porém depois da realização de processos para melhoramento de qualidade através de peneiramento. Por fim, concluir que o estudo apresenta indicativos da viabilidade da utilização do resíduo de scheelita em concretos asfálticos.

Linhares e Silva (2014), ainda realizaram estudos sobre a aplicação de resíduo de scheelita em camadas granulares de pavimento. Foram analisadas amostras de solo natural e do resíduo de scheelita quanto a granulometria, consistência e capacidade de suporte através do ensaio de CBR. Inicialmente foi realizado o ensaio de CBR com 60% de solo e 40% de resíduo, sendo preparados na umidade pré-determinada no ensaio de Proctor Normal. Os resultados experimentais mostram que o rejeito da scheelita incorporado no solo não apresentou acréscimo de capacidade de suporte ao solo. Em seguida, foram moldados dois corpos-de-prova com 100% de resíduo da scheelita e outro com 100% de resíduo e 1% de cimento em massa. A capacidade de suporte para ambas as amostras foi satisfatória, apresentando valores de capacidade de suporte viáveis para aplicação em sub-base e base de pavimentos.

Alves *et al.* (2016) realizaram um estudo comparativo entre o agregado miúdo comumente utilizado na construção de civil para produção de concretos e argamassas e o resíduo da scheelita. Foram analisadas as curvas granulométricas, massa específica e massa unitária da areia e resíduo de scheelita. Como conclusão, a análise apresentou dentro dos parâmetros estudados a aproximação entre os valores da areia utilizada no mercado e o do resíduo de scheelita, indicando possibilidades de sua utilização como substituto do agregado miúdo em argamassas e concretos.

Neto *et al.* (2016), realizou a substituição do agregado miúdo em argamassas por resíduo de scheelita, buscando analisar o comportamento da consistência ao se manter os demais parâmetros constantes, alterando apenas a porcentagem de resíduo substituído. Dessa forma, foram realizados três traços, um de referência com 100% de areia, outro com 20% de scheelita e outro com 40% de scheelita substituindo a areia. O traço utilizado foi 1:3:0,6 (cimento, agregado miúdo e água). Os resultados apontaram que conforme se aumenta a participação do resíduo de scheelita ocorre um aumento no espalhamento da

argamassa, ou seja, ocorre o aumento da sua consistência, os resultados de caracterização da scheelita indicam que a sua composição química esteja influenciando para uma maior consistência.

Medeiros *et al.* (2018), analisaram a viabilidade de resíduos de mineração, incluindo resíduo de scheelita para aplicação em atividades geotécnicas. Foram realizados os ensaios de caracterização física: análise granulométrica, massa específica, limites de Atterberg. Ensaios mecânicos: Proctor intermediário, compressão simples, índice de suporte Califórnia (ISC) e cisalhamento direto. Assim, constatou-se a viabilidade da utilização dos resíduos em subleito e sub-base para pavimentação, filtros e camadas de base de aterros e como incremento em muros de arrimo.

O resíduo da scheelita foi também estudando por Paiva (2013), através da avaliação de concretos de cimento Portland utilizando a scheelita como substituto do agregado miúdo. Foi analisada a substituição do resíduo nas seguintes proporções: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%, produzidos 11 traços de concreto na proporção 1:2:3:0,60, em massa. Os concretos foram analisados quanto a trabalhabilidade, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água, índice de vazios e massa específica. O traço com substituição de 60% do resíduo de scheelita obteve os melhores resultados quanto aos parâmetros analisados de durabilidade e resistência.

Medeiros (2016), realizou a análise de argamassas de revestimento utilizando o resíduo da scheelita. Na pesquisa foi utilizado o resíduo grosso da scheelita em substituição ao agregado miúdo nas argamassas. Os seguintes traços foram estudados: 1:1:6 (cimento: cal: areia) e 1:3 (cimento: areia), ambos em volume, com percentuais de substituição ao agregado miúdo nas seguintes porcentagens: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. As argamassas foram analisadas no estado fresco quanto a ensaios de consistência, densidade de massa, retenção de água e teor de ar incorporado e no estado endurecido através dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, densidade de massa, absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade e módulo de elasticidade dinâmico.

No estado fresco as argamassas apresentaram maior retenção de água, portanto, mais água de amassamento. A densidade de massa apresentou resultados maiores (cerca de 5% maior) e o teor de ar incorporado, menores (cerca de 2% menor) em relação à argamassa de referência, originando argamassas mais densas e com menor trabalhabilidade. No estado endurecido a substituição de 100% no traço de 1:3 obteve os melhores resultados de resistência mecânica. A densidade manteve-se correlato a densidade de massa, a absorção por capilaridade e imersão foram superiores ao traço de referência. Com os resultados foi possível indicar a viabilidade da utilização do resíduo de scheelita em argamassas de revestimento.

Tijolos de solo-cimento também foram analisados quanto a substituição do solo por scheelita. Oliveira *et al.* (2018), realizaram a análise de blocos de solo cimento, substituindo em 9, 18, 27, 36 e 45% o agregado miúdo por resíduo de scheelita. O traço utilizado foi 1:9,0:1 (cimento, areia e água), e conformados blocos de geometria paralelepipedal, os blocos foram rompidos aos 28 dias. Os resultados demonstraram que a substituição de 27% obteve o melhor resultado na resistência à compressão aos 28 dias.

Carlos (2018) analisou o efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento térmico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos. Foram preparadas cinco formulações de massas cerâmicas variando-se as proporções das matérias-primas resíduo de scheelita, argila de queima branca, caulim, frita branca, feldspato, silicato de zircônio e carboximetilcelulose (CMC). Os corpos-de-prova foram preparados em uma prensa hidráulica uniaxial com pressão de 25 MPa e sinterizados em forno resistivo nas temperaturas de 1050°C, 1075°C e 1100°C, com patamar de 60 minutos e taxa de aquecimento de 20°C/min.

Quanto as propriedades físico-mecânicas, foram realizados ensaios de retração linear, absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente e resistência à flexão dos corpos cerâmicos. A superfície de fratura foi caracterizada morfológicamente por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados demonstraram a possibilidade de substituição do quartzo por resíduo de scheelita, sendo as peças sinterizadas a 1200°C com melhores

aspectos vítreos e brilho satisfatório visualmente. As amostras com 20 e 24% do resíduo de scheelita apresentaram melhores aspectos ópticos, e análises térmicas, reológicas e mecânicas satisfatórias.

Ainda sobre a utilização em matriz cerâmica, Machado (2012) estudou a adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica, analisando sua formulação, propriedades físicas e microestrutura. A incorporação foi realizada nas proporções de 5, 10, 20, 30 40 e 50% de scheelita em matriz cerâmica caulinítica, proveniente do município de Boa Saúde – RN. Os corpos-de-prova foram conformados e queimados nas temperaturas de 85°C, 900°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1200 °C, com isoterma de 1 hora e taxa de aquecimento de 10°C/min. Foram realizados ensaios quanto a Perda ao Fogo, Absorção de Água, Porosidade Aparente, Massa Específica Aparente e Tensão de Ruptura à Flexão e Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados dos ensaios demonstraram ser satisfatórios quanto a utilização para produção de telhas e blocos cerâmicos, tendo a adição de 20% obtidos os melhores resultados quanto as propriedades analisadas.

2.8 Materiais com substituição da água de amassamento

Ismail e Al-Hashmi (2011) analisaram a produção de concretos que substituíram a água de amassamento por efluentes industriais liberados da fábrica de resina de acetato de polivinila. Foram analisadas a resistência à compressão, resistência à flexão e densidade seca das misturas de concreto. Os resultados indicam que a substituição de água doce por efluente não tem efeitos adversos notáveis nas resistências à compressão das misturas de concreto, assim como na resistência à tração. A densidade dos concretos que utilizaram efluentes se apresentaram ligeiramente mais elevadas que a amostra padrão, sendo associado ao fato do efluente apresentar densidade maior que da água convencional. O trabalho conclui que a substituição total é viável para a produção de concretos.

Ainda em concretos, Al-Jabri *et al.* (2011) avaliaram o uso de águas residuais nas propriedades de concreto de alta resistência. As águas residuais foram obtidas de lavas jatos. Foi realizado um comparativo químico entre a água residual e água convencional, os resultados apresentaram diferenças entre as

amostras, entretanto dentro dos limites estabelecidos pelas normas americanas. Foram realizadas substituições entre 25 e 100% da água convencional. Os resultados apresentaram que não houve interferência quanto ao comprometimento das resistências à tração e à compressão, assim como a absorção de água, demonstrando ser possível sua substituição total em concretos de alta resistência.

De maneira semelhante Asadollahfardi *et al.* (2015) realizaram estudos experimentais do uso de águas de lavagem de caminhão betoneira na produção de concreto. O trabalho realizou a mistura de água convencional e água de lavagem dos caminhões. Foi ainda realizada a análise estatística, a qual mostrou que a resistência mecânica dos concretos não foi significativamente afetada pela substituição da água convencional. Assim como não houve significativa alteração no tempo de pega do cimento.

Do mesmo modo, Malaguti (2016) avaliou a resistência a compressão em concretos que utilizaram água de reuso e resíduos gerados pela lavagem de caminhões betoneiras. Os resultados apresentaram que a utilização da água de reuso não interferem na resistência à compressão de novos concretos, assim como o resíduo de lavagem que não apresentou nenhum elemento diferente na hidratação do cimento, assim como não interferiu na trabalhabilidade do concreto. Afirma por fim, ser viável a substituição da água de amassamento por água de reuso.

Oliveira *et al.* (2016) analisaram a possibilidade do reuso da água da chuva na produção de blocos de concreto não estrutural. A água coletada e armazenada foi submetida a estudos que apontaram a presença de corpos estranhos que foram removidos através da utilização de peneiras e filtros tornando a água própria para a fabricação. Os estudos afirmaram a qualidade da água, e sua capacidade para produção de blocos sem interferência em suas propriedades. O resultado apontado pelos autores foi a viabilidade de produção, redução de custos com água e possibilidade de iniciar uma produção de aspecto sustentável.

Água cinzenta foi analisada por Ghair *et al.* (2018) quanto a influência nas propriedades físicas de argamassas e concretos. Foram utilizadas água

cinzenta tratada e água cinzenta bruta nas composições. Os resultados apresentaram uma sutil elevação no tempo de pega e redução no *slump* para os concretos. Nas argamassas não houveram mudanças significativas. Quanto as propriedades mecânicas todos os resultados demonstraram-se satisfatórios para argamassas e concretos, nas idades de 7, 28, 120 e 200 dias, tendo apresentado significativa resistência à compressão aos 7 dias, para ambos materiais.

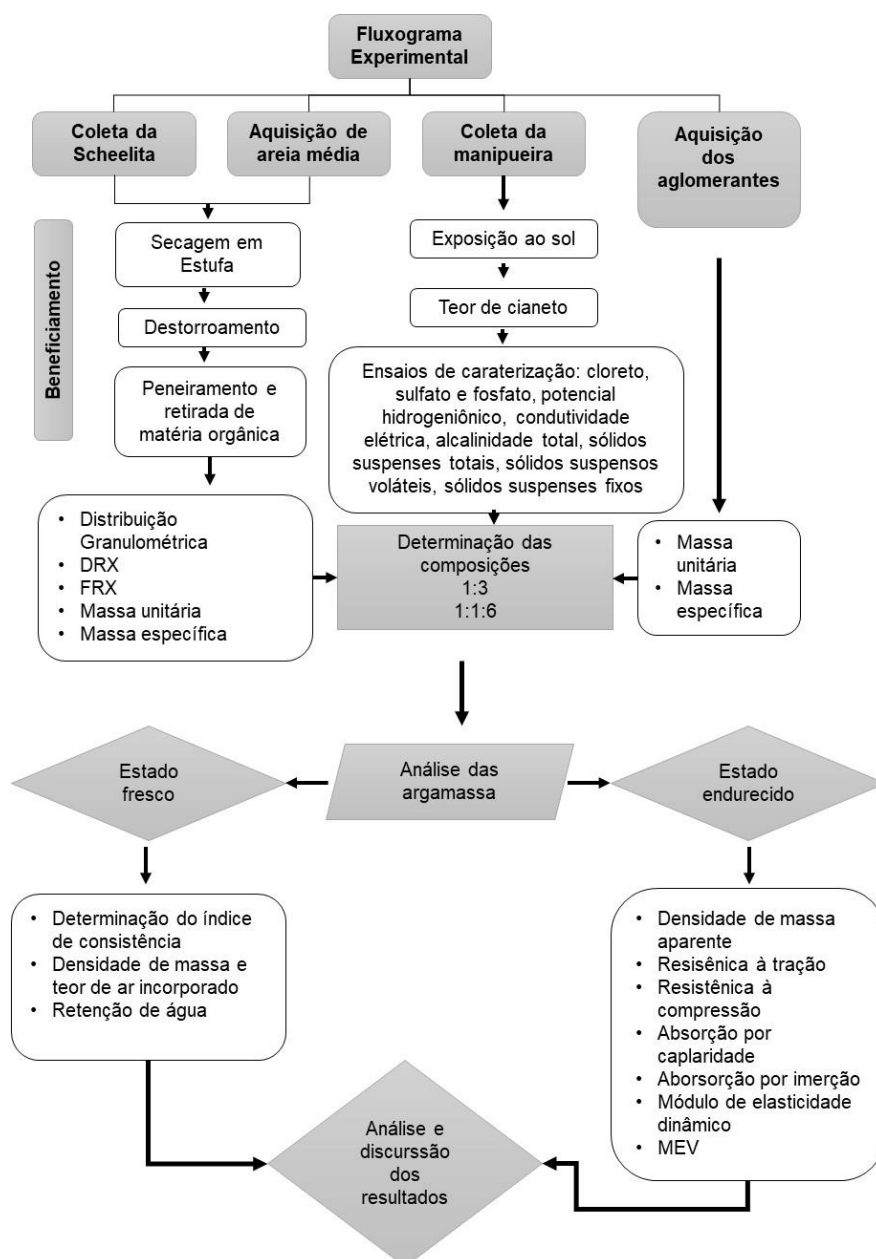
Meena e Luhar (2019) realizam a análise das águas residuais nas propriedades do concreto. Foram utilizadas águas residuais tratadas terciárias, águas residuais tratadas secundárias e água convencional para as composições. Foi utilizada a relação água/cimento de 0,47 para todas as amostras. Os resultados apresentaram que as resistências à flexão das amostras com 100% de substituição foram significativas com a amostra padrão. A resistência à compressão apresentou de 85 a 94% da resistência do concreto padrão, estando dentro dos limites normativos. Todavia, foi constatado o aumento do teor de cloreto conforme maior presença de águas residuais.

CAPÍTULO 3

Materiais e Métodos

Neste capítulo, será feita a descrição dos materiais e métodos utilizados. A Figura 11 abaixo apresenta o fluxograma do procedimento experimental da pesquisa.

Figura 11 – Procedimento experimental



Fonte: Autor (2019).

3.1 Materiais

Neste item são descritos os materiais que foram utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

3.1.1 Areia

Foi utilizado na pesquisa areia média, comprada no comércio local. Sendo esse tipo de areia comumente utilizada nos traços de argamassa de assentamento no Brasil.

3.1.2 Resíduo do beneficiamento da scheelita

O resíduo de scheelita utilizado nas formulações foi proveniente da mina Brejuí, localizada no município de Currais Novos/RN. Foram coletados aproximadamente 70 kg do resíduo fino e 70 kg do resíduo grosso da scheelita. A coleta foi realizada nos pátios destinados ao rejeito da scheelita e utilizado como área de amostragem as regiões internas a pilha de resíduo, a cerca de 80 cm de profundidade e na região central do montante de resíduo. Na Figura 12 é apresentado os dois tipos de resíduos antes do processo de homogeneização.

Figura 12 – Resíduo Grosso e Fino do beneficiamento da scheelita.



Fonte: Autor (2019).

3.1.3 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento composto CP II F-40. Optou-se por esse tipo de cimento devido a facilidade de aquisição na cidade de Natal/RN, além da necessidade de se utilizar um cimento sem a presença de pozolanas, que poderiam interferir na análise de possíveis reações pozolânicas nas formulações. O cimento foi armazenado em um local seco, longe de umidade e intempéries para conservar as suas propriedades.

