

**UFPA**

**PPGEC**

**Universidade Federal  
do Pará**



Paulo Rogério Silva Júnior

**REJEITO DE MANGANÊS, PROVENIENTE DA  
AMAZÔNIA ORIENTAL, EM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL  
EM CONCRETO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Marcelo de Souza  
Picanço

Belém – Pará – Brasil

2019

Universidade Federal do Pará  
Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**Paulo Rogério Silva Júnior**

**Rejeito de manganês, proveniente da Amazônia Oriental, em substituição parcial do agregado miúdo natural em concreto.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço

Belém  
Março de 2019

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Paulo Rogério Silva Júnior.

TÍTULO: Rejeito de manganês, proveniente da Amazônia Oriental, em substituição parcial do agregado miúdo natural.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

### Paulo Rogério Silva Júnior

Av. Augusto Correa, nº 1, Campus Universitário  
do Guamá, laboratório de Engenharia civil, Belém,  
Pará. CEP 66.075-970.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Biblioteca do Instituto de Tecnologia / UFPA – Belém – PA

---

S586r

Silva Junior, Paulo Rogério, 1988-

Rejeito de manganês proveniente da Amazônia oriental em substituição parcial do agregado miúdo natural em concreto/ Paulo Rogério Silva Junior. — 2019.

Orientador: Marcelo de Souza Picanço

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2019.

1. Concreto- Propriedades mecânicas 2. Manganês- Reaproveitamento 3. Resíduos industriais  
I. Título.

CDD 23. ed. – 620.136

---

Elaborado por Maria Ivone Maia da Costa – CRB 2/768

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



## REJEITO DE MANGANÊS PROVENIENTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL EM CONCRETO

AUTOR:

**PAULO ROGÉRIO SILVA JÚNIOR**

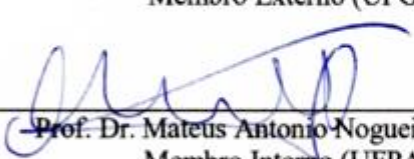
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA  
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM 21/03 / 2019

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Marcelo de Souza Piccanço  
Orientador (UFPA)

  
Profa. Dra. Andrielli Morais de Oliveira  
Membro Externo (UFG)

  
Prof. Dr. Mateus Antonio Nogueira Oliveira  
Membro Interno (UFPA)

Visto:

  
Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

*“É preciso força para sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê”  
(Los Hermanos)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder força nos momentos mais difíceis e sabedoria para vencer os obstáculos que surgiam. Obrigado Senhor, por me oferecer a oportunidade de superar algo que eu tanto aspirava.

Aos meus pais, Paulo Rogério e Mariza Tonaco, pessoas por quem me orgulho de ser filho. Esses sempre estiveram ao meu lado, incentivando-me, com muito amor e responsabilidade, a cumprir com os deveres para os quais fui designado a superar.

À minha irmã, Paula Mickaelle, pessoa exemplar de calma, simplicidade e dedicação para com o trabalho e o estudo.

À minha esposa, Karissa, que enfrentou ao meu lado a batalha diária para conclusão dessa dissertação, oferecendo-me carinho, amor, paciência e contribuição técnica com os ensinamentos acadêmicos. Obrigado amor, por abrilhantar os meus momentos com sua forma agir e por abraçar o meu sonho com mesma responsabilidade atribuída por mim.

Ao meu orientador, professor Dr. Marcelo Picanço, pelos ensinamentos compartilhados, orientações e amizade que foram formadas ao logo desse trabalho.

Aos meus amigos Rogério e Denisson, os quais me ajudaram com a confecção de corpos de prova e ensaios laboratoriais. Mesmo aos finais de semana, vocês sempre estiveram presentes e com muita disposição e compromisso para o cumprimento dessa missão.

À minha grande amiga Daniele Viveiros, a qual me incentivou a fazer o processo seletivo de mestrado e me ofereceu inúmeras dicas para se trabalhar com o rejeito de manganês. Sou muito grato aos seus ensinamentos e amizade.

À Mineração Buritirama S.A por fornecer o rejeito de manganês para fins de pesquisa.

Gostaria de agradecer também ao Instituto Federal do Pará, em nome do professor M.Sc. Nilton César, que me ofereceu apoio com as análises de Microestrutura Eletrônica por Varredura.

E aos não nominados acima, que contribuíram diretamente ou indiretamente para o andamento desse trabalho, sintam-se agradecidos e abraçados. A todos deixo o meu muito obrigado!

## RESUMO

SILVA JÚNIOR, Paulo Rogério. **Rejeito de manganês, proveniente da Amazônia Oriental, em substituição parcial do agregado miúdo natural em concreto.** Dissertação de mestrado, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 94 p.