3.1.4 Cal

A cal utilizada cal hidratada, CH-II (NBR 7175/2003), Rebocal, fabricada no município de Campina Grande/ PB.

3.1.5 Água

A água utilizada, foi proveniente do sistema de abastecimento público da cidade de Natal/RN, fornecida pela concessionária local, a CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte.

3.1.6 Manipueira

O efluente foi coletado em casas de farinha de pequeno porte, localizadas na cidade de Lagoa Nova/RN, apresentando aspecto conforme Figura 13.

Figura 13 – Manipueira líquida.



Fonte: Autor (2019)

3.2 Métodos

O procedimento experimental contou com a etapa de aquisição de materiais, passando pela caracterização dos materiais e desenvolvimento das formulações, conforme descritos na Figura 11. Em seguida foi realizada a análise no estado fresco e endurecido das argamassas conforme ensaios normatizados.

3.2.1 Beneficiamento dos materiais

3.2.1.1 Beneficiamento da scheelita

O Resíduo de Scheelita grosso e fino obtido passou pelas etapas de secagem em estufa a temperatura de 105°C por 24 horas para retirada da umidade presente nas amostras. Posteriormente, devido a presença de pequenas raízes que contaminavam as amostras, o resíduo foi peneirado na peneira de número 8, malha 2,36mm, para retirada das raízes. Por fim foram armazenadas em sacos plásticos e tambores com o intuito de se evitar o umedecimento da amostra.

Foi realizado ainda a análise granulométrica das composições entre os dois tipos de resíduo de scheelita, grosso e fino, como o intuito de se obter um melhor empacotamento das partículas (Recena, 2012). Dessa forma, foram analisadas as massas específicas das proporções apresentadas na Tabela 12, baseadas no estudo de Baali *et al.* (2011) que analisou diversos intervalos de substituições entre três tipos de resíduos com o mesmo objetivo:

Tabela 12 – Porcentagens utilizadas para análise do ajuste granulométrico.

Resíduo	Grosso	Fino
Porcentagem (%)	0	100
	25	75
	50	50
	75	25
	100	0

Fonte: Autor (2019).

3.2.1.2 Beneficiamento da manipueira

A manipueira foi submetida ao processo de filtragem simples para retirada do excesso de matéria orgânica contida na amostra. Além disso, a manipueira foi exposta ao sol durante o dia, e em ambiente coberto e arejado para reduzir a

quantidade de cianeto presente na amostra. Segundo Tokarnia *et al.* (2012) através desse procedimento a manipueira reduz o teor de cianeto reduzido pela metade em 24h podendo chegar a menos de $\frac{1}{4}$ com 48h.

3.2.1.3 Beneficiamento da areia

A areia média foi seca em estufa por 24 horas a 105° C para retirada de umidade, em seguida peneirada na peneira número 8 ABNT (2,36 mm) para retirada de matéria orgânica presentes. Posteriormente foi armazenada em sacos e posto em um recipiente plástico com tampa para se evitar o seu umedecimento, sendo armazenado em um local coberto, e protegido da ação das intempéries.

3.2.2 Caracterização dos materiais

3.2.2.1 Caracterização da manipueira

Foi realizado ensaio de determinação de cianeto no laboratório Bioagri em Paulista-PE. Os ensaios de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, alcalinidade total, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos fixos e cor, foram realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Os ensaios de macronutrientes e micronutrientes, cloreto, sulfato e fosfato, foram realizados no laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Os ensaios tiveram o objetivo de apresentarem os componentes que pudessem nortear as possíveis interferências no processo de hidratação do cimento, como o ph.

3.2.2.2 Caracterização dos agregados e aglomerantes

3.2.2.2.1 Análise granulométrica

O ensaio foi realizado conforme a NBR 7181 – Solo - Análise granulométrica, realizado no Laboratório de Mecânica do Solos da UFRN. Através do ensaio foi possível conhecer o módulo de finura e dimensão máxima característica no material em análise.

3.2.2.2 Massa unitária

A massa unitária da areia e a melhor composição entre os resíduos de scheelita grosso e fino foram realizados conforme determinações da NBR NM 45 (2006) - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

3.2.2.3 Massa específica

Foram determinadas as massas específicas da areia e scheelita conforme a NBR 6508 (ABNT, 1984) no laboratório de Mecânica dos Solos da UFRN. Os aglomerantes, cimento e cal e suas respectivas massas específicas foram determinadas conforme a NBR 16605/2017 “Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica” NBR 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

3.2.2.3 Fluorescência de Raios-X (FRX) dos resíduos.

A manipueira, e o resíduo da scheelita (grossa e fina) foram submetidos ao ensaio de caracterização de espectrometria de fluorescência de raios X, que consiste em uma técnica não destrutiva para determinação quantitativa dos óxidos presentes, permitindo conhecer a composição química do elemento. O ensaio foi realizado no Laboratório de Difração e Fluorescência de raios-X, no Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, através do espectrômetro EDX-720 da Shimadzu.

3.2.2.4 Difração de Raios-X (DRX) das matérias-primas

A difração de raios-x é uma análise que permite conhecer a composição mineralógica dos materiais. A análise foi realizada no resíduo da scheelita. O ensaio foi realizado no Laboratório de Difração e Fluorescência de raios-X, no Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, através do aparelho Shimadzu XRD-6000, com radiação de Cu-K α e ângulo de varredura (2θ) de 0° a 80°, para identificação das fases mineralógicas presentes. As amostras foram devidamente peneiradas na peneira ABNT n°200 (0,075mm).

3.2.3 Formulações

Foram utilizados 2 traços para análise nos quais se buscou estudar a substituição do agregado miúdo e da água de hidratação por resíduo de scheelita e manipueira, respectivamente. O resíduo de scheelita utilizado nas argamassas trata-se da composição entre os resíduos grossos e finos que conferiram um melhor empacotamento dos grãos e, logo, maior densidade, conforme apresentado. O primeiro traço, na proporção de 1:3 em volume, teve por objetivo analisar o comportamento específico da hidratação do cimento na presença da manipueira e a influência da substituição do agregado miúdo pelo resíduo, salienta-se que o traço de 1:3 é um traço bastante empregado em trabalhos científicos, como apresentado por Breitenbach *et al.* (2017). O segundo traço foi o 1:1:6 (em volume), no qual se objetivou analisar os mesmos parâmetros que no traço 1:3, mas adicionando a cal como aglomerante. O traço 1:1:6 é o traço mais comumente utilizado na indústria da construção civil e em trabalhos científicos, como cita Medeiros (2016). A Tabela 2, apresenta o quadro resumo das composições.

Tabela 13 – Nomenclatura das composições produzidas.

Traço	Nº	Nomenclaturas	Composições
1:3 Cimento: Areia	1	C+RS+M	Cimento+ Resíduo da Scheelita + Manipueira
	2	C+RS+H	Cimento+ Resíduo da Scheelita + água
	3	C+A+M	Cimento+ Areia Média + Manipueira
	4	C+A+H	Cimento+ Areia Média + água
1:1:6 Cimento: Cal: Areia	5	C+L+RS+M	Cimento+ Cal+ Resíduo da Scheelita + Manipueira
	6	C+L+RS+H	Cimento+ Cal+ Resíduo da Scheelita + água
	7	C+L+A+M	Cimento+ Cal +Areia Média + Manipueira
	8	C+L+A+H	Cimento+ Cal + Areia Média + água

Fonte: Autor (2019).

3.2.4 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Foram moldados corpos-de-prova prismáticos nas dimensões 40x40x160mm. Os corpos foram moldados conforme a NBR 13279 (2005), adensados na mesa de consistência em duas camadas. Os corpos-de-prova foram desmoldados após 48h e mantidos sob temperatura ambiente até as idades de ensaio, 7, 14 e 28 dias, foi escolhido manter ambos os traços a temperatura ambiente uma vez que se objetivava analisar o efeito isolado da

manipueira na estrutura da argamassa, e sua cura submersa em água poderia dificultar essa análise. A Figura 14 apresenta o corpos-de-prova após a moldagem.

Figura 14 – Corpos-de-prova moldados.



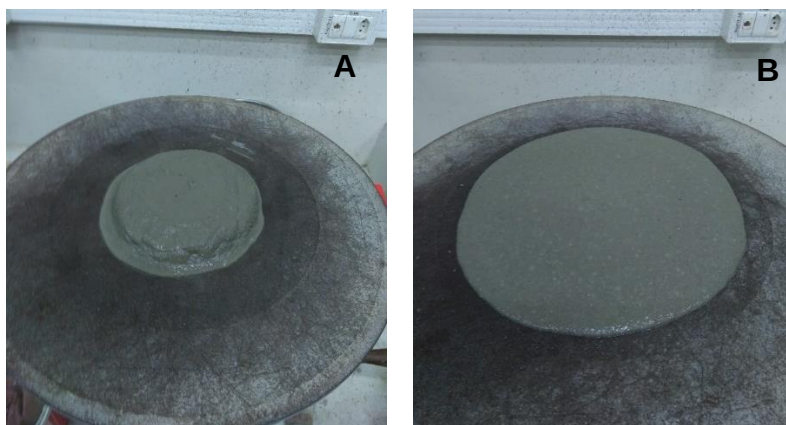
Fonte: Autor (2019).

3.2.5 Ensaios das argamassas no estado fresco

3.2.5.1 Ensaio de consistência das argamassas

O ensaio de consistência, realizado conforme a NBR 13276 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, foi executado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. O ensaio de consistência foi aplicado para determinação da quantidade de água a utilizar nas composições, fixando-se o índice de consistência em 260 ± 5 mm, conforme recomendação da norma. O ensaio foi realizado adicionando-se água/manipueira e obtendo espalhamento, de maneira que foi possível criar um gráfico espalhamento *versus* materiais secos e obter a quantidade de água/manipueira para o espalhamento de 260 ± 5 mm, conforme apresentado na Figura 15. Destaca-se que a argamassa foi testada por pedreiro o qual verificou a sua viabilidade técnica de aplicação.

Figura 15 – Ensaio para determinação do índice de consistência antes (A) e depois (B) da realização.



Fonte: Autor (2019).

3.2.5.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio foi realizado conforme descrito na NBR 13278 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, conforme indicado na Figura 16. Foi executado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, sendo realizado para todos os traços em análise.

Figura 16 – Ensaio para determinação do teor de ar incorporado e densidade de massa, tara do cilindro + tampa (A) e com argamassa (B).



Fonte: Autor (2019).

3.2.5.3 Retenção de água das argamassas

O ensaio procedeu seguindo as orientações da NBR 13277 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água, Figura 17. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. O ensaio teve por objetivo perceber a capacidade de retenção das argamassas, uma vez que a retenção de água é fator importante para a hidratação do cimento (RECENA, 2012).

Figura 17 – Ensaio para determinação da retenção de água das argamassas.



Fonte: Autor (2019).

3.2.6 Ensaios das argamassas no estado endurecido

3.2.6.1 Densidade de massa no estado endurecido

Foram moldados corpos-de-prova para a realização do ensaio de densidade de massa no estado endurecido, realizado aos 28 dias, conforme orientações da NBR 13280 (2005), sendo realizado para cada formulação. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. Na Figura 18 é apresentado corpos-de-prova com manipueira e com água; no qual é perceptível uma tonalidade mais escura nas amostras com a presença de manipueira. Além disso, as composições com manipueira apresentaram uma porosidade na face externa bastante expressiva (Figura 19), o qual é indicado pela saída dos gases voláteis presentes na manipueira. A densidade de massa permite conhecer valores que serão norteadores quanto a sua aplicabilidade.

Figura 18 – Corpos-de-prova para ensaio de densidade de massa no estado endurecido.



Fonte: Autor (2019).

Figura 19 – Porosidade aparente do corpo-de-prova com manipueira 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Fonte: Autor (2019).

3.2.6.2 Absorção de água por imersão e Índice de vazios

Para este ensaio foram moldados corpos-de-prova e seguido os procedimentos descritos na NBR 9778 (2009) - Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, realizado aos 28 dias para todas as formulações. Neste ensaio foi possível perceber com alguns elementos da manipueira interferiram na sua capacidade de absorção e na determinação do seu índice de vazios, assim como o ajuste granulométrico afetou tais propriedades que são importantes fatores para sua aplicação na construção civil. A Figura 20 apresenta os Corpos-de-prova submersos.

Figura 20 – corpos-de-prova submersos no tanque para determinação da absorção de água aos 28 dias.

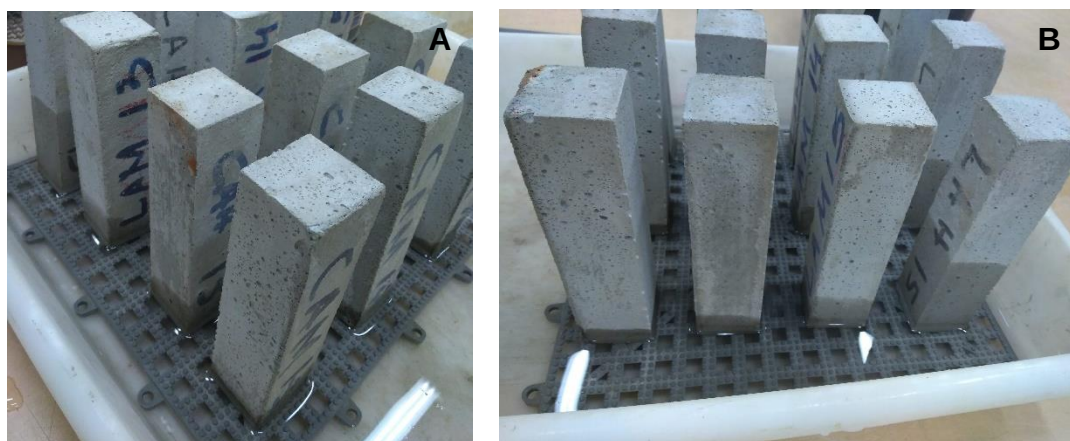


Fonte: Autor (2019).

3.2.6.3 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

O ensaio foi realizado conforme a NBR 15259 (2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, o ensaio foi executado aos 28 dias, sendo utilizado corpos-de-prova para cada formulação. O procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. A Figura 21 apresenta a mostras de corpos-de-prova ao final do ensaio, no qual é possível perceber a baixa ascensão capilar nas amostras com a presença da manipueira. A absorção de capilaridade fornece resultados que são indicativos de como está a distribuição dos poros dentro da argamassa. Tal resultado foi importante para corroborar com o sistema que o ajuste granulométrico e a manipueira criaram na argamassa, gerando alteração dessas propriedades.

Figura 21 – Realização do ensaio de absorção por capilaridade, A e B.

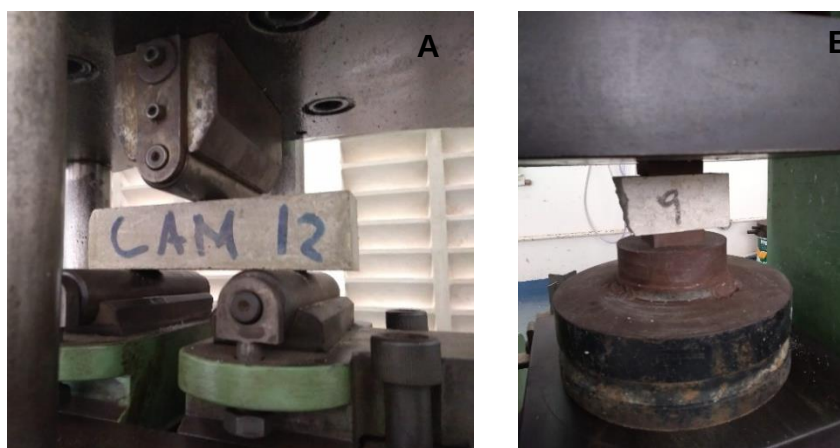


Fonte: Autor (2019).

3.2.6.4 Resistência à compressão e à tração na flexão

Normalizados pela NBR 13279 (2005), os ensaios de resistência à tração e à compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, em prensa universal (Shimadzu, modelo Autograph AG-X). Foram moldados 4 corpos-de-prova para cada idade de rompimento: 7, 14 e 28 dias (Figura 22). No ensaio de tração foi aplicada a carga a velocidade de 50 N/s, no centro do corpo de prova com distância entre apoios de 100mm. Após a ruptura à tração, os meios corpos-de-prova foram utilizados para o ensaio de resistência à compressão, o qual foi submetido a carga a uma velocidade de 500N/s. O ensaio tem por objetivo quantificar a resistência mecânica das argamassas e ter referencias para sua posterior aplicabilidade.

Figura 22 – Ensaio para determinação da resistência à tração (A) e compressão (B).



Fonte: Autor (2019).

3.2.6.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Para realização deste ensaio foi utilizado o equipamento Pundit Lab+ modelo 32610001 da marca Proceq, com transdutores de 54 KHz e forma direta de leitura, sendo realizado no Laboratório de Cimentos da UFRN. Foram moldados corpos-de-prova para cada formulação e realizado o ensaio aos 28 dias, conforme a NBR 15630 (2009) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica (Figura 23). Através do módulo de elasticidade é possível estabelecer correlações entre as demais

propriedades, uma vez que ela é afetada quanto a distribuição dos poros na estrutura e a densidade do material (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

Figura 23 – Realização do ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico.



Fonte: Autor (2019).

3.2.6.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Foram analisadas as superfícies de fraturas dos corpos-de-prova moldados para análise das fases formadas durante o processo de hidratação. Foram utilizadas amostras das argamassas após o rompimento para cada idade e traço. Os ensaios foram realizados no laboratório de caracterizações do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, por meio do equipamento da marca Hitachi, modelo TM-3000. Foram realizadas aproximações de até 20.000 x para detecção dos produtos de hidratação do cimento.

3.2.6.7 Difração de raios-X (DRX) e Fluorescência de raios-x (FRX) das argamassas.

Com o objetivo de analisar a composição mineral e química da pasta de cimento com a manipueira, foram realizados ensaios para análise dos produtos hidratados gerados. O ensaio foi realizado no Laboratório de Difração e Fluorescência de raios-X, no Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, através do aparelho Shimadzu XRD-6000, com radiação de Cu-K α e ângulo de varredura (2θ) de 0° a 80°, para identificação das fases mineralógicas presentes. As amostras foram devidamente peneiradas na peneira ABNT n°200 (0,075mm).

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussões

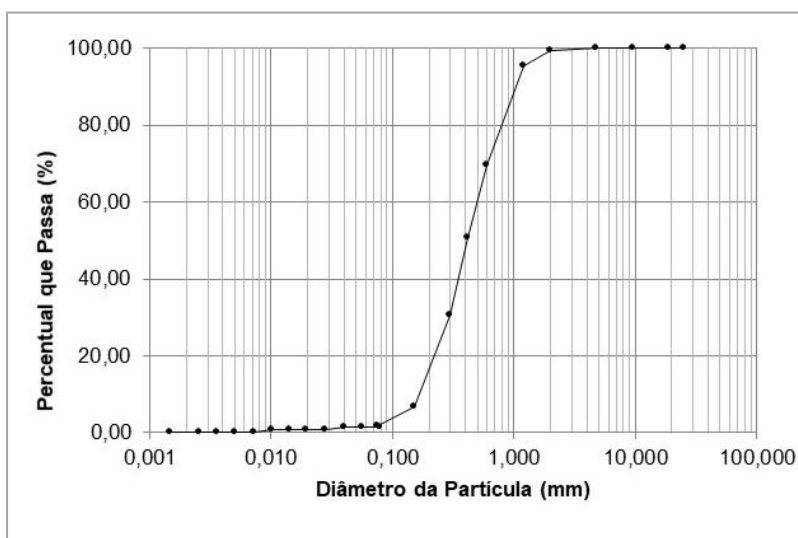
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos materiais, e na análise das argamassas em suas propriedades no estado fresco e endurecido. Além disso, foi realizada a discussão sobre os resultados e a correlação entre os mesmos e sua caracterização química, mineralógica e com o auxílio de imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

4.1 Materiais

4.1.1 Areia

A granulometria da areia é apresentada na Figura 24, apresentando diâmetro efetivo (D10): 0,171; Coeficiente de não-uniformidade (CNU): 2,977, Coeficiente de curvatura (CC): 1,019 e Módulo de Finura (MF): 1,97. A areia apresentou CNU menor que o RS, o que indica que as partículas da areia são mais uniformes, corroborando para a maior formação de vazios e consequente menor densidade que podem gerar propriedades com menores desempenhos, como a presença maior de vazios e uma argamassa com menor densidade.

Figura 24 – Distribuição granulométrica da areia.



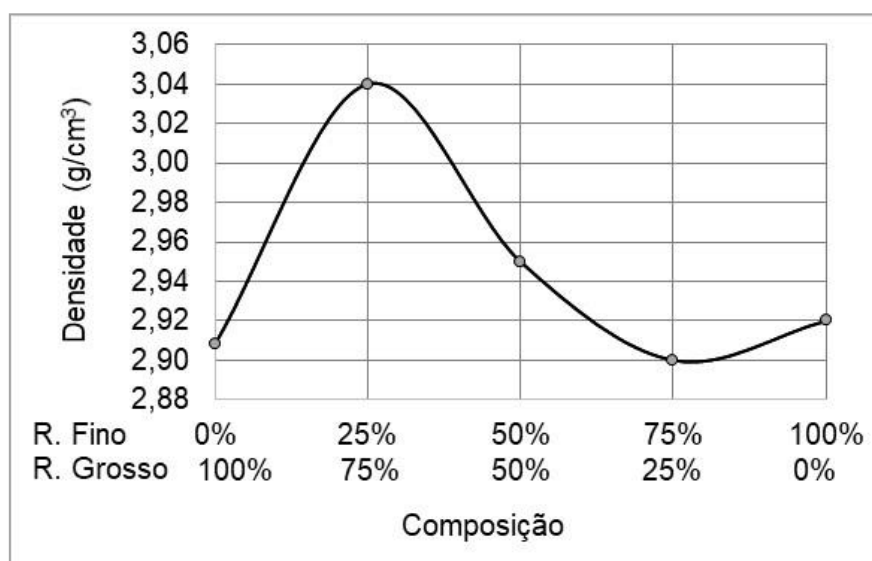
4.1.2 Resíduo do beneficiamento da scheelita

Os resultados do ajuste granulométrico no qual buscava-se melhorar o empacotamento das partículas é apresentado na Figura 25, onde pode-se perceber que a fração grossa do resíduo apresenta massa específica de 2,92 g/cm³ e a fração fina do resíduo 2,91 g/cm³.

A curva apresenta, ainda, o aumento progressivo da massa específica entre o ajuste com 0% do resíduo fino com 100% do resíduo grosso até o ponto de maior massa específica, no ajuste com 25% do resíduo fino e 75% resíduo grosso, com massa específica de 3,04 g/cm³ e unitária de 1,74 g/cm³, após esse ponto, conforme se adicionar mais partículas da fração grossa percebe-se a diminuição da massa específica.

Através dos resultados encontrados, foi definido a utilização do percentual de 25% da fração fina e 75% da fração grossa do resíduo (chamados a partir de agora de RS) para todas as formulações analisadas, uma vez que a maior densidade no agregado contribui significativamente para a obtenção de propriedades com melhores desempenho no estudo analisado, uma vez que o agregado pode corresponder até cerca de 80% do volume das argamassas (CARASEK, 2010).

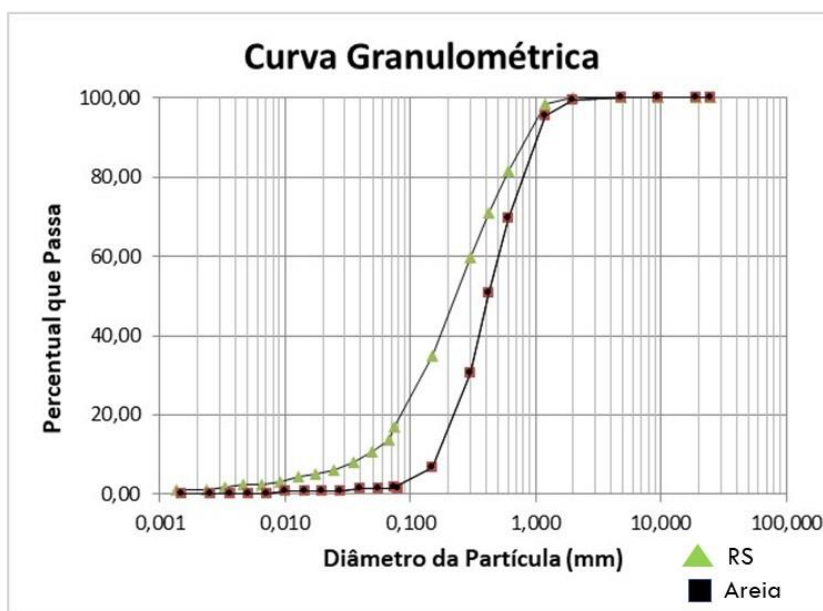
Figura 25– Densidade obtida para diferentes composições do agregado fino e grosso do resíduo do beneficiamento da scheelita.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 26 apresenta a curva granulométrica obtida para o ajuste com 25% do resíduo fino e 75% do resíduo grosso, no Figura é apresentado ainda a curva obtida para a areia média com o objetivo de perceber o ajuste nos finos realizados ao se utilizar o resíduo fino da scheelita. Na curva é possível perceber uma distribuição contínua do RS, apresentando diâmetro efetivo (D_{10}): 0,046; Coeficiente de não-uniformidade (CNU): 6,631, Coeficiente de curvatura (CC): 1,207 e Módulo de Finura (MF): 1,25. A distribuição granulométrica corrobora com o resultado apresentado referente a massa específica para essa composição, uma vez que a distribuição contínua das partículas permite a melhor acomodação das partículas e consequente redução dos vazios (BAALI *et. al.*, 2011).

Figura 26 – Distribuição granulométrica do RS.



Fonte: Autor (2019).

4.1.3 Manipueira

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização da manipueira líquida é apresentado na Tabela 14. Os resultados laboratoriais obtidos da manipueira indicam elevadas concentrações de potássio, nitrogênio, sódio, ferro e cálcio apresentando valores próximos ao apresentado na literatura por Ponte (2006); Neves *et al.*, (2014) e Nasu *et al.*, (2015). Variações nos teores são decorrentes de fatores como clima, solo e tipo de cultura, além da forma como o resíduo é armazenado.

Tabela 14 – Composição química da manipueira líquida.

Componentes	Manipueira (líquida)	Média autores*
Nitrogênio total (mg/L)	1121,0	435,1
Fósforo (mg/L)	132,0	193,1
Potássio (mg/L)	1456,0	2358,9
Cálcio (mg/L)	93,0	754,7
Magnésio (mg/L)	219,0	395,1
Enxofre (mg/L)	74	48,4
Ferro (mg/L)	117,0	17,4
Zinco(mg/L)	20,0	2,4
Manganês (mg/L)	15,0	2,5
Cobre (mg/L)	9,0	0,7
Sódio (mg/L)	351,0	51,7
Cloreto (mg/L)	545,4	-
SST: Sólidos suspensos totais (mg/L)	14563,0	6,7
Sólidos em suspensão (mg/L)	2373,0	-
pH	4,5	6,0
Cianeto Livre (mg/L)	5,62	51,4
Cianeto Total (mg/L)	8,92	-
Condutividade elétrica mS/cm	7,62	-

* Leonel, Cereda, 1995; Silva et al. 2005; Neves et al., 2014; Nasu et al., 2015; Santos et al., 2017.

Fonte: Autor (2019).

O pH da amostra foi classificado como ácido (4,5), assim como a média dos valores dos autores apresentados na dissertação (6,0). Todavia, a acidez não comprometeu as propriedades das argamassas quando comparada com as argamassas sem utilização da manipueira. A presença de sólidos totais na amostra, 14.563,00 mg/L, merece atenção, uma vez que a presença de sólidos apresentou influência nas propriedades da argamassa, como absorção por imersão, por capilaridade e resistência à compressão e tração.

A manipueira apresentou, ainda, baixo teor de Cianeto Total, 8,92 mg/L, abaixo da média apresentada pelos autores citados na dissertação (51,4 mg/L) (LEONEL, CEREDA, 1995; SILVA *et al.* 2005; NEVES *et al.*, 2014; NASU *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2017. Além disso, o teor de Cianeto Livre (5,62mg/L) ficou dentro do teto estabelecido pela NR 15 (BRASIL, 1978), a qual estabelece um limite máximo de 8mg/L em ambientes de trabalho com carga horária de até 8h por dia. Tais resultados foram importantes para a progressão das análises com a manipueira.

4.1.4 Massas unitárias e específicas

4.1.4.1 Agregados

A Tabela 15 condensa as massas unitárias e específicas obtidas para a areia natural e RS, nela é corroborado a possibilidade de maiores densidades com o ajuste granulométrico realizado com os resíduos de scheelita, o que pode proporcionar uma argamassa com maiores densidades e menores índices de vazios.

Tabela 15 – Massas unitárias e específicas da areia natural e RS.

Agregado	Massa Unitária g/cm³	Massa Específica g/cm³
RS	1,74	3,04
Areia natural	1,45	2,65

Fonte: Autor (2019).

4.1.4.2 Aglomerantes

Na tabela 16 está apresentado o resumo da massa unitária e específica obtida para o cimento e a cal, como é esperado, o cimento apresenta maior massa específica que a cal, desse modo nas argamassas com a presença de cal haverá a tendência a o desenvolvimento de argamassas com densidades menores.

Tabela 16 – Massa unitária e específica dos aglomerantes.

Aglomerante	Massa Unitária g/cm³	Massa Específica g/cm³
Cimento	0,98	3,08
Cal	0,82	2,62

Fonte: Autor (2019).

4.1.5 Análise química e mineralógica dos materiais.

Os resultados obtidos na fluorescência de raios-x estão sumarizados na Tabela 17, nele é possível notar as maiores concentrações de CaO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃ elementos comumente encontrados na literatura (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A Cal, manipueira e o resíduo do beneficiamento da scheelita apresentam maiores concentrações de CaO. Os resultados do resíduo do beneficiamento corroboram com os apresentados por Paiva (2013), Gerab (2014) e Medeiros (2016). Do mesmo modo, os picos apresentados no

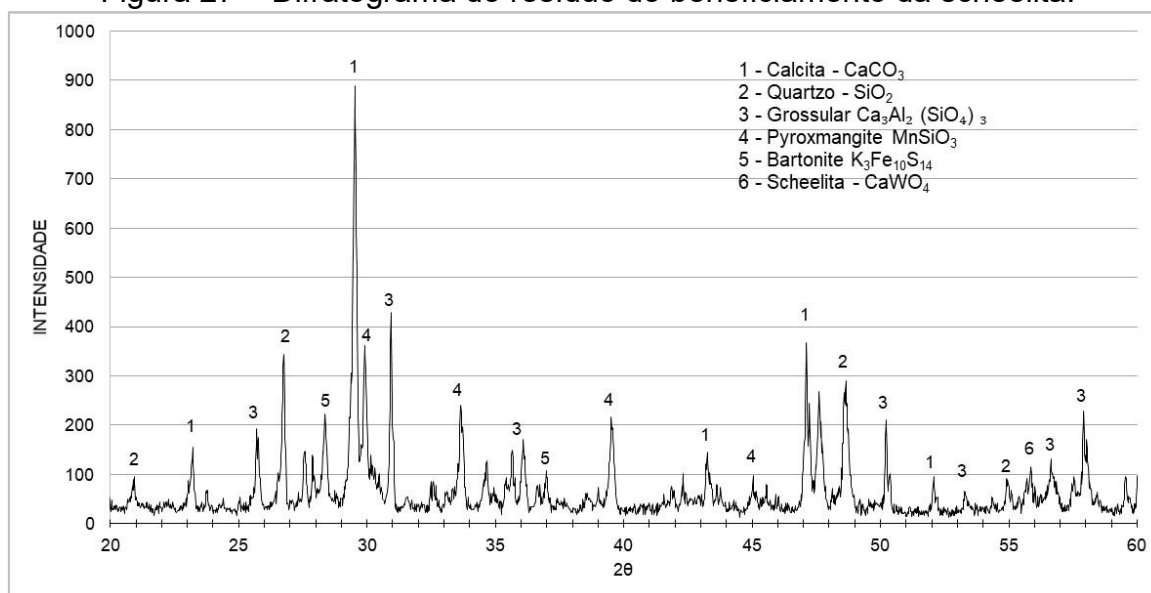
difratograma de raios-x, Figura 27, corroboram com os mesmos autores, apresentando picos de maiores intensidade para o CaCO_3 , picos de Quartzo (SiO_2) e Grossular ($\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$). Dessa maneira, a elevada presença de CaO nas manipueira e RS puderam contribuir com a melhor plasticidade das argamassas com é apresentado no ensaio de consistência das argamassas.