Sabe-se que esses resíduos, nomeados de rejeitos, em sua maior parte são armazenados em barragens, as quais podem estar sujeitas a sofrerem rompimentos e ocasionar danos materiais e risco de vida a familiares abrigados nas proximidades dessas, além de causar severos impactos ambientais. Não muito distante, pode-se citar como exemplo, a tragédia causada pelo rompimento da barragem de rejeito de minério de ferro na localidade de Brumadinho-MG, ocorrido no ano de 2019. Mesmo com os riscos e impactos provocados pela atividade mineradora, a tendência é o aumento da extração de minérios, uma vez que a tecnologia é dependente desses para produção de aço, pilhas, aparelhos eletrônicos e outros insumos, gerando com consequência um maior quantitativo de rejeito. Ressalta-se também, que a areia natural é obtida, na maioria das vezes, por processo de dragagem, o que implica no desmatamento de determinadas áreas e contamina as águas com óleo diesel. Diante do cenário supracitado, esse trabalho visa o estudo da substituição parcial da areia natural por rejeito de manganês (nas proporções de 15%, 20%, 25% e 30%), proveniente da Amazônia Oriental, referente ao município de Marabá-PA, para a confecção de concreto estrutural sem a utilização de aditivo superplastificante, a fim de verificar a influência do rejeito de manganês na trabalhabilidade da mistura. Para a confecção dos concretos foi utilizada betoneira e para a produção das amostras com rejeito, foi feita previamente a homogeneização, em recipiente plástico, do agregado natural com o rejeito de manganês a fim de melhorar a mistura do concreto. Fez-se ensaios de abatimento por tronco cônico, de resistência mecânica, de absorção de água e análise da microestrutura para as amostras de concreto com e sem rejeito. Como resultados, observou-se que o rejeito de manganês é um material fino com elevada superfície específica que demanda um aumento no quantitativo de água nas misturas, quando comparado ao concreto de referência (sem rejeito). Verificou-se que houve uma redução nas propriedades mecânicas do concreto com rejeito em virtude da demanda de água acrescentada, porém, a absorção de água se mostrou igual ao de referência.

**Palavras-chave:** Concreto; rejeito de manganês, substituição do agregado; materiais alternativos.

## ABSTRACT

SILVA JÚNIOR, Paulo Rogério. **Manganese tailing, from eastern Amazon, replacement of the natural fine`s aggregate**. MSc Thesis, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, Pará, Brazil, 94 p. (in Portuguese).

Research on partial or total substitution of the natural fine aggregate for ore tailings has gained strength in recent years. Most part of these tailings are destined to dams, which are subject of ruptures resulting in social, economic and environmental loses. The most recent example is the rupture of Brumadinho-MG dam in january, 2019. Despite of all the risks associated to the mining activity, the extraction of ore tends to increase due to the final products generated by this activity such as steel, batteries and electronics. Natural sand is mostly obtained by dredging activity, which involves the deforestation of certain areas and the possible contamination of the water with diesel oil from dredgers. This research aims to study the partial replacement of natural sand by manganese tailing (in 15%, 20%, 25% and 30% proportions) from the eastern Amazonia, Marabá-PA municipality, for the construction of structural concrete without the use of superplasticizer. Analyzed the results for the test of workability, mechanical strength, water absorption and microstructure for the samples of concrete with and without tailings. It has been found that manganese tailing is a thin material that has a high specific surface, which demands high demand for water when compared to the reference concrete. It was verified that there was a decrease in the mechanical properties of the refuse concrete due to the added water, however, the water absorption was equal to the reference one.

**Keywords:** Concrete; manganese tailing; replacement of the natural fine`s aggregate; alternative materials.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1 – Mina da manganês da Serra do Navio.....	6
Figura 2 – Beneficiamento típico de minério .....	11
Figura 3 – Disposição de minério da serra Buritirama.....	12
Figura 4 – Beneficiamento do minério de manganês .....	12
Figura 5 – Difratoograma do rejeito de manganês oriundo da serra Buritirama .....	15
Figura 6 – Tendência de substituição dos componentes do concreto ou adição aos mesmos ..	15
Figura 7 – Difração de raio X para o rejeito de dióxido de Manganês.....	16
Figura 8 – Percentual de material pulverulento no agregado miúdo da região metropolitana de Belém-PA. ....	23
Figura 9 – Representação da zona de transição entre pasta de cimento e agregado.....	25
Figura 10 – a) Reciclado de malamina formaldeído b) Malamina formaldeído triturado.....	28
Figura 11 – a) Resíduo de vidro e b) Forma das partículas do resíduo de vidro.....	29
Figura 12 – Fluxograma do planejamento da pesquisa .....	31
Figura 13 – Fluxograma de caracterização dos materiais .....	31
Figura 14 – a) Localização da barragem de RMN b) local da coleta de RMN .....	33
Figura 15 – Atuação da empresa Buritirama S.A. ....	33
Figura 16 – Metalizador de amostras Q150 ES.....	36
Figura 17 – a) Amostra do rejeito de manganês b) Equipamento que realiza o ensaio de MEV e de EDS.....	36
Figura 18 – Difratoômetro D8 Advance.....	37
Figura 19 – Homogeneização da areia com rejeito de manganês.....	41
Figura 20 – Aspecto do concreto que não houve homogeneização do agregado miúdo natural com RMN. ....	42
Figura 21 – Curva granulométrica dos agregado miúdos e limites das zonas ótimas e utilizáveis segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).....	43
Figura 22 – a) Micrografia Eletrônica de Varredura para o rejeito de manganês b) EDS para a amostra de rejeito de manganês.....	46
Figura 23 – Caracterização mineralógica do rejeito de manganês .....	47
Figura 24 – Reação álcali-agregado .....	48
Figura 25 – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	49