Tabela 17– Fluorescência de raios-x do cimento, cal e manipueira.

	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SrO	MgO
Cimento	83,16	8,70	6,54	1,60						
Cal	96,91	1,39	1,19	0,51						
Manipueira	25,34	15,92	2,46	2,31	32,65	3,12	3,59	9,99		
Resíduo Scheelita	58,51	15,51	11,68	4,16		1,35			2,95	2,15

Fonte: Autor (2019).

Figura 27 – Difratoograma do resíduo do beneficiamento da scheelita.



Fonte: Autor (2019).

4.2 Ensaio das argamassas no estado fresco.

4.2.1 Ensaio de consistência das argamassas

A Tabela 18 apresenta a relação (a/c) materiais secos/água ou manipueira obtidos na determinação do índice de consistência para o espalhamento de 260 ± 5 mm. Analisando isoladamente cada resíduo percebe-se, primeiramente, que a presença do RS nas composições levou a uma redução na relação a/c, ou seja, a diminuição da necessidade de água/manipueira,

corroborando com os resultados apresentados por Medeiros (2016) e Neto (2016). Além disso, o RS apresenta elevados teores de CaO, o que contribui com o aumento da plasticidade (PAIVA, 2013; GERAB, 2014; NETO *et al.*, 2016).

Tabela 18 – Relação (a/c) materiais secos água ou manipueira.

RESUMO		
	Composição	a/c
1:3	C+RS+M	0,1475
	C+RS+H	0,1524
	C+A+M	0,1466
	C+A+H	0,1736
1:1:6	C+L+RS+M	0,1567
	C+L+RS+H	0,1747
	C+L+A+M	0,1610
	C+L+A+H	0,1962
C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água M; - Manipueira		
a- Água/manipueira (g); c – materiais secos		

Fonte: Autor (2019).

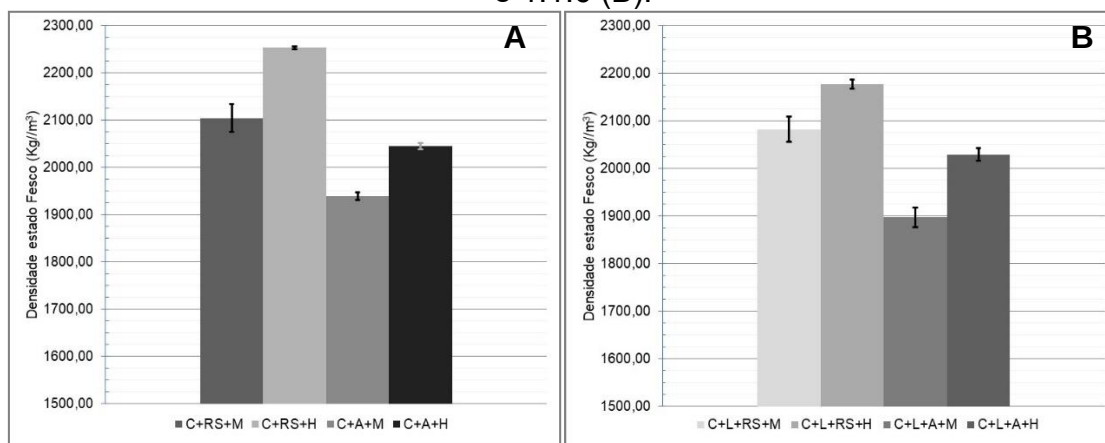
Quando analisada a substituição da água de hidratação pela manipueira, percebe-se a contribuição para diminuição da relação a/c em todas as formulações. A manipueira é composta por elementos químicos voláteis (PONTE, 2006; REBOUÇAS *et al.*, 2015), o processo de homogeneização mecânica estimula a liberação desses elementos, tornando a argamassa como um aspecto mais aerado, funcionando como um incorporador de ar (ROMANO, 2013), que contribui para uma maior fluidez das argamassas. Além disso, a composição da manipueira contém amidos, biopolímeros, que atuam como um aditivo plastificante resultando na dispersão das partículas e contribuindo para uma maior fluidez da argamassa (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2010; BIAZZON *et al.*, 2019; GONÇALVES *et al.*, 2016; HENRIQUE, CEREDA e SARMENTO, 2018).

O mesmo comportamento citado foi perceptível para ambas as proporções analisadas, todavia a presença de cal na proporção 1:1:6 elevou a relação a/c, o que é indicado pela massa específica elevada da cal e cimento, além da composição química (CARCASEK, 2010; RECENA, 2012; MEDEIROS, 2016; SOUZA, 2019).

4.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O resultado da densidade de massa no estado fresco é apresentado na Figura 28-A para os traços C+RS+M, C+RS+H, C+A+M, C+A+H e na Figura 28-B para os traços C+L+RS+M, C+L+RS+H, C+L+A+M, C+L+A+H. As formulações com presença de manipueira na sua composição contribuíram para uma argamassa com densidade de massa menor quando comparada com argamassas que utilizaram água. O resultado condiz com o ensaio de consistência no que diz respeito a manipueira funcionar como um aditivo incorporador de ar, contribuindo para uma menor densidade no estado fresco (PONTE, 2006; REBOUÇAS *et al.*, 2015).

Figura 28 – Densidade de massa no estado fresco para a proporção de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Quando analisada a substituição do RS pelo agregado natural, as Figuras 28 A e B apresentam a maior densidade de massa no estado fresco para as formulações com a presença do RS. O comportamento é esperado devido a massa específica do RS ser superior a massa específica do agregado natural (MEDEIROS, 2016; GERAB, 2014; PAIVA, 2013; COSTA FILHO, 2017).

So Yeong Choi, Yoon Suk Choi e Eun Ik Yang (2017) utilizaram resíduos de vidros de alta densidade em substituição ao agregado natural obtiveram argamassas com densidade maiores que as argamassas com agregado natural, justificados pela alta densidade do vidro em comparação ao agregado natural. O mesmo comportamento é indicado por Santamaría-Vicario *et al.* (2016) ao substituir o agregado miúdo natural por escória de aço.

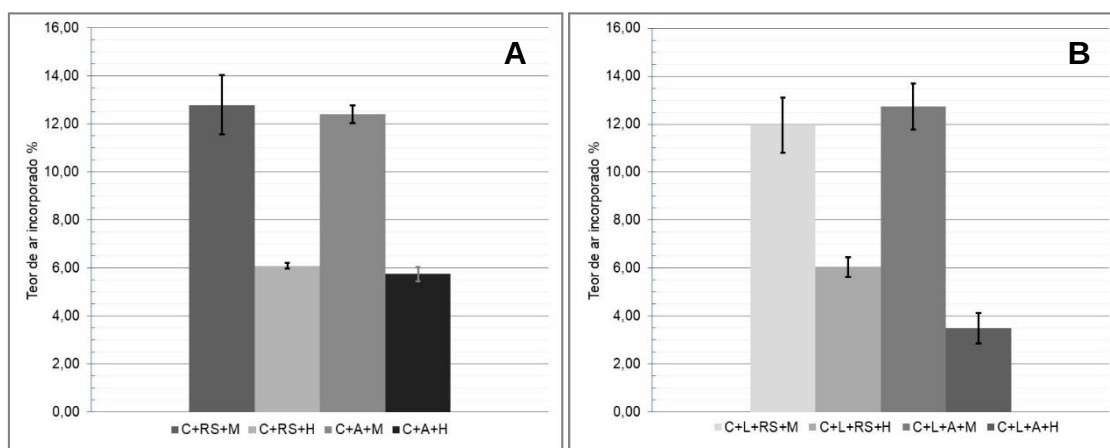
A presença da cal nas composições desenvolveu argamassas com tendência a densidades de massa no estado fresco levemente inferiores as argamassas sem cal, associados a massa específica da cal ($2,62 \text{ g/cm}^3$) ser inferior com a do cimento ($3,08 \text{ g/cm}^3$).

As argamassas produzidas são classificadas como argamassas de densidade de massa normal, valor entre 2300 e 1400 kg/m^3 , segundo Carasek (2010).

Na Figura 29-A e 29-B é apresentado o resultado do teor de ar incorporado para as composições. O resultado reforça o comportamento apresentado pela manipueira no ensaio de consistência e densidade de massa. As composições com manipueira apresentaram cerca de 4 vezes mais ar incorporado que as composições sem manipueira (C+L+A+M: $12,73\% \pm 0,95\%$ e C+L+A+H: $3,51\% \pm 0,64\%$).

Romano (2013) afirma que a incorporação de ar tende a melhorar a coesão das argamassas de revestimento, reduz a tendência à exsudação, melhora a plasticidade e possibilita reduzir a quantidade de água necessária para o amassamento, indicando a possível diminuição da retração plástica e por secagem. Além disso, a incorporação de ar aumenta a separação entre os agregados, funcionando como uma espécie de lubrificante das partículas, contribuindo com a mistura e fluxo. Quando analisado quanto ao tempo de mistura Romano (2013) indica a existência de um ponto crítico, onde se obtém um teor máximo de ar incorporado e após esse ponto pouco acréscimo é percebido.

Figura 29 – Teores de ar incorporado para as formulações 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

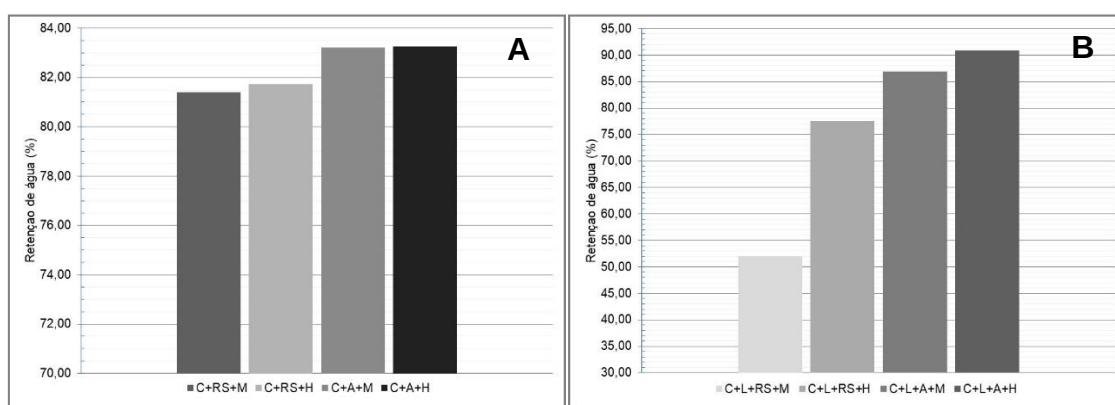
4.2.3 Retenção de água das argamassas.

O ensaio de retenção de água é apresentado nas Figuras 30-A e 30-B, nelas é possível observar que nas argamassas com manipueira substituindo a água de hidratação apresentou a tendência de reterem menos água, sendo a diferença mais perceptível nas proporções de 1:1:6.

Nas composições que utilizaram areia natural como agregado, a presença de cal favoreceu a tendência a maior retenção (C+L+RS+M, C+L+RS+H) quando comparado com as formulações apenas com cimento (C+RS+M, C+RS+H). A substituição do agregado por RS apresentou a tendência para uma menor retenção, o que pode ser indicado pelo formato do grão de RS não apresentar textura porosa, o que diminui sua capacidade de retenção (PAIVA, 2013; GERAB, 2014; SOUZA, 2019).

A retenção de água é importante para conter água necessária para a hidratação do cimento, todavia a quantidade de água presente está relacionada com a retração das argamassas. Argamassas com grande capacidade de retenção tendem a perder de forma mais lenta a água de amassamento, sendo deslocada progressivamente ao ganho de resistência contribuirá significativamente para o surgimento de fissuras. Além disso, a retenção de água é fator importante para o desenvolvimento de boa trabalhabilidade e aderência da argamassa ao substrato (RECENA, 2012; CARASEK, 2010).

Figura 30– Retenção de água para as formulações 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

4.3 Ensaio das argamassas no estado endurecido.

4.3.1 Densidade de massa no estado endurecido

Na Figura 31-A é mostrado os resultados obtidos para as formulações na proporção de 1:3 do ensaio de densidade no estado endurecido. Ao se analisar a presença do RS, percebe-se que as formulações que utilizaram o RS apresentaram maiores densidades, $2.035,38 \pm 22,40 \text{ Kg/m}^3$ e $2.112,25 \pm 19,30 \text{ Kg/m}^3$ (formulações C+RS+M e C+RS+H, respectivamente), quando comparado com as formulações que utilizaram o agregado natural. O resultado apresenta um efeito esperado, uma vez que foi realizado o ajuste granulométrico do resíduo e o mesmo apresentou massa específica superior ao valor do agregado natural. O mesmo comportamento é apresentado por Paiva (2013), Gerab (2014), Medeiros (2016), Costa Filho (2017).

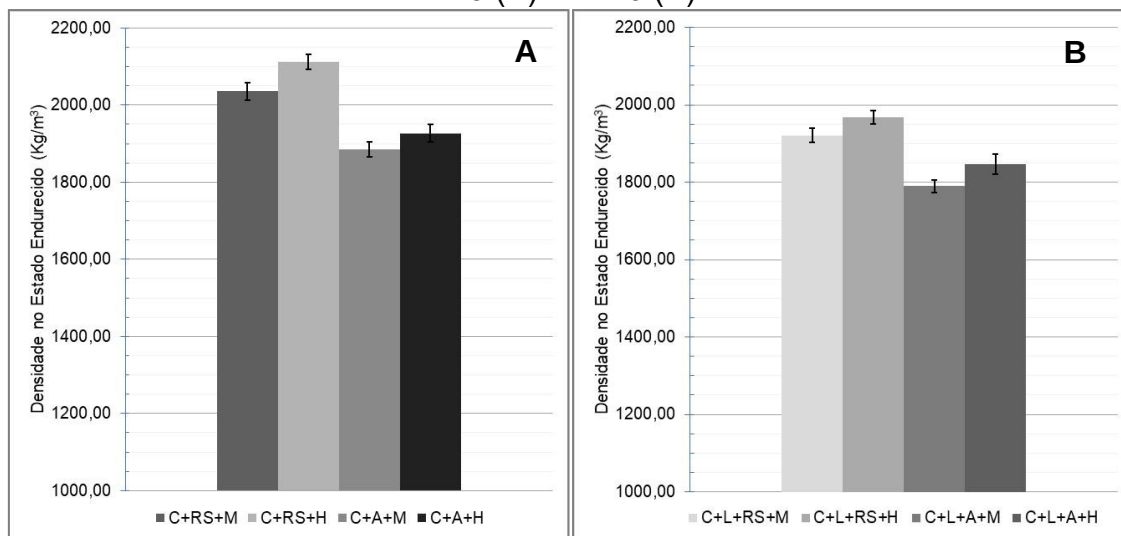
Analizando-se a presença da manipueira nas composições, verificou-se uma menor densidade para as formulações que substituíram a água convencional de hidratação pela manipueira. Além disso, como citado no item 4.4.1, a manipueira apresentou um comportamento como aditivo incorporador de ar, o que contribuiu para as menores densidades nas composições que substituíram a água de hidratação pela manipueira, além da contribuição do efeito dispersante ocorrido pela presença do amido da manipueira (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2010; BIAZZON *et al.*, 2019; GONÇALVES *et al.*, 2016; HENRIQUE, CEREDA e SARMENTO, 2018).