Figura 26 – a) Mistura com rejeito de manganês b) Slump-test para mistura com rejeito de manganês.....	50
Figura 27 – Relação a/c em função do acréscimo de substituição de areia natural por rejeito de manganês.....	51
Figura 28 – Resistência à compressão axial aos 28 dias e 91 dias.....	52
Figura 29 – Resultados médios da absorção de água por imersão aos 28 dias.....	54
Figura 30 – Resultados médios dos índices de vazios aos 28 dias.....	54
Figura 31 – Resistência à tração por compressão transversal.....	56
Figura 32 – Módulo de elasticidade.....	57
Figura 33 – a) MEV para o CREF e b) MEV para o C20RMN.....	59
Figura 34 – a) MEV ampliação 1000X para C20RMN b) EDS para C20RMN.....	60
Figura 35 – a) Ampliação de 2000X para concreto com 30% RMN b) Espectro de raio X no ponto A c) Espectro de raio X no ponto B.....	60

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 1 – Comparativo econômico para diferentes setores .....	2
Tabela 2 – Produção mineral do Brasil para o ano de 2016 .....	3
Tabela 3 - Composição química do rejeito de manganês proveniente da Serra Buritirama.....	13
Tabela 4 – Relação das propriedades do concreto com as características do agregado .....	17
Tabela 5 – Série de peneiras e aberturas nominais .....	20
Tabela 6 – Limites aceitáveis para granulometria do agregado miúdo .....	21
Tabela 7 - Bairros de coleta do agregado miúdo .....	22
Tabela 8 – Composição do concreto com FNA e FRA .....	27
Tabela 9 – Proporção de materiais utilizados para confecção de concreto leve.....	29
Tabela 10 – Caracterização do cimento Portland CP-IV 32.....	34
Tabela 11 – Massa de agregado para confecção do ensaio RAA. ....	37
Tabela 12 – Nomenclatura para as amostras. ....	39
Tabela 13 – Quantidade de corpos de prova de concreto. ....	40
Tabela 14 – Consumo de materiais por m <sup>3</sup> .....	40
Tabela 15 – Dados físicos do agregado miúdo utilizados na pesquisa.....	42
Tabela 16 – caracterização química do rejeito de manganês.....	44
Tabela 17 – Exigência química para material pozolânico .....	44
Tabela 18 – Percentuais em massa dos elementos químicos presentes na amostra de rejeito de manganês .....	46
Tabela 19 – Caracterização do seixo .....	48
Tabela 20 – Análise de variância para a resistência à compressão na idade de 28 dias .....	53
Tabela 21 – Análise de variância para a resistência à compressão na idade de 90 dias .....	53
Tabela 22 – Teste ANOVA de uma via para resistência à tração aos 28 dias.....	56
Tabela 23 - Análise de variância para módulo de elasticidade na idade de 28 dias .....	58

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

a/c – Relação água cimento;

ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas;

CP – Corpo de prova;

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral;

CF – Constituição Federal;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

C<sub>3</sub>S – Silicato tricálcico;

C<sub>3</sub>A – Aluminato tricálcico;

DRX – Difração de Raio X;

DNPM – Departamento Nacional de Produção mineral;

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração;

MME – Ministério de Minas e Energia;

PIB – Produto Interno Bruto;

RMN – Rejeito de Manganês;

RPM – Rotação por minuto;

UFPA – Universidade Federal do Pará;

SiO<sub>2</sub> – Dióxido de Silício;

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de alumínio;

K<sub>2</sub>O – Óxido de potássio;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de ferro;

TiO<sub>2</sub> – Dióxido de titânio;

MgO – Óxido de magnésio;

BaO – Óxido de bário;

CaO – Óxido de cálcio;

MnO – Óxido de manganês;

MN – Manganês;

NiO – Óxido de níquel;

ZnO – Óxido de zinco;

## SUMÁRIO

<b>Capítulo</b>	<b>Página</b>
1	INTRODUÇÃO..... 1
1.1	Justificativa..... 3
1.2	Objetivo ..... 4
1.2.1	Objetivo geral ..... 4
1.2.2	Objetivos específicos..... 4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 5
2.1	Mineração na Amazônia Brasileira ..... 5
2.2	Minério de Manganês ..... 8
2.2.1	Utilização do mineral de manganês..... 9
2.2.2	A mina de Buritirama ..... 10
2.3	Materiais alternativos para produção de concreto ..... 15
2.4	Considerações sobre Generalidades de agregados miudos para concreto..... 17
2.4.1	Composição granulométrica..... 19
2.4.2	Material pulverulento ..... 22
2.4.3	Forma e textura dos grãos..... 23
2.4.4	Zona de transição pasta e agregado ..... 24
2.5	Finos no concreto e suas implicações..... 26
3	MATERIAIS E MÉTODOS..... 30
3.1	Programa experimental: materiais e métodos..... 30
3.2	Origem do rejeito estudado ..... 32
3.3	Etapa 1: Caracterização dos materiais..... 34
3.3.1	Caracterização do cimento ..... 34
3.3.2	Caracterização do agregado miúdo ..... 34
3.3.3	Caracterização do agregado graúdo..... 38

3.3.4	Água .....	38
3.4	Etapa 2: Produção de concreto com substituição do agregado miúdo por RMN, para um abatimento de $70\pm 10$ mm. ....	39
3.4.1	Nomenclatura .....	39
3.4.2	Quantidade de corpos de prova e ensaios .....	39
3.4.3	Produção dos concretos e corpos de prova .....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
4.1	Etapa 1: Resultados de caracterização dos materiais utilizados para confecção de concreto .....	42
4.1.1	Caracterização do agregado miúdo .....	42
4.1.2	Caracterização do agregado graúdo .....	48
4.2	Etapa 2: Confecção de concreto com substituição do agregado miúdo por Rejeito de manganês. ....	50
4.2.1	Análise estatística dos resultados .....	51
4.2.2	Microscopia do concreto .....	58
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	61
5.1	Conclusão .....	61
5.2	Sugestões .....	62
6	BIBLIOGRAFIA .....	63
	APÊNDICE .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

O minério de manganês é um recurso natural importante para o Brasil, visto que o país apresenta uma quantidade considerada de reserva do minério e esse material participa diretamente do processo de produção de ferroligas e de aço. O setor de siderurgia consome aproximadamente 85% da produção mundial de manganês, seja na forma natural (ferro gusa) ou transformado em liga à base de manganês. As características físico-químicas do minério permitem que o mesmo seja utilizado como agente dessulfurante (que diminui a quantidade de enxofre) e desoxidante (maior afinidade pelo oxigênio em relação ao ferro). Os demais 15% restantes do consumo de manganês são utilizados para produção de pilhas e como insumos para indústria química com a finalidade de produzir rações adubos *etc.* (Ministério De Minas e Energia - MME, 2009).

Alinhado a importância do minério de manganês para o progresso da economia do país, surge a preocupação com a sustentabilidade ambiental, uma vez que o processo de exploração, beneficiamento do minério e estocagem de rejeitos causam impactos ambientais severos. Viveiros (2017) *apud* Castro (2011) afirmam que a atividade mineradora da Serra de Buritirama produz aproximadamente 50 Kg de rejeito de manganês para cada tonelada de liga produzida, visto que a produção diária de liga é de aproximadamente 300 toneladas. Basicamente, toda quantidade de rejeito é destinada às barragens, sendo que o volume desse material tende a aumentar gradativamente, o que provoca um aumento dos danos ambientais com desmatamento e possível contaminação de águas subterrâneas e margens de rios.

Após a tragédia que aconteceu em Mariana/MG no ano de 2015, a revista eletrônica DomTotal (2017) afirma que as estruturas de barragens são as que oferecem maior risco de ruptura no planeta e que dezesseis barragens brasileiras não apresentam situações ideais de segurança. Em 2019, aconteceu o rompimento da barragem de Brumadinho/MG, tragédia que causou danos à vida de moradores locais e a contaminação do Rio Paraopeba.

Diante do problema exposto, no setor da construção civil surgem alternativas para os materiais não aproveitáveis no processo produtivo de algumas entidades. A indústria da construção tem potencial para incorporar materiais alternativos que atendam aos requisitos técnicos e ambientais para a produção de concreto. Guerra et al. (2017) utilizou Polietileno

Tereftalato (PET) como agregado miúdo para a produção de concreto, enquanto Silva et al. (2016) substituiu a areia por magnetita com a mesma finalidade. Já Viveiros (2017) estudou o rejeito de manganês (RMN) como material de construção civil para confecção de argamassas, avaliando a atividade pozolânica do rejeito e substituiu parcialmente a areia por RMN para confecção de concreto, utilizando aditivo superplastificantes.

Além do mais, sabe-se que o mercado da construção civil se tornou mais competitivo nos últimos anos em função da crise financeira vivenciada pelo Brasil. A Tabela 1 apresenta o comparativo econômico para diferentes setores.