A Figura 31-B apresenta o resultado da densidade no estado endurecido para as proporções de 1:1:6. As composições apresentaram as mesmas tendências ocorridas para a proporção de 1:3; maior densidade para as formulações com RS e densidades menores quando substituído a água de hidratação por manipueira. Todavia, as densidades da proporção 1:1:6 foram ainda menores que a proporção de 1:3, sendo associados a presença da cal, que apresenta menor massa específica ($2,62 \text{ g/cm}^3$) que o cimento, gerando produtos de menores densidades que o produzido através da hidratação do cimento (CARASEK, 2010; RECENA 2012)

Baali *et al.* (2011) realizou a composição ternária com areia siliciosa (AS), areia de escória (AE) e areia de resíduo de tijolos (AT) para substituição do agregado miúdo natural. Os resultados apresentaram melhorias nas

propriedades, especialmente pelo melhor empacotamento das partículas. De maneira semelhante, So Yeong Choi, Yoon Suk Choi e Eun Ik Yang (2017) obtiveram a mesma tendência ao substituir o agregado natural em 25%, 50%, 75% e 100% por vidro de alta densidade, associado a elevada massa específica do resíduo utilizado.

Figura 31 – Densidade de massa no estado endurecido para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

4.3.2 Absorção por imersão e índice de vazios.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão para as proporções de 1:3 e 1:1:6 são sumarizados nas Figuras 32-A e 32-B, respectivamente. As argamassas com cal apresentaram absorção superior as formulações sem cal. As composições sem cal apresentaram absorção entre 14% e 18% enquanto nas formulações sem cal apresentaram variações entre 12% e 15%. Além disso, percebe-se a tendência a menor absorção nas argamassas com a utilização da manipueira, sendo indicativo que a presença das partículas, sólidos totais, de mandioca presente na manipueira podem estar funcionando como um *microfiller* na estrutura, causando possíveis refinamento dos poros, e ainda a presença de amido que é um biopolímeros e pode contribuir para a menor absorção (CAMÕES e LAJALI, 2010; IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2010; BIAZZON *et al.*, 2019; GONÇALVES *et al.*, 2016).

Os resultados obtidos na determinação do índice de vazios para as

proporções de 1:3 e 1:1:6 são apresentados nas Figuras 33-A e 33-B, respectivamente. As formulações com cal apresentaram maiores índices de vazios (entre 29% e 31%) que as argamassas que utilizaram apenas o cimento (entre 23% e 27,5%) como ligante.

Analisando conjuntamente os dois fatores, tem-se que nas proporções de 1:3 houve a tendência de uma menor absorção nas composições com manipueira, colaborando com o resultado do índice de vazios (Figura 33-A) da proporção 1:3, no qual ocorreu a tendência de um menor índice de vazios nas argamassas com a presença da manipueira. Observando as composições de 1:1:6 percebe-se a tendência de uma maior absorção nas argamassas com manipueira, corroborando com o maior índice de vazios apresentado na Figura 30-B.

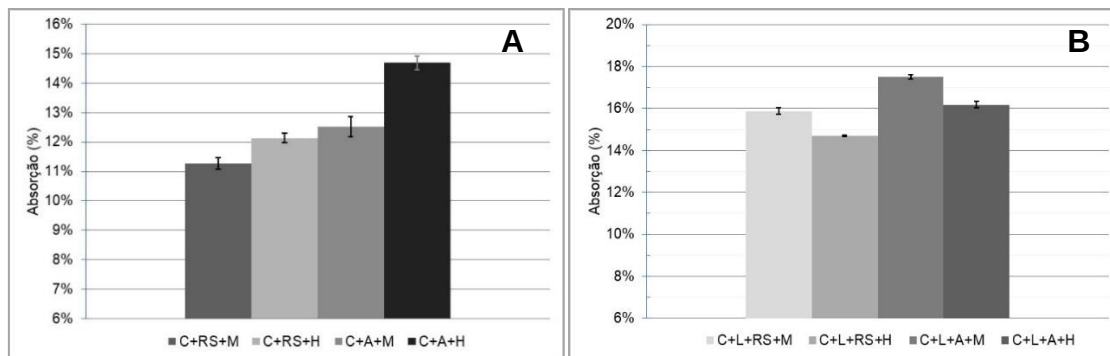
Quanto ao efeito da presença apenas do RS nas composições, em todas as formulações a substituição do agregado natural pelo RS levou a diminuição da absorção e do índice de vazios, comportando-se diferentemente do trabalho de Medeiros (2016), no qual a argamassa apresentou maior tendência a absorção e índice de vazios ao substituir o agregado natural pela fração grossa do resíduo da scheelita em argamassas. A diferença se deve ao ajuste granulométrico realizado nesta pesquisa que permitiu uma argamassa mais densa e conseqüentemente com menores teores de vazio.

Apesar de apresentar maior teor de ar incorporado no estado fresco nas argamassas com a presença da manipueira, o inverso ocorreu no índice de vazios. Durante o experimento foi observado que mesmo após o processo de moldagem das argamassas ocorria a saída de bolhas da argamassa, atribuído aos elementos bioquímicos voláteis presentes na manipueira, o que pode ter contribuído para que no estado endurecido apresentasse menor índice de vazios.

Além disso, dois fatores podem ter contribuído para volatilização dos gases. O primeiro diz respeito ao fato do ensaio de teor de ar incorporado ser realizado usando a argamassa logo após a mistura mecânica, sendo apresentado uma determinada incorporação, posteriormente quando a argamassa parte para moldagem dos corpos-de-prova passa pelo processo de adensamento, que faz sair mais ar; o que pode estar relacionado com o menor índice de vazios no estado endurecido. Outro motivo que pode ser elencado é a

presença de sólidos totais e amido (biopolímero) na estrutura, que podem estar causando um efeito *microfíler* na estrutura, reduzindo os vazios.

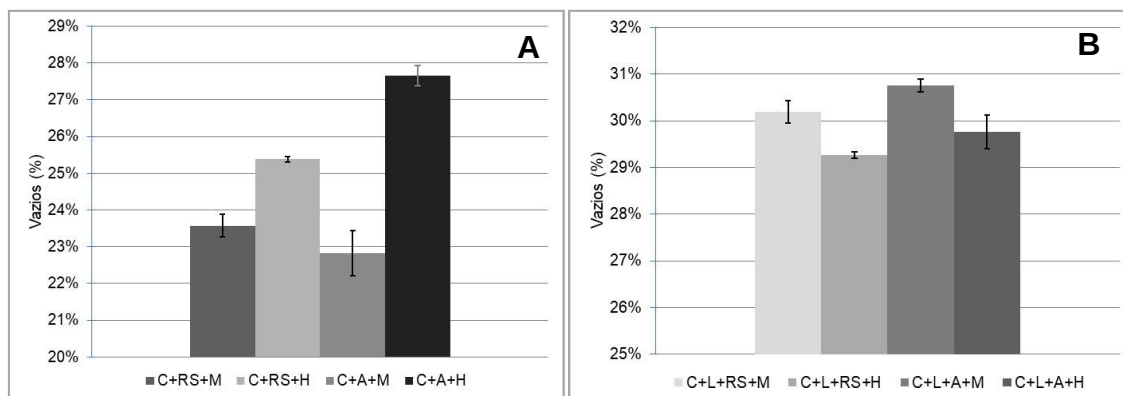
Figura 32 – Absorção por imersão para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Figura 33 – Índice de vazios para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

4.3.3 Absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

Os dados obtidos para a absorção por capilaridade a 10 minutos (A10) e 90 minutos (A90) são sintetizados na Tabela 19, assim como o coeficiente de capilaridade. Os resultados apresentam a maior absorção por capilaridade para as formulações sem manipueira, ou seja, a utilização da manipueira contribuiu para a redução da absorção por capilaridade. As composições apenas com cimento obtiveram absorções menores que as composições que utilizaram a cal, corroborando dessa forma com o resultado apresentado no índice de vazios.

Tabela 19 – Absorção por capilaridade: 10 min (A10), 90 min (A90) e coeficiente de capilaridade das argamassas.

Traço	Composição	A10	A90	Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{^(1/2)})
1:3	C+RS+M	0,11	0,19	0,08
	C+RS+H	0,31	0,63	0,32
	C+A+M	0,13	0,28	0,15
	C+A+H	0,26	0,52	0,26
1:1:6	C+L+RS+M	0,44	0,95	0,51
	C+L+RS+H	0,74	1,98	1,24
	C+L+A+M	0,13	1,10	0,98
	C+L+A+H	0,96	2,30	1,34

Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Além disso, percebeu-se que o resultado demonstra baixa ascensão capilar nas amostras com manipueira, sendo um indicativo da pouca conectividade dos poros presentes nas amostras. Os resultados concorrem com o efeito citado anteriormente, no qual as partículas de mandioca presentes na manipueira podem estar funcionando como um *microfiller* na estrutura das amostras, proporcionando o refinamento dos poros, dificultando a ascensão capilar e, além disso, a presença do amido pode estar contribuindo para a vedação dos vazios existentes na microestrutura e impedindo ou dificultando a ascensão capilar da água (MEHTA e MONTEIRO, 2008; FONTES *et. al.*, 2016; ABRAHAM e RANSINCHUNG, 2018; AKINDAHUNSI, 2019).

Quando analisado a presença isolada do RS como substituto ao agregado miúdo menores absorções por capilaridade também são percebidas nas argamassas. O comportamento é corroborado com o resultado do ensaio de índice de vazios e com o ajuste granulométrico realizado.

4.3.4 Resistência à compressão.

A Figura 34-A e Figura 34-B apresenta os resultados das resistências à compressão aos 7, 14 e 28 dias para os traços de 1:3 e 1:1:6, respectivamente. As figuras apresentam o aumento progressivo da resistência ao longo dos dias. Para as composições do traço 1:3, a composição C+RS+M apresentou as maiores resistências, obtendo $17,40 \pm 0,31$ MPa aos 28 dias. Percebe-se ainda

que as composições com scheelita ou manipueira, usado de maneira isolada ou conjuntamente, obtiveram melhores resistências quando comparado com a argamassa de referência (C+A+H). Nas proporções de 1:3 o maior ganho de resistência ocorreu com 7 dias, representado em média 75% da resistência obtida. Nas composições de 1:1:6 ocorreu o mesmo comportamento, sendo representado por cerca de 68% da resistência à compressão obtida aos 28 dias. A diferença apresentada é decorrente do processo de carbonatação da cal ocorrer de forma lenta.

Os resultados da resistência à compressão estão associados a três fatores, o primeiro refere-se ao ajuste granulométrico realizado no resíduo da scheelita, que permitiram criar uma estrutura mais compacta do agregado miúdo, que representa cerca de 80% do volume da argamassa, e que permitiu uma argamassa mais densa, contribuindo para a resistência mecânica (CARASEK, 2010; MEDEIROS, 2016; PAIVA, 2013).

Baali *et al.* (2011) realizaram o ajuste granulométrico utilizando resíduos de areia silicosa, areia de escória e areia de resíduo de tijolos. A composição ternária que melhor contribuiu com as propriedades de argamassas foi a composição com 70% de areia silicosa, 15% de areia de escória e 15% de areia de resíduo de tijolos, conseguindo resistências superiores a composição de referência.

O segundo fator é apontado no DRX das amostras, no qual é possível perceber picos de intensidade semelhante entre as amostras C+RS+H e C+RS+M, mas com a tendência a picos mais intensos de CSH da amostra com manipueira, o que indica uma maior hidratação da mesma, contribuindo para o desenvolvimento de melhores resistência, em virtude do CSH ser o principal responsável pela resistência (CARASEK, 2010; MEHTA e MONTEIRO, 2008; BEDERINA *et al.*, 2013; LEDESMA *et al.*, 2014).

O terceiro fator é a presença da manipueira. O comportamento da argamassa na manipueira apresentou o funcionamento de incorporador de ar a composição o que levaria, em primeiro momento, a esperar resistências menores, todavia a manipueira apresenta amido e açúcares em sua composição, que contribuem para o seu funcionamento como um biopolímeros que ao secar pode formar componente que contribuam para a resistência da argamassa (IZAGUIRRE, LANAS E ÁLVAREZ, 2010; BIAZZON *et al.*, 2019; GONÇALVES

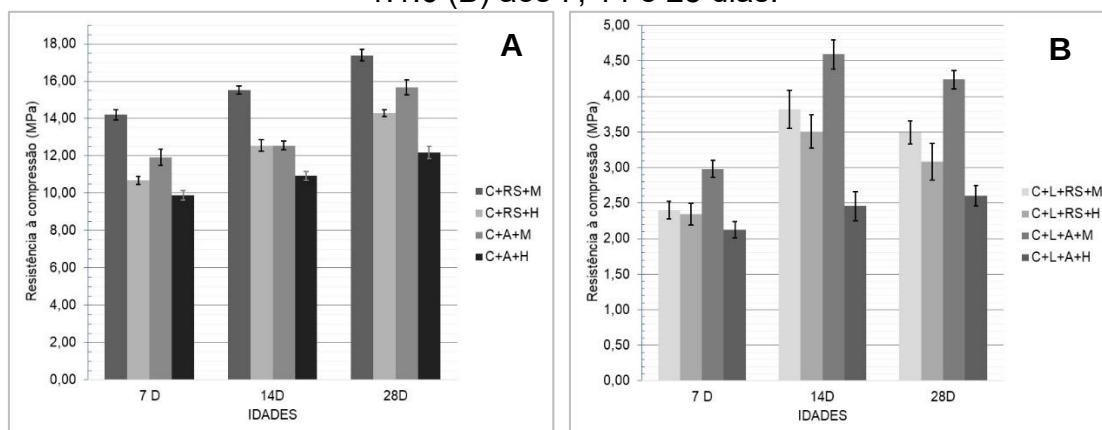
et al., 2016; BIANCHE *et al.*, 2016; AKINDAHUNSI, 2019). Além disso, a manipueira apresenta pequenas partículas derivadas do processo de prensagem da mandioca, Sólidos Totais (14.563,00 mg/L) e podem estar atuando como *microfiller* na estrutura da argamassa, contribuindo para o refinamento dos poros e consequente aumento de resistência da argamassa, como ocorrido na absorção por capilaridade.

Asadollahfardi *et al.* (2015) utilizaram água de lavagem de caminhão betoneira na produção de concretos substituindo a água de hidratação e obtiveram resultados satisfatórios do não comprometimento das propriedades do concreto em detrimento a substituição, o mesmo foi observado por Malaguti (2016).

Ismail e Al-Hashmi (2011) utilizaram efluentes industriais liberados da fábrica de resina de acetato de polivinila na produção de concretos substituindo a água de amassamento. Os resultados mostraram a manutenção das propriedades além da sutil elevação da densidade devido ao efluente apresentar maior densidade que a água.

As composições da proporção de 1:1:6 apresentaram resistências menores que as formulações de 1:3, sendo resultado esperado devido a presença da cal no qual o produto gerado apresenta menores resistências que o produto gerado na hidratação do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Esse fenômeno pode estar relacionado com a maior solubilidade do hidróxido de cálcio, bem como a floculação das partículas do RS que quando adicionada a cal contribuem para o aumento dos vazios das formulações.

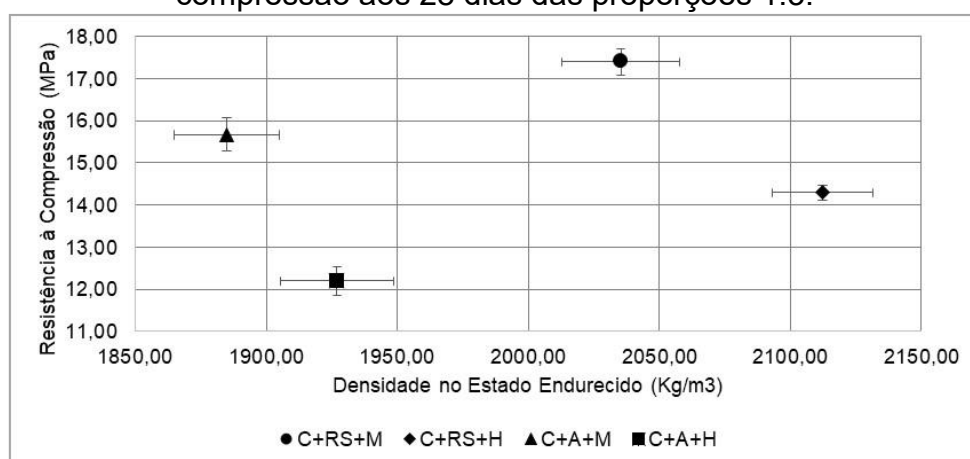
Figura 34 – Resistência a compressão para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B) aos 7, 14 e 28 dias.