Tabela 1 – Comparativo econômico para diferentes setores

<b>Setor</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Agropecuária	6,7	5,6	-3,1	8,4	2,8	3,6	-6,6	15
Extrativa mineral	14,9	3,5	-1,9	-3,2	9,1	4,8	-2,9	7,8
Indústria de transformação	9,2	2,2	-2,4	4	-4,7	-10,4	-5,2	-1
Construção	13,1	8,2	3,2	4,5	-2,1	-6,5	-5,2	-6,6
Comércio	11,1	2,3	2,4	3,4	0,6	-8,7	-6,3	-0,8
Serviços de correios	11,2	4,3	2	2,6	1,5	-6,6	-7,1	-1,4
Serviço de informação	5,4	6,5	7	4	5,3	-0,5	-3	-1,4
Seguros	9,3	6,2	1,5	1,8	-0,6	-0,8	-2,8	-3,1
Administração pública	2,2	1,9	1,3	2,2	0,1	-0,1	-0,1	-1
PIB	7,5	4	1,9	3	0,5	-3,8	-3,6	0

Fonte: Adaptado de Sinicon/LCA Consultores/IBGE Inforgráfico, elaborado em 22/09/2017

Observa-se na Tabela 1 que a construção civil apresentou uma redução econômica, no primeiro semestre de 2017, de 6,6% em relação ao primeiro semestre de 2016, sendo menor que o PIB para 2017.

Assim, os materiais alternativos ganham destaque, visto que o concreto ainda é o principal material de construção no mercado de infraestrutura. Logo, reduzir custos por meio de materiais que substituam algum insumo do concreto (cimento, agregado miúdo e agregado graúdo) representa inovações importante para empresas que buscam patamares de sustentabilidade ambiental e de baixo custo de produção. Ao mesmo tempo, acredita-se no potencial técnico desses materiais alternativos, resíduos de outras indústrias e de origem mineral. Dessa forma, o objetivo do trabalho é avaliar propriedades de concretos, produzidos com substituição parcial do agregado miúdo natural por RMN, variando-se a relação



água/cimento, sem o auxílio de aditivos plastificantes a fim de verificar a influência na trabalhabilidade do concreto.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de extração mineral na Amazônia tem sido um importante fator de transformação da estrutura socioeconômica e política desta região, mas por outro lado tem demonstrado ser uma atividade que traz significativas consequências ambientais (BRITO, 1995).

Os impactos ambientais da mineração são diversos e apresentam-se em diferentes áreas, como: alterações biológicas, geomorfológicas, hídricas e atmosféricas. Dentre os principais problemas, pode-se citar a remoção da vegetação devido a extração e construção de barragens, poluição de recursos hídricos, proliferação de erosão, poluição sonora e sedimentação de rios.

A mineração ocasiona muitos impactos negativos ao meio ambiente e os recursos hídricos são os mais expostos a sofrerem tais impactos em função das imensas barragens que são construídas para armazenar os rejeitos dessa atividade e podem conter vazamentos, infiltrações e até se romper (FOESCH, 2017).

O acidente ocorrido em 5 de novembro de 2015, em Mariana/MG, com a ruptura da barragem de rejeitos de mineração da empresa Samarco, associada do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), representou um divisor de águas global na relação entre o Setor Mineral, o setor público e a sociedade no que se refere à gestão de riscos associada à atividade mineral (IBRAM, 2016). Foesch (2017) afirma que as análises físico-químicas realizadas no rio Gualuxo do Norte e do Carmo apresentaram valores de turbidez, cor e metais dissolvidos acima dos permitidos pela resolução 357/05 CONAMA (2005).

Além disso, verifica-se que o Brasil é um potencial produtor mineral, sendo o manganês o quinto de maior produção (Tabela 2). Desta forma, a quantidade de rejeito mineral produzida é alta, aumentando os possíveis riscos de impacto ambiental.

Tabela 2 – Produção mineral do Brasil para o ano de 2016

<b>Produção mineral do Brasil</b>	<b>Toneladas</b>
Minério de ferro	430.000.000

<b>Produção mineral do Brasil</b>	<b>Toneladas</b>
Agregados	420.000.000
Bauxita	30.000.000
Fosfato	6.800.000
Manganês	2.400.000
Alumínio primário	1.000.000
Potássio concentrado	460.000
Zinco concentrado	230.000
Cobre	200.000
Liga de nióbio	90.000
Níquel contido	60.000
Ouro	86

Fonte: IBRAM (2016).

Diante deste contexto, a justificativa deste trabalho é fornecer alternativa, do ponto de vista técnico para o rejeito de manganês produzido na Serra de Buritirama, estado do Pará. Assim, uma solução é verificar o comportamento do rejeito para produção de material alternativo na construção civil, com a substituição parcial do agregado miúdo natural por rejeito de manganês com a finalidade de confeccionar subprodutos à base cimento Portland, como exemplo, o concreto.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é realizar a substituição parcial do agregado miúdo natural por rejeito de manganês com a finalidade de avaliar o efeito das substituições em um concreto de referência dosado para fins estrutural, sem a utilização de aditivo plastificante, a fim de verificar o impacto na trabalhabilidade e como consequência as propriedades mecânicas, visto que materiais finos tendem a absorver um maior quantitativo de água.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- caracterização física dos componentes que irão compor o concreto: agregado miúdo e graúdo, rejeito de manganês e cimento;

- caracterização química, mineralógica e microscópica do rejeito de manganês oriundo da Serra de Buritirama, localizada no município de Marabá/PA;
- analisar o potencial de desenvolvimento de reação álcali-agregado à luz da NBR 15577-4, (ABNT, 2018), considerando como massa do agregado miúdo, sugerido por norma técnica, a ser investigado a mistura com 70% de areia e 30% de rejeito de manganês (máximo percentual utilizado nessa pesquisa);
- avaliar as propriedades, no estado fresco e endurecido, do concreto estrutural com a substituição parcial da areia natural por rejeito de manganês, nas proporções de 15%, 20%, 25% e 30%;
- quantificar e analisar o decréscimo nas propriedades mecânicas em virtude da não utilização de aditivo plastificante em comparação com os resultados sugeridos por Viveiros (2017);
- realizar o ensaio de absorção por imersão para os corpos de prova (concreto de referência e concreto com rejeito de manganês);
- discutir a microestrutura do concreto estrutural com a substituição do agregado miúdo natural por rejeito de manganês.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

O processo de valorização industrial de recursos minerais na Amazônia oriental brasileira (que envolve os estados do Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão) iniciou-se na década de 40, com a exploração das reservas de minério de manganês da Serra do Navio (Figura 1), no Território Federal do Amapá (MONTEIRO, 2005).



Figura 1 – Mina da manganês da Serra do Navio

Fonte: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/09/28/jazidas-de-manganes-do-amapa-poderao-ter-novas-regras-de-exploracao>

Tal período foi marcado pela promulgação da constituição de 1946, a qual não deixou explícito que os bens minerais eram propriedade da união, além de não estabelecer restrições quanto a atuação das sociedades mineradoras (Monteiro, 2005).

A valorização do minério de manganês da Serra do Navio permaneceu por duas décadas como a única extração mineral industrial significativa na Amazônia Oriental brasileira. Na década de 70, o governo federal criou o Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (Polamazônia), o que integra Carajás, Trombetas e Amapá. No polo Amapá houve incentivo para exploração do manganês e caulim e no polo Trombetas a exploração de bauxita com a instalação de empresa *Aluminium Limited of Canada*. O governo criou também, na mesma época, o Projeto Grande Carajás (PGC) com objetivo de explorar o minério de ferro, no sudoeste paraense, que hoje é o município de Parauapebas. O PGC trouxe consigo o investimento em diferentes obras de infraestrutura (instalação portuária, estradas e pátio de estocagem) e facilitou para que em 1985 iniciasse a exploração de manganês no Igarapé do Azul, em Carajás (MONTEIRO, 2005).

Na década de 90, a exploração de manganês no polo Amapá estava em fase de encerramento em virtude do esgotamento do minério e essa exploração não foi suficiente para apoiar um projeto de desenvolvimento esperados pelos agentes políticos (BRITO, 1995)

Percebe-se que até promulgação da constituição de 1988 as sociedades mineradoras tinham uma maior liberdade para com a exploração mineral, visto que as exigências mais severas, a exemplo da recuperação de área degradada, preservação de biodiversidade e prover o manejo ecológico (Art 225, § 2º CF) não existiam em épocas anteriores. Dentro do contexto de empresas mineradoras promovendo o desenvolvimento de regiões afetadas por suas

atividades, Brabo et al. (2017), verificaram que algumas iniciativas para criação de peixe, nas proximidades do município de Jutiti-PA, tem sido fomentada por empresas mineradoras como forma de minimização aos impactos ambientais providos, pois o agroextrativismo representa a principal fonte de renda para 70% das famílias analisadas naquela região. Cerca de 63,4% apresentam renda mensal de até dois salários mínimos e eram formados por até quatro membros familiares.

Verifica-se que um dos atrativos para instalação de indústria mineradora nos municípios são os *royalties* gerados por essa atividade, funcionando com uma receita estratégica que pode ser empregada para viabilizar a implementação de políticas públicas direcionadas aos serviços sociais prestados à população. Porém, a alocação desse recurso não ocorre da melhor forma, visto que os municípios que não tem exploração mineral e são afetados pelos efeitos negativos dessa atividade, não recebem benefícios dos *royalties* (RODRIGUES, 2016). Segundo Rodrigues *et al.* (2016), não foram encontrados evidências que a atividade mineral proporcione alto níveis de emprego e distribuição de renda, sendo necessário uma melhor gestão sobre os recursos recebidos.