Fonte: Autor (2019).

Na Figura 35 e 36 é possível perceber correlação dos valores de resistência à compressão (MPa) e densidade no estado endurecido (Kg/m^3). Analisando separadamente a composição C+A+H e C+RS+H a maior densidade e resistência ocorre para as amostras com RS, o mesmo ocorre para as formulações C+L+A+H e C+L+RS+H (Figura 36). Ao mesmo tempo percebe-se a influência da manipueira no aumento da resistência à compressão em ambas as formulações, sem necessariamente a amostra apresentar maior densidade, o que acontece em todas as amostras com a presença da manipueira, com densidade relativamente menor, mas resistência superior.

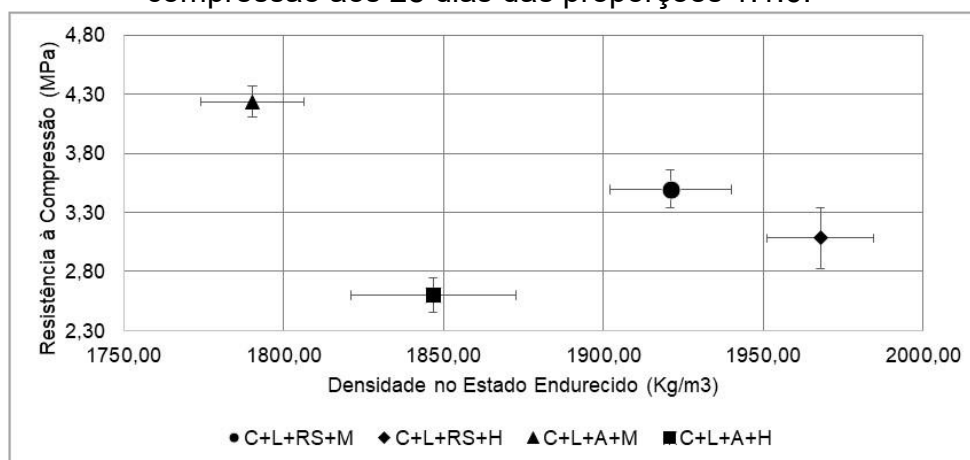
Figura 35– Densidade de massa no estado endurecido *versus* resistência à compressão aos 28 dias das proporções 1:3.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Figura 36– Densidade de massa no estado endurecido *versus* resistência à compressão aos 28 dias das proporções 1:1:6.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

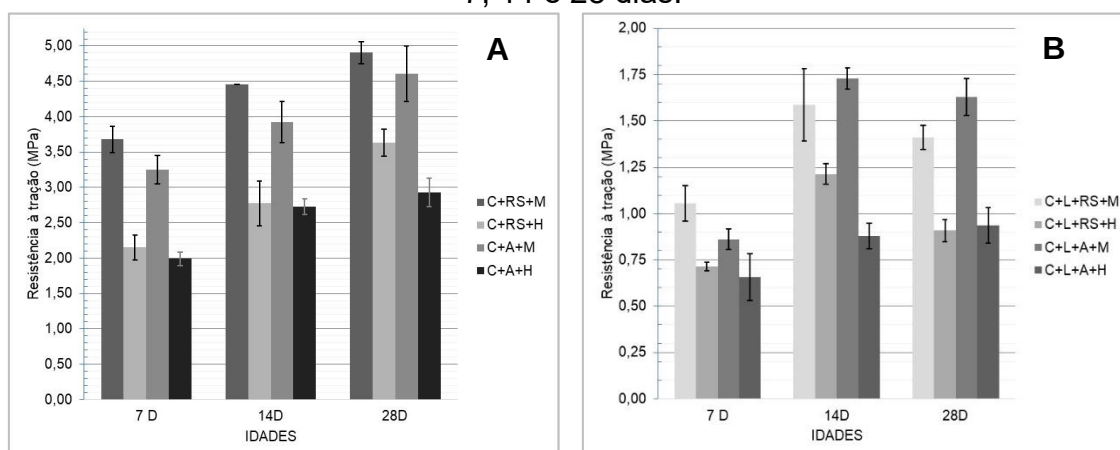
Fonte: Autor (2019).

4.3.5 Resistência à tração.

Os resultados de resistência à tração das argamassas apresentaram o mesmo comportamento observado para a resistência à compressão, sendo apresentados nas Figuras 34-A e 34-B para as proporções de 1:3 e 1:1:6, respectivamente. Nas formulações com a presença do RS e manipueira a resistência à tração apresentou valores maiores, com melhores resultados, aos 28 dias, para a composição C+RS+M com $4,90 \pm 0,16$ MPa, esse comportamento é percebido para todas as formulações (CARASEK, 2010; ANDRADE *et al.* 2018). Os resultados corroboram com Medeiros (2016) que obteve ganho de resistência a tração ao utilizar a fração grossa do resíduo do beneficiamento da scheelita. A resistência à tração nas amostras contendo manipueira reforçam as indicações ação do amido presente na manipueira atuar como um sistema que veda os poros existentes, contribuindo para o aumento do valor de resistência das argamassas.

Nas argamassas com presença da cal as formulações apresentaram valores menores de resistência. Para todas as composições os maiores ganhos de resistência foram obtidos aos 7 dias, representando cerca de 70% da resistência à tração aos 28 dias.

Figura 37 – Resistência à tração para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B) aos 7, 14 e 28 dias.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

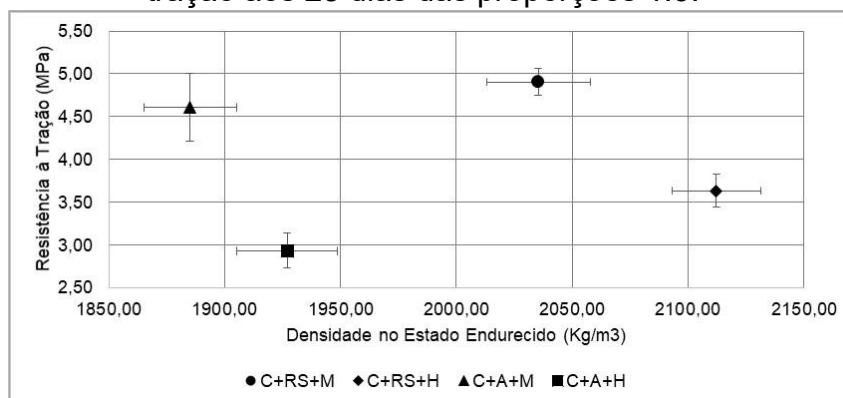
Fonte: Autor (2019).

A correlação entre a resistência à tração e a densidade no estado endurecido é apresentada nas Figuras 38 e 39. O comportamento ocorrido foi

corroborativo com o apresentado na resistência à compressão, as amostras com a presença do RS e manipueira obtiveram maiores resistências e as amostras com a presença da manipueira apresentaram maiores resistências à tração apesar da menor densidade. Dessa forma, a maior densidade adquirida através do ajuste granulométrico no RS corroborou para o ganho de resistência, mas a presença da manipueira também é determinante para esse aumento de resistência.

Na análise comparativa entre os resultados de resistência à compressão e à tração. As resistências acompanharam a mesma tendência: quanto maior a resistência à compressão, maior tende a ser a resistência à tração, como apresentado na literatura (BEDERINA *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2018; GUELMINE, HADJAB e BENAZZOUK, 2016), Figura 40 e 41.

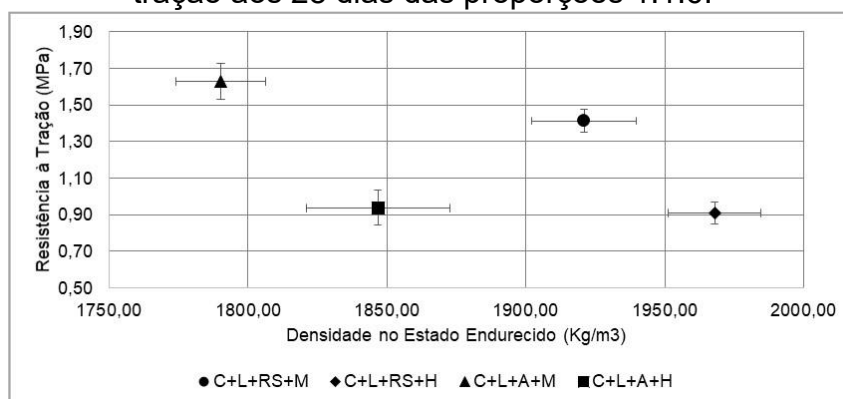
Figura 38 – Densidade de massa no estado endurecido *versus* resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:3.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

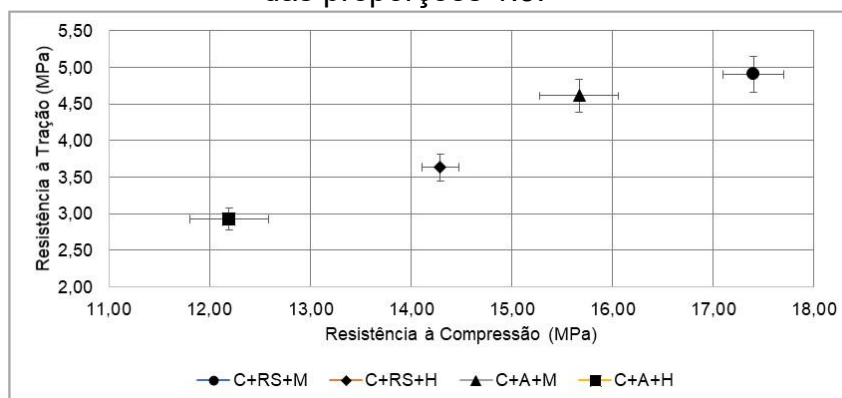
Figura 39 – Densidade de massa no estado endurecido *versus* resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:1:6.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

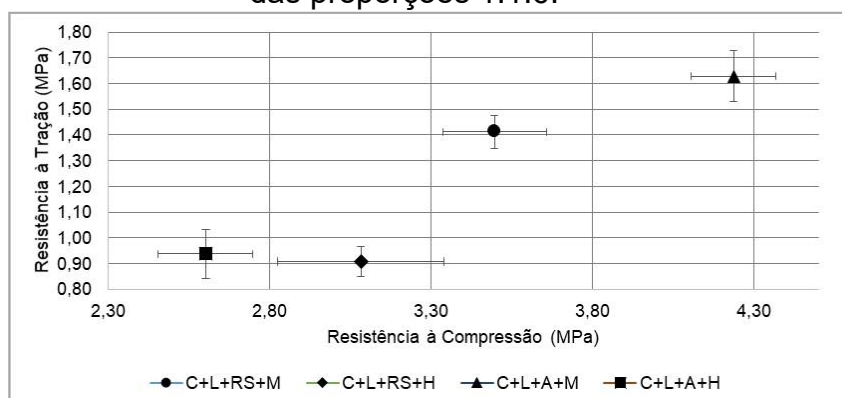
Figura 40 – Resistência à compressão *versus* resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:3.



Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Figura 41 – Resistência à compressão *versus* resistência à tração aos 28 dias das proporções 1:1:6.



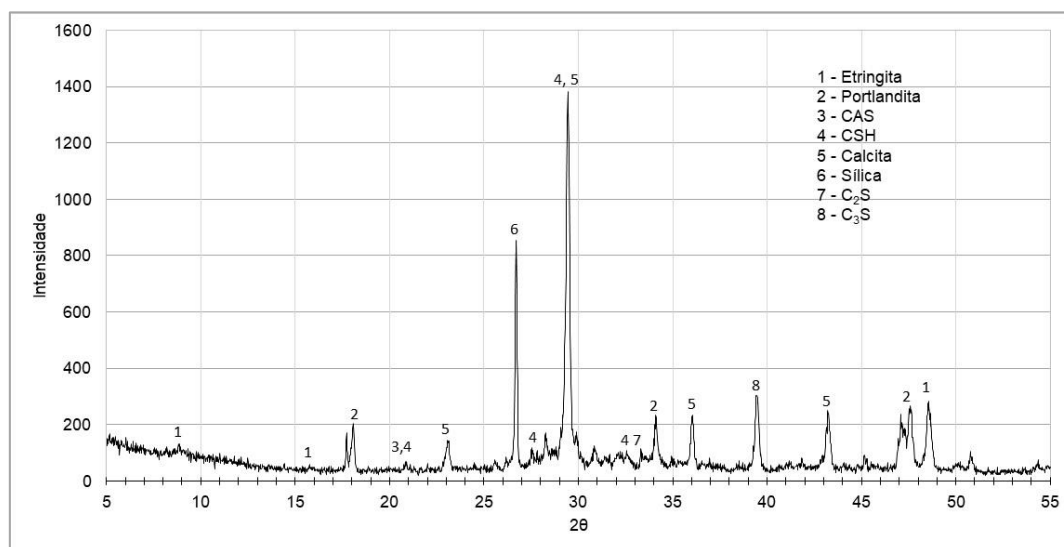
Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

4.3.6 Difração de raios-x e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

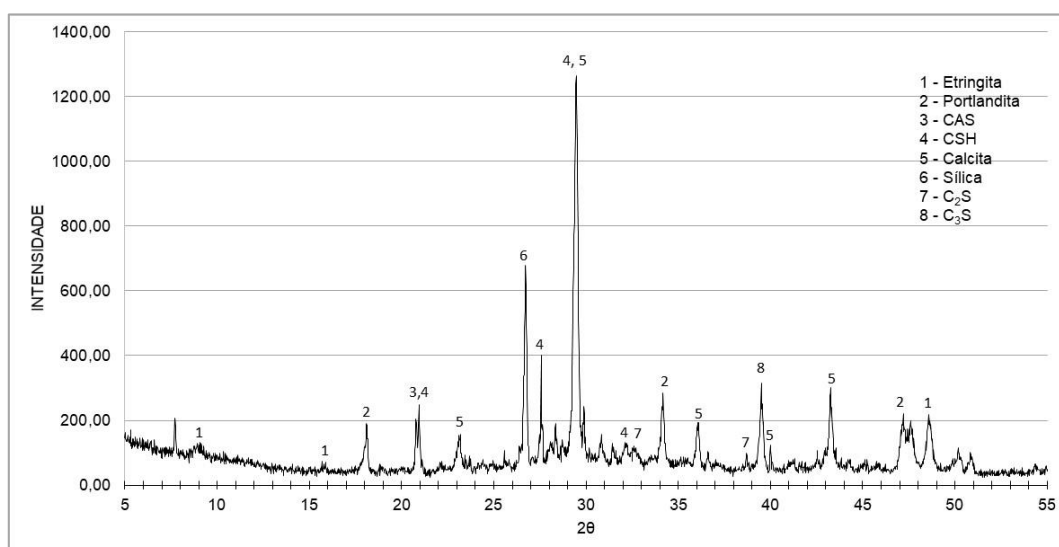
Nas Figuras 42 e 43 são expressos o difratograma, aos 28 dias, para as amostras C+RS+H e C+RS+M, respectivamente. Nas Figuras é possível perceber picos de Etringita, Portlandita, CAS, CSH, Calcita, Sílica, C_2S e C_3S , o quais eram esperados por serem produtos oriundos do cimento anidro quanto do processo de hidratação do mesmo.

Figura 42 – Difratoograma de raios-x para a formulação C-RS-H.



Fonte: Autor (2019).

Figura 43 – Difratoograma de raios-x para a formulação C-RS-M.