Sabe-se ainda que a atividade mineradora é causadora de diversos danos ambientais. Na Amazônia brasileira, a mineração leva o desmatamento muito além dos limites de locação operacional, causando no período de 2005 a 2015 um desmatamento de 11.670 km<sup>2</sup>. Essa extensão representa 9% de toda a perda florestal da Amazônia brasileira (SOUNTER, 2017).

Souza-Filho *et al.* (2019) quantificaram a área de vegetação de canga (savana ferruginosa) afetada com a implantação da mineradora de ferro na província de Carajás, constatando que supressão vegetal de canga ocorreu em maior escala no período de implantação da mineradora. Já Pinheiro et al. (2017) avaliaram o tecido hepático de espécies de *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, conhecido popularmente como peixe tambaqui, de área sob influência de mineração na Amazônia Oriental, constatando que houve alteração no fígado desse peixe, além de encontrar alto teor de metais na água, a exemplo de manganês e ferro.

Diante de inúmeros impactos causado por mineradora, desde a instalação até o depósito de rejeitos, Congilio e Moreira (2017) afirma que deve existir elevada resistência com relação aos projetos de grandes mineração. A região amazônica é responsável por explorar e beneficiar diferentes minérios, como manganês, ferro, bauxita e ouro. A atividade mineradora ganhou impulso no final de 1980 com a criação do polo siderúrgico explorado

pela Companhia Vale do Rio Doce, denominada atualmente, após a privatização de VALE S.A., empresa que conta com fortes aportes financeiro do estado como a isenção de impostos.

Para a comercialização dos minérios, em teor e granulometria exigidas pelo mercado, é necessário que ocorra um processo de beneficiamento, que gera como subproduto o rejeito, geralmente destinado às barragens de contenção, as quais possuem um grande potencial poluidor (GOMES, 2018). Segundo Coelho *et al.* (2017), as barragens estão sujeitas ao rompimento ou vazamento, visto que empresas mineradoras utilizam tecnologias que causem menor impacto financeiro para monitorá-las e essas devem suportar um maior volume de rejeitos oriundo da larga escala de produção. Assim, a causa de rompimento de barragens de rejeito está, na maioria dos casos, atrelada a falha humana de planejar, construir e monitorar os locais de estocagem.

Além dos impactos ambientais causados e dos riscos com rompimento de barragens de contenção de rejeito, a atividade mineradora na região amazônica provoca também impactos sócio-políticos com a retirada de povos nativos, como: indígenas, ribeirinhos e camponeses, para instalação de polo minerador. Diante disso, Congilio e Moreira (2017) afirma que o sudeste paraense se caracteriza por áreas imensas apropriadas pela indústria mineradora e para tratar sobre a resistência à mineração nesse local, significa abordar questões que envolvem lutas camponesas, indígenas, das populações ribeirinhas, dos trabalhadores urbanos das instituições estatais e privadas e de todos os atingidos pela exploração mineral.

## 2.2 MINÉRIO DE MANGANÊS

A palavra manganês deriva do latim “magnes”, que vem de magnético, por ser muito semelhante ao cromo e ao ferro. Esse é um metal, pertencente a classe dos metais de transição, cujo símbolo na tabela periódica é Mn e o número atômico é 25. Apresenta as seguintes características físicas: peso atômico 54,983 g, densidade entre 7,21 a 7,40 g/cm<sup>3</sup>, sendo sólido quebradiço a temperatura ambiente, com coloração cinza brilhante. Tal elemento foi descoberto em 1774 pelo sueco Carl Wilhelm Scheele e isolado no mesmo ano por seu colaborador Johan Gottlieb Gahn (SANTANA, 2009).

Sabe-se que os compostos de manganês já eram utilizados, na antiguidade, pelos egípcios e romanos para coloração e descoloração do vidro, e a partir do século XIX já

realizavam experimentos para o uso do manganês em ligas, sendo que em 1816, foi comprovado que o uso do elemento químico ocasionava o endurecimento aço. Nos dias atuais, o manganês é amplamente usado na siderurgia como insumo fundamental para fabricação de aços e ligas, atuando como um agente removedor de enxofre e oxigênio, fator que melhora as propriedades físicas e químicas da liga. Além disso, o manganês também é utilizado sob a forma de óxido, tanto nas pilhas alcalinas como nas pilhas secas (SANTANA, 2009).

A produção do minério de manganês no Brasil se deu a partir do século XIX, sendo que a partir do século XX, esse se tornou o mineral de maior exportação, e em 1900, o estado de Minas Gerais exportou 89 mil toneladas de minério, atingindo no ano de 1941 um valor da ordem 440 mil toneladas (BRASIL, 2009).