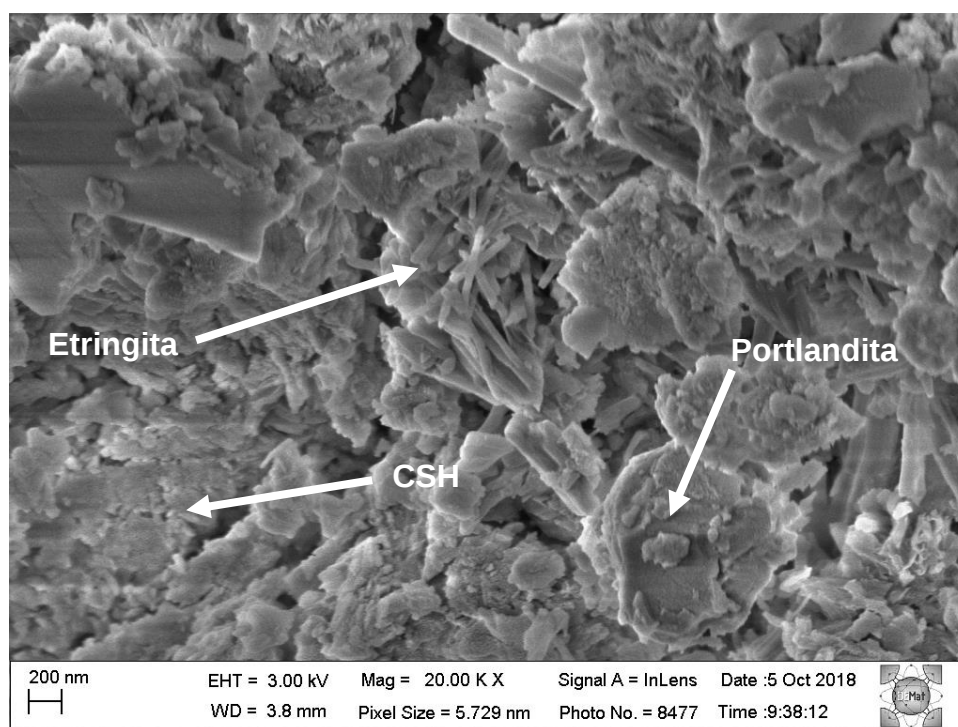
Fonte: Autor (2019).

Os picos entres as duas amostras apresentaram-se semelhantes em suas intensidades e mineralogia. Todavia, na composição C+RS+M, há o aparecimento de picos de CSH e CAS com intensidade maior que a formulação sem manipueira, como por exemplo o pico próximo a 21 (2σ). Souza (2019) realizou análises em composições de solo-cimento substituindo a água de hidratação por manipueira, como resultado ele notou o incremento, ainda que de maneira sutil, na resistência dos blocos, justificando a possível aumento da

capacidade de troca catiônica induzido pela acidez da manipueira. O comportamento é ainda indicado por Barreto *et al.* (2013), que ao utilizarem manipueira em solos para cultivo agrônômico perceberam o aumento dessa capacidade de troca catiônica aumentando, ainda, a quantidade de cálcio permutável.

Os resultados são corroborados com o apresentado na Figura 44, no qual é apresentado o MEV da pasta de cimento e manipueira aos 28 dias, onde é possível perceber a presença de etringita, portlandita e CSH, que é o principal responsável pela resistência mecânica. Essas fases encontram-se de acordo com o esperado pela literatura quanto a produtos de hidratação do cimento indicando o não prejuízo da hidratação do cimento ante a presença da manipueira (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 44 – MEV da pasta de cimento e manipueira aos 28 dias.



Fonte: Autor (2019).

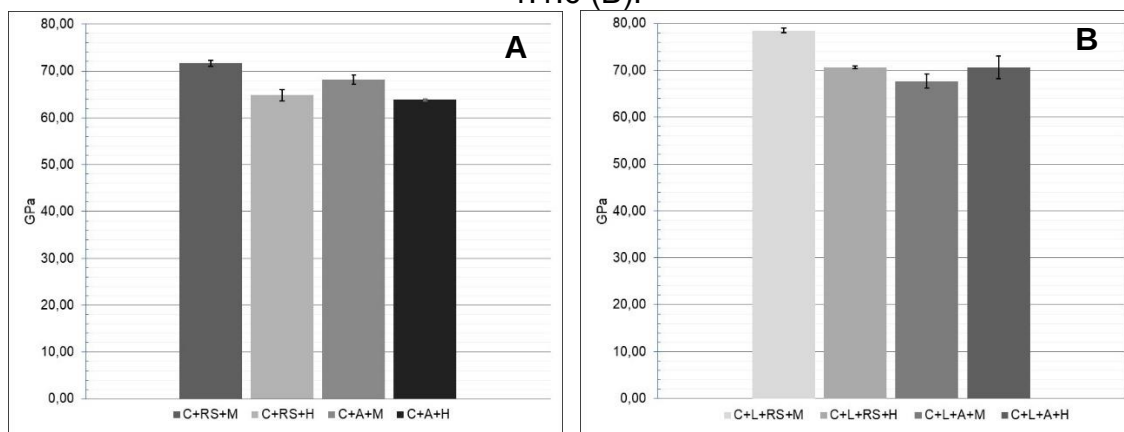
4.3.7 Módulo de elasticidade.

Na Figura 45-A é apresentado o Módulo de Elasticidade Dinâmico das formulações C+RS+M, C+RS+H, C+A+M e C+A+H. Percebe-se, ao se analisar os resultados, que a amostra com a presença de RS e manipueira apresentou maior módulo de elasticidade, concordando com a maior densidade no estado

endurecido dessas amostras e maior resistência à compressão. Ao se analisar isoladamente a presença do RS (C+RS+H, C+A+H) é possível perceber a tendência de maior módulo na amostra com o RS, estando relacionado a menores vazios e ao ajuste granulométrico. Observando a presença isolada da manipueira (C+A+H, C+A+M), percebe-se o maior módulo de elasticidade das amostras com a presença da manipueira. Esse comportamento é indicativo do efeito *microfiller* das partículas de mandioca presentes na manipueira, ocupando vazios, permitindo uma maior velocidade da propagação de ondas nas argamassas.

Além disso, a presença de picos mais intensos de CSH, indicam sua maior hidratação e consequentemente maior densidade que contribui para a propagação das ondas. Os resultados contribuem com os resultados de resistência à compressão, no qual as amostras com RS e/ou manipueira apresentaram maiores resistência e consequente tendência a maior módulo de elasticidade. Dessa forma, a substituição do agregado miúdo pelo RS ou da água de hidratação pela manipueira não comprometeram o módulo de elasticidade das argamassas.

Figura 45– Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:3 (A) e 1:1:6 (B).



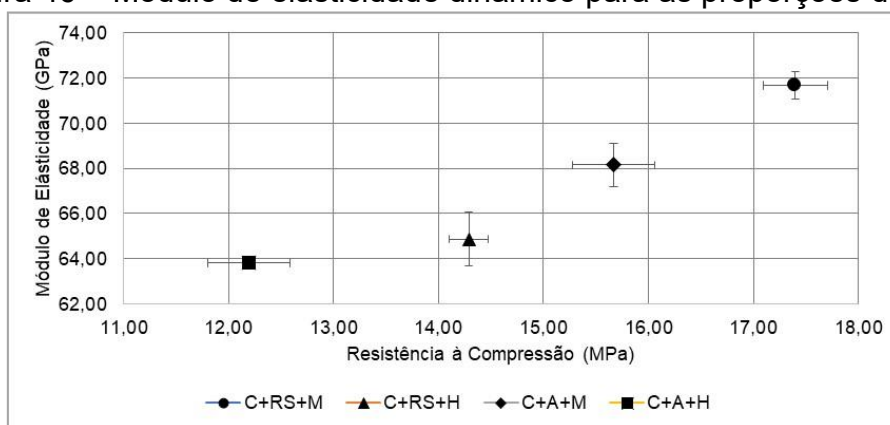
Onde: C – Cimento; L- Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M - Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

O Módulo de elasticidade dinâmico para as formulações C+L+RS+M, C+L+RS+H, C+L+A+M e C+L+A+H é apresentado na Figura 45-B. Ao se analisar isoladamente a presença do RS (C+L+RS+H, C+L+A+H) é apresentado valores equivalentes do módulo de elasticidade, $70,62 \pm 0,29$ GPa para C+L+RS+H e $70,62 \pm 2,46$ GPa C+L+A+H. A presença isolada da manipueira

nas formulações (C+L+A+M, C+L+A+H) apresentaram módulo de elasticidade equivalente, $67,69 \pm 1,54$ GPa para C+L+A+M e $70,62 \pm 2,46$ GPa para C+L+A+H. A maior diferença ocorreu na presença conjunta do RS e manipueira, nas formulações C+L+RS+M ($71,67 \pm 0,62$ GPa) C+L+RS+H ($64,88 \pm 1,20$ GPa). De maneira semelhante as formulações apenas com cimento, os resultados para o módulo de elasticidade das proporções de 1:1:6 apresentam resultados que acompanha a tendência de aumento e diminuição ocorridos na resistência à compressão.

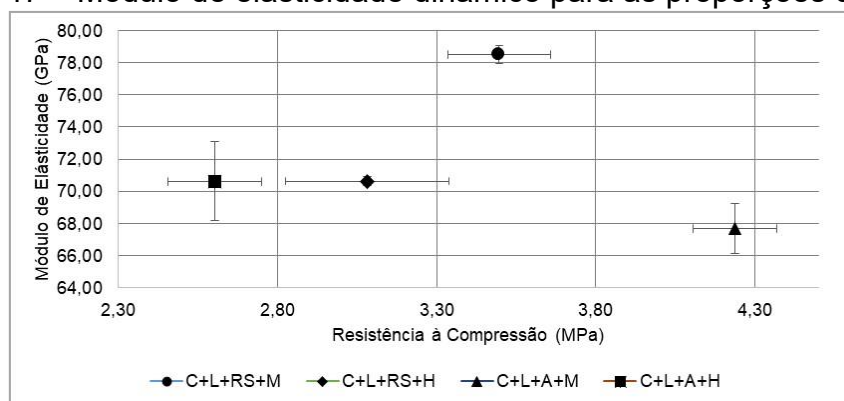
Figura 46 – Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:3.



Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Figura 47 – Módulo de elasticidade dinâmico para as proporções de 1:1:6.



Onde: C – Cimento; L – Cal; A – Areia Natural; RS – Resíduo de scheelita 75% grosso e 25% fino; H – água; M – Manipueira.

Fonte: Autor (2019).

Os resultados apresentaram, ainda, comportamento semelhante aos apresentados por Medeiros (2016) ao substituir em 100% do agregado natural pelo RS, assim como os valores do módulo de elasticidade entre os traços de

1:3 e 1:1:6. Os resultados se assemelham com os ensaios de densidade (Figura 31) e índice de vazios (Figura 33), nos quais percebe-se pouca variação da densidade e vazios entre as formulações analisadas; tais fatores são significativos para o módulo de elasticidade (FARINHA, BRITO E VEIGA, 2015). Além disso, o módulo de elasticidade é predominantemente influenciado pela zona de transição (KHYALIYA, KABEER, VYAS, 2017).

Recena (2012) comenta sobre a relação existente entre o módulo de elasticidade e a resistência a compressão, mas salienta de quão sensível esse resultado é, e de como muitas vezes acaba sendo difícil essa correlação.

Quanto a interferência da água, Kadir (2016) analisou concretos com substituição parcial, até 50%, da água de hidratação por água de lavagem de caminhão betoneira. Os resultados apresentaram a tendência de se obter um menor módulo de elasticidade com a maior participação do resíduo utilizado.

CAPÍTULO 5

Conclusões

As análises por Fluorescência de raios-X (FRX) e Difração de raios-X (DRX) do resíduo de scheelita apresentaram a predominância de Óxido de Cálcio, Dióxido de Silício, Óxido de Ferro e Óxido de Alumínio em sua composição. A manipueira apresentou maiores concentrações de nitrogênio e cálcio.

O ajuste granulométrico com 75% da fração grossa do resíduo de scheelita grosso e 25 % do resíduo de scheelita fino permitiram o melhor empacotamento das partículas, obtendo consequentemente uma maior massa específica, 3,04 g/cm³. A maior densidade contribuiu com a obtenção de propriedades das argamassas com melhores desempenhos quando comparada com as argamassas que utilizaram a areia natural.

A manipueira não comprometeu a hidratação do cimento. Além disso, a manipueira apresentou o comportamento modificador da plasticidade da argamassa, com menores relação líquido/materiais secos, contribuindo para a incorporação de ar nas argamassas no estado fresco. Os sólidos totais presentes na manipueira, assim como o amido, demonstraram indicativos de contribuição na resistência das argamassas e absorção.

Todas as argamassas com RS apresentaram maiores densidades de massa no estado endurecido quando compara com as produzidas com a areia natural, tendo a maior densidade a composição C+RS+H, com $2.112,25 \pm 19,30$ Kg/m³. Além disso, todas as argamassas foram classificadas com o maior índice (M6) de densidade pela NBR 13281 (ABNT 2005). As formulações com a utilização da manipueira como água de hidratação apresentaram menores densidades no estado endurecido.

A absorção por imersão foi reduzida nas composições 1:3 com a presença da manipueira e RS, nas composições de 1:1:6 a absorção por imersão ocorreu nas amostras com a presença do RS, com leve interferência da presença

da manipueira. A absorção por capilaridade foi expressivamente reduzida com a presença da manipueira e RS. Os vazios da argamassa foram reduzidos com a presença do RS, proporcionada pelo ajuste granulométrico realizado.

A resistência à compressão e à tração as argamassas apresentaram maiores acréscimo quando utilizado conjuntamente o RS e manipueira. Todavia, as argamassas que utilizaram de maneira isolada o RS ou a manipueira, também apresentaram maiores resistências. A maior resistência à compressão obtida ocorreu para a composição C+RS+M com $17,40 \pm 0,31$ MPa e para a resistência à tração a composição C+RS+M com $4,90 \pm 0,16$ MPa, ambas aos 28 dias. Todas as argamassas da proporção de 1:3 foram classificadas com o maior índice resistência à compressão (P6) apresentado na NBR 13281 (ABNT 2005).

A presença da manipueira nas composições permitiu picos mais elevados de CSH, principais responsáveis pela resistência do cimento, além de não comprometerem a formação dos produtos hidratados de cimento, CSH, Etringita e Portlandita, indicado pelo MEV. Os picos de Calcita (CaCO_3) também apresentaram maiores intensidades, associados ao produto de hidratação do cimento e a presença do RS.

O módulo de elasticidade dinâmico nas formulações de 1:3 apresentaram maiores valores para as amostras com a presença de manipueira, tendo o maior valor obtido para a formulação com o RS e manipueira (C+RS+M). Nas composições de 1:1:6, o maior módulo de elasticidade ocorreu, também, para a formulação com RS e manipueira (C+L+RS+M).

Em síntese, a substituição do agregado natural pelo RS e da água de hidratação por manipueira, foram importantes na melhoria das propriedades físicas e mecânicas das argamassas, no estado fresco e endurecido. O RS contribuiu para o desenvolvimento de uma argamassa mais densa e mais resistente. A presença da manipueira levou a incorporação de ar, diminuindo a densidade, mas ao mesmo tempo aumentou a resistência das argamassas. Dessa forma, a presença conjunta do RS e manipueira possibilita a produção de uma argamassa mais leve, mas ao mesmo tempo com maior resistência, tornando-a um material inovador e atrativo para a indústria da construção civil.

CAPÍTULO 6

Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar a análise química detalhada da hidratação do cimento ao substituir a água de hidratação pela manipueira;
- Realizar análises térmicas nas argamassas com manipueira e resíduo de scheelita;
- Realizar estudos sobre o potencial uso das partículas presentes na manipueira como substitutos ao aglomerante e/ou agregados;
- Realizar a análise da durabilidade de concretos com a utilização da manipueira com água de hidratação.

Referências

ABCP. BT 106: **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

ABCP. **Manual de revestimentos de argamassa**. 1.ed. São Paulo, 2003. 104p.

ABNT. **NBR 6508**: Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm, determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ABNT. **NBR 7175**: Cal hidrata para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto- especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009

ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. **NBR NM 47**: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT. **NM 45**: Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

ABRAHAM, S. M.; Ransinchung, G.D.R.N. Strength and permeation characteristics of cement mortar with Reclaimed Asphalt Pavement Aggregates. **Construction and Building Materials**. Volume 167. 2018. Pages 700-706.

AKINDAHUNSI, K. A. Investigation into the use of extracted starch from cassava and maize as admixture on the creep of concrete. **Construction and Building Materials**. Volume 214, 2019, Pages 659-667.

AL-JABRI, K.S. *et al.* Effect of using Wastewater on the Properties of High Strength Concrete. **Procedia Engineering**. Volume 14. 2011. Pages 370-376.

ALVES, B. S.; et al. Análise comparativa do agregado miúdo com o rejeito da scheelita para aplicação na construção civil. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat). 2016, Natal/RN. **Anais [...]** CBECiMat, Natal, 2016.

ANDRADE, J. J. O.; Possan, E.; Squiavon, J. Z.; Ortolan, T. L. P. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**. V. 161. 2018. P. 70-83.

ANDRADE, J. J. O.; Wenzel, M C.; Rocha, G. H.; Silva, S. R. Performance of rendering mortars containing sludge from water treatment plants as fine recycled aggregate. **Journal of Cleaner Production**. V. 192. 2018. P. 159-168.

ANDRADE, L. B.; CARNIN, R. L. P.; PINTO, R. C. A. Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018.

ANEPAC. **O Mercado de Agregados no Brasil**. Nov. 2015. Disponível: http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/download/69_04062b071b7171f3481b7a0e8f36f5ac. Acesso em: 30 out. 2018.

ANGELIN, A. F.; LINTZ, R. C. CECHE; BARBOSA, L. A. G. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete modified with lightweight and recycled aggregates. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 76-94, 2018.

ARAÚJO, R. A. **Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas**. 95 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2017.

ASADOLLAHFARDI, G. *et al.* Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete. **Construction and Building Materials**, Volume 98. 2015. Pages 305-314.

AVCI, H.; Ghorbanpoor, H.; Topcu, I. B.; Nurbas, M. Investigation and recycling of paint sludge with cement and lime for producing lightweight construction mortar. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. V. 5. P. 861-869. 2017.

BADACHE, A.; Benosman, A. S.; Senhadji, Y.; Mouli, M. Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE). **Construction and Building Materials**. V. 163. 2018. P. 40-52.

Baali, L., Naceri, A., Rahmouni, Z., Noui Mehidi, M.W. Experimental Study of the Possibility to Make a Mortar with Ternary Sand (Natural and Artificial Fine Aggregates). **Physics Procedia**. V. 22. 2011. P. 275-285.

BARNAT-HUNEK, D.; Siddique, R.; Łagód, G. Properties of hydrophobised lightweight mortars with expanded cork. **Construction and Building Materials**. V. 155. 2017. P. 15-25.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5 Ed. São Paulo, LTC, 2000.

BEDERINA, M. ; Makhloufi, Z.; Bounoua, Z.; Bouziani, T.; Quéneudec, M. Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestone crushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions. **Construction and Building Materials**. V. 47. 2013. P 146-158. 2013.

BARRETO, M.t.l. *et al.* Atributos químicos de dois solos submetidos à aplicação de manipueira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences, [s.l.], v. 8, n. 4, p.528-534, 28 dez. 2013.

BIANCHE, Juliana Jerásio *et al.* SHEAR STRENGTH IN THE GLUE LINE OF Eucalyptus sp. AND Pinus sp. WOOD. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1109-1117, 2016.

BIAZZON, João Carlos *et al.* Resistência mecânica à adesão em superfícies de madeira de pinus aplainadas e unidas por adesivos PVAc. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 24, n. 1, 2019.

BOTELHO, M. S.; POLTRONIERE, C. M.; RODRIGUES, E. L. F. J. **Manipueira: um adubo orgânico para a agricultura familiar**. XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, Botucatu-SP. Anais [...] Botucatu :Sociedade Brasileira de Mandioca, 2009

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013**. Brasília: ANA, 2018

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral do Rio Grande do Norte**. DNPM, 2017. 20 p.: il.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2016**. DNPM, 2018. 131 p.: il.;

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 218 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Limite de tolerância. Portaria 3214 de 08 de junho de 1978 -**NR 15** - anexo 11.

BREITENBACH, S. B. *et al.* Adição de resíduo do polimento de porcelanato em argamassas de restauro à base de cal. **Cerâmica**. V. 63. 2017. P. 395-401.

CAMARINI, G.; Soares, M. S. Propriedades de argamassas de cimento produzidas com resíduo de isolador de porcelana. **Revista Matéria**. V.. 23. 2018. N. 1.

Cano, T. M., Costa, J. L.; Nesi, J. R. Tungstênio. **Economia Mineral do Brasil**. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília, p. 148-167, 2009.

CARASEK, H. **Argamassas**. Capítulo 26. *In* ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891.

CARASEK, H., ARAUJO, R.C., CASCUDO, O., *et al.* Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, 2016. P. 714-732.

CARDOSO, E. M. R.; DE AGUIAR, O. J. R. **Utilização da mandioca na indústria de compensados de madeira**. Embrapa Amazônia Oriental- Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2003.

CARLOS, E. M. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento térmico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos**. 123 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal/RN, 2018.

CARVALHO, E. B.; LIMA, R. F. S.; PETTA, R. A., PAULO, J. B. A., SOUZA, L. C. Caracterização de rejeitos provenientes da usina de beneficiamento do minério da mina brejuí/RN. **XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Recife, 2002, vol. 1, p. 75

CAVALCANTI, L.M.A.; RIBEIRO, D.V. Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento Portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 1, 2013, P. 26-38.

CINCONTYO, Maria Alba; QUARCIONI, Valdecir Ângelo; JONH, Vanderley Moacyr. **Cal na construção Civil**. In ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2000. Cap. 22. p. 693-727.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2017/18**. 2º levantamento. Brasília, DF: Conab, 2017.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001**, de 23/01/86. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 23 jan. 2019.

CORINALDESI, V.; Mazzoli, A.; Siddique, R. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. **Construction and Building Materials**. V. 123. 2016. P. 281-289.

DIAS, Marilza do Carmo Oliveira. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Banco do Nordeste, 1999.

EIRES, R.; CAMÕES, Aires; JALALI, Said. OPTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE CONSTRUÇÃO EM TERRACOM RECURSO A BIO-POLÍMEROS. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, 4800-058, Portugal. 2010

FAOSTAT. **Base de dados FAOSTAT, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, 2018. Roma, Itália: FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 23 de jan. 2019.

FARIAS FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande: 2007. 118 p.

FARIAS, M. M.; Palmeira, E. M. **Agregados para a Construção Civil**. In ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. Cap. 16. p. 437-524.

FARINHA, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. **Construction and Building Materials**, V. 83, 2016. P. 194-206.

FENIMAN, Cristiane Mengue. **Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot sculenta*, Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. Piracicaba, 2004, 83 p. Tese (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, W. de A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R.; POLTRONIERI, M. C.; **Manipueira: Um adubo Orgânico em Potencial**. Belém, PA, 2001, Embrapa Amazônia Oriental, 21p. (Documentos nº 107).

FERREIRA, R. L. S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento.** 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2017.

FONTES, Wanna Carvalho. Mendes, Júlia Castro. Silva, Sidney Nicodemos Da. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**. V. 112. 2016. P. 988-995.

GERAB, A.T. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2014. 106 p.

GHRAIR, A. M. *et al.* Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes. **Ain Shams Engineering Journal**. Volume 9. 2018. Pages 1519-1525.

GOMES, M., Gonçalves, T. e Faria, P. Evaluación de la influencia del contenido de agua en la trabajabilidad del mortero de tierra. **Apuntes**. Vol. 25, 2012. Bogotá, Colombia.

GONÇALVES, Fabricio Gomes et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de Pinus sp. coladas em temperatura ambiente. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 7, n. 1, 2016.

Guelmine, L.; Hadjab, H.; Benazzouk, A. Effect of elevated ,temperatures on physical and mechanical properties of recycled rubber mortar. **Construction and Building Materials**. V. 126. 2016. p. 77-85.

HENRIQUE, Celina Maria; CEREDA, Marney Pascoli; SARMENTO, Silene Bruder Silveira. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 28, núm. 1, enero-marzo, 2008, pp. 231-240. **Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, Brasil.

Hui Zhao. Chi Sun Poon. A comparative study on the properties of the mortar with the cathode ray tube funnel glass sand at different treatment methods. **Construction and Building Materials**. V. 148. 2017. P. 900-909.

IBGE. **Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Rio de Janeiro. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> . Acesso em: 23 de jan. 2019.

IBRAM. (2018). **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral.** Brasília/DF: Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM.

ISMAIL, Z.Z.; Al-Hashmi, E. A. Assessing the recycling potential of industrial wastewater to replace fresh water in concrete mixes: application of polyvinyl

acetate resin wastewater. **Journal of Cleaner Production**, Volume 19. Issues 2–3 . 2011. Pages 197-203.

IZAGUIRRE, A., Lanas, J., Álvarez, J. I. Behaviour of a starch as a viscosity modifier for aerial lime-based mortars. **Carbohydrate Polymers**. Volume 80, Issue 1, 2010, Pages 222-228

JUNTAO DANG. Jun Zhao. Wenyuan Hu. Zhaohua Du. Danying Gao. Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. **Construction and Building Materials**. V. 166. 2018. P. 898-907.

KADIR, Aeslina Abdul *et al.* The effect on slurry water as a fresh water replacement in concrete properties. *In*: IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2016. p. 012041

KHYALIYA, Rajendra Kumar; KABEER, KI Syed Ahmed; VYAS, Ashok Kumar. Evaluation of strength and durability of lean mortar mixes containing marble waste. **Construction and Building Materials**, v. 147, p. 598-607, 2017.

LEDESMA, E.F. ; Jiménez, J.R.; Fernández, J.M.; Galván, A.P. ;. Agrela, F. ; Barbudo, A. Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**. V. 71. 2014. P. 289-298.

LEONEL, M.; HAMADA, C.; CEREDA, M. P. Cultivo de *Aspergillus niger* em água residual de processamento de mandioca (manipueira). *In* CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 16. Santos-SP, 1991. **Anais [...]**, 1991. p. 215.

LINHARES, A. S.; SILVA, B. T. A. Aplicação do rejeito da scheelita em camadas granulares de pavimentos. *In*: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRANSEG), 2014. Goiânia/Go. **Anais [...]** COBRANSEG, Goiânia, 2014.

MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura**. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. EPUSP. São Paulo, 1998.

MAGALHÃES, C. P., Xavier, J., and Campos, A. P. Biochemical basis of the toxicity of manipueira (liquid extract of cassava roots) to nematodes and insects. **Phytochem. Anal.** 11:57–60, 2000.

MALAGUTI, V. S. **Reuso da água e resíduos gerados pela lavagem de caminhões betoneiras: análise do efeito na resistência à compressão de concreto usinado**. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica

Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Curitiba, 2016.

MARQUES, S. K. J.; ACCHAR, W.. Incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar para fabricação de tijolos solocimento. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), 21. Cuiabá - MT, 2014. **Anais [...]**, 1991. p. 1479-1486.

MEDEIROS, J. K. S. de. et al. Destinação de resíduos da mineração para atividades geotécnicas a fim de reduzir impactos ambientais. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2018, São Bernardo do Campo/SP.

MEDEIROS, M. **Estudos de Argamassas de Revestimento Com Resíduo de Scheelita**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2016.

MEENA, K. ; Luhar, S. Effect of wastewater on properties of concrete. **Journal of Building Engineering**. Volume 21. 2019. Pages 106-112.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.

MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO S.A. Disponível em: <http://minabrejuí.com.br/site/>. Acesso em: 19 jan. 2019.

MONTE, R.; SILVA, A. C. M. A.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação da influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas. *In* VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2007, Recife. **Anais...** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007.

MORAIS, Maria Lúcia. **Projeto incentiva o reaproveitamento da manipueira em cultivos agrícolas**. Universidade Federal do Oeste do Pará. 2016. Disponível em: http://www.ufopa.edu.br/divulgacao_cientifica/projeto-incentiva-o-reaproveitamento-da-manipueira-em-cultivos-agricolas. Acesso em: 16 jan. 2019.

NASU, E. G. C. C.; Formentini, H. M.; Furlanetto, C. Effect of manipueira on tomato plants infected by the nematode *Meloidogyne incognita*. **Crop Protection**. V. 78, December 2015, Pages 193-197.

NETO, M. L. Q. et al. Uso de resíduos da mineração de scheelita em argamassas de assentamento e revestimento. *In*: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (ConGea), 2016, Campina Grande/PB. **Anais [...]** IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Campina Grande, 2016.

NEVES, O. S. C., Souza, A. S., Costa, M. A., de Almeida Sousa, L., Viana, A. E. S., & Neves, V. B. F. (2014). Persistência do cianeto e estabilização do pH em manipueira. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, 1274–1284.

OLIVEIRA, J. P. G. *et al.* Reuso da água da chuva na produção de blocos de concreto não estrutural. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology** (REGET). v. 20. n. 1. p. 487-496. 2016.

OLIVEIRA, J. V. C. *et al.* Tijolo de solo-cimento: avaliação físico-química da água de amassamento e resistência à compressão axial. *In*: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2018, Maceió/AL. **Anais [...]** CONTECC, Maceió, 2018.

OSHA. **Permissible Exposure Limits / OSHA Annotated Table Z-1**, 2018. Washington, EUA: OSHA. Disponível em: <
<https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>. Acesso em: 23 de jan. 2019.

PAIVA, E.H.G. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal/RN, 2013. 106 p.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de construção**. 11. ed. São Paulo: Globo, 1998. 435 p.

PINTO, A.; GOMES, A.; P. F.; PINTO, J. B. **Argamassa**. Instituto Superior Técnico, 2006. 32 p.

PONTE, José Júlio da. **Cartilha da manípueira: uso do composto como insumo agrícola**. 3. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2006.

REBOUÇAS, Cyrus Santos *et al.* Utilização de um sistema para a redução do ácido cianídrico presente na manípueira utilizando energia solar. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.4, p.391-397, 2015.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

RIBAS, Maria Magdalena Ferreira; CEREDA, Marney Pascoli; BÔAS, Roberto Lyra Villas. Use of Cassava Wastewater Treated Anaerobically with Alkaline Agents as Fertilizer for Maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [s.l.], v. 53, n. 1, p.55-62, fev. 2010.

SAMPAIO, C.H.; TAVARES, L.M.M. **Beneficiamento Gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. Editora da UFRGS, 2005.

SANTAMARÍA-VICARIO. A. Rodríguez. C. Junco. S. Gutiérrez-González. V. Calderón. Durability behavior of steelmaking slag masonry mortars. **Materials & Design**. V. 97. 2016. P. 307-315.

SANTOS, Jordana Dorca dos *et al.* Evaluation of the Combined Process of Coagulation/Flocculation and Microfiltration of Cassava Starch Wastewater:

Removal Efficiency and Membrane Fouling. *Water, Air, & Soil Pollution*. **Springer Nature**, v. 228, n. 7, p.228-238, 8 jun. 2017.

ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira. Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013, 227f.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa. Dissertação.** Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de construção civil. São Paulo, 2011. 139 p.

SILVA, Frederico Fonseca *et al.* Desdobramento do amido em glicose para identificar água residuária de indústria de mandioca no perfil do solo. **Acta Science Agronomic.**, Maringá - PR, v. 27, n. 3, p.507-511, set.

SILVA, L. E. B., DOS SANTOS, J. K. B., BARBOSA, J. P. F., LIMA, L. L. C., DE SALES SILVA, J. C. Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2018

SILVA, Vamberto Monteiro da *et al.* Incorporation of ceramic waste into binary and ternary soil-cement formulations for the production of solid bricks. **Materials Research**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.326-331, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

So Yeong Choi. Yoon Suk Choi. Eun Ik Yang. Effects of heavy weight waste glass recycled as fine aggregate on the mechanical properties of mortar specimens. **Annals of Nuclear Energy**. V. 99. 2017. P. 372-382.

SOUSA, J. G. G.; BAUER, E. Contribuição ao estudo da trabalhabilidade das argamassas mistas. **In** Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas - SBTA, São Paulo/SP, junho, 2003, pág. 261-271.

SOUZA, Jônatas Macêdo de. Tijolos de solo-cimento produzidos com manipueira em substituição à água. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Natal, 2019, 80f.

TOKARNIA, C.H. *et al.* **Plantas tóxicas do Brasil para animais de produção.** Editorab Helianthus, Rio de Janeiro, p.443-459, 2012.

U.S. Geological Survey, 2018. **Mineral commodity summaries 2018: U.S.** Geological Survey, 200 p.

VIANA, A. E. S. *et al.* Avaliação de métodos de preparo de manivas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência e Agrotecnologia**, Edição Especial, p. 1383-1390, 2002.