As principais reservas nacionais desse minério estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e Pará. A mina da Buritirama, juntamente com a Mina do Azul (pertencente à VALE S.A., no município de Parauapebas), contribuiu com mais de 50% da extração nacional de manganês (CETEM, 2013 *apud*, Cruz Neto, 2009).

Segundo a companhia VALE S.A. (2017), a qual opera minas e usinas de manganês nos estados do Pará e Mato Grosso do Sul, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de manganês, com cerca de 10% da produção mundial do elemento, ficando atrás dos seguintes países: Ucrânia (24%), África do Sul (22%) e Austrália (16%).

Com relação a produção do minério no estado do Pará, as grandes reservas estão localizadas na região do Azul e da serra de Buritirama, ambas localizadas na província mineral de Carajás. Atualmente, a mina do Azul é explorada pela companhia vale do Rio Doce, sendo responsável por 80% da produção da companhia. Já a mina de Buritirama é explorada pela companhia Buritirama S.A.

### 2.2.1 Utilização do mineral de manganês

Por ser o quinto mineral mais utilizado no mundo, o manganês despenha um papel fundamental para o crescimento econômico do país, visto que o mesmo está presente no nosso dia a dia no aço que é utilizado nas construções civis e na confecção de carros, fator que coloca a indústria siderúrgica como maior consumidora de manganês produzido, o que corresponde à 90% do total da produção do metal (BRASIL, 2016).

O segmento de produção do ferro gusa consome cerca de 12Kg de minério de manganês por tonelada de gusa. Já para produção de liga a base de manganês, consome aproximadamente 2,25 tonelada de minério para cada tonelada de liga. Os minérios de manganês podem ser classificados em duas tipologias: baixo teor, contendo de 25 a 30% Mn, e alto teor, contendo pelo menos 40% de MN (BRASIL, 2009).

O manganês é utilizado como elemento de liga e desoxidante moderado. Em aços de baixo carbono, o manganês residual aumenta a dureza e a resistência do produto. Como elemento de liga, o metal de transição permite a fabricação dos aços magnéticos autênticos, com elevada dureza superficial. Nos aços de ferramenta, a presença do manganês melhora a temperabilidade (BRASIL, 2016).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, os minérios de manganês para utilização são divididos em:

- minérios de alto-forno (gusa): são do tipo ferro-manganês com composição típica de  $Fe + Mn > 50\%$ ,  $P < 0,1\%$  e baixos teores de sílica, alumina e enxofre;
- para as ligas ferro-manganês: Minérios com mínimo de 42% Mn, relação Mn/Fe  $> 7$ , Sílica max 6%,  $P < 0,1\%$  e baixo teor de alumina e álcalis;
- para as ligas Ferro Silício Manganês, a relação Mn/Fe = 5,5 e sílica  $< 15\%$ ;
- para o manganês de grau eletrolítico (bióxido de manganês), com alto teor de  $MnO_2$ , baixo ferro e traços de outros metais. São utilizados na fabricação de pilhas e indústria química, como algumas vitaminas, visto que o ser humano precisa consumir de 1 a 5 mg por dia deste mineral.

## 2.2.2 A mina de Buritirama

### 2.2.2.1 *Tratamento do minério*

Após a operação de lavra, que consiste na obtenção do minério bruto, esse passa por etapa de beneficiamento ou tratamento, a qual consiste em modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física dos minerais. Assim, o tratamento ou beneficiamento de minérios consiste na separação física ou físicoquímica dos minerais valiosos dos não valiosos para obtenção de uma porção enriquecida, denominada de concentrado, contendo a maior parte dos minerais valiosos ou apenas a sua modificação granulométrica ou forma. Em um conceito mais tradicional, o tratamento de minério é considerado como um conjunto de operações aplicado



às rochas, aos minérios ou minerais, visando obter produtos requeridos pelo mercado, sem modificar a identidade física e/ou química dos minerais (BRASIL, 2018).

Segundo a empresa MINERAÇÃO BURITIRAMA (2017), o minério é classificado como alto teor (teor de MN acima de 40%), baixo teor de fosforo (teor máximo abaixo de 0,080%) e a relação manganês/ferro superior a 15.

Diante desse contexto cabe ressaltar os seguintes conceitos definidos pela BRASIL, 2018:

Mineral é todo corpo natural, inorgânico, homogêneo, apresentando composição química e propriedades físicas definidas, sendo encontrado na crosta terrestre ou em outros corpos celestes. Rocha é um agregado de minerais e, se neste ocorre um ou mais minerais de importância econômica, denomina-se minério. Os minerais de importância econômica são denominados de minerais minério. Os minerais que não apresentam importância econômica são conhecidos como ganga (BRASIL, 2018, p. 3).

A Figura 2 ilustra o procedimento básico para o beneficiamento de minério com circulação de água, na qual o minério passa por diferentes etapas: britagem e moagem; peneiramento e classificação; concentração; desaguamento; secagem e disposição do rejeito (Brasil, 2018).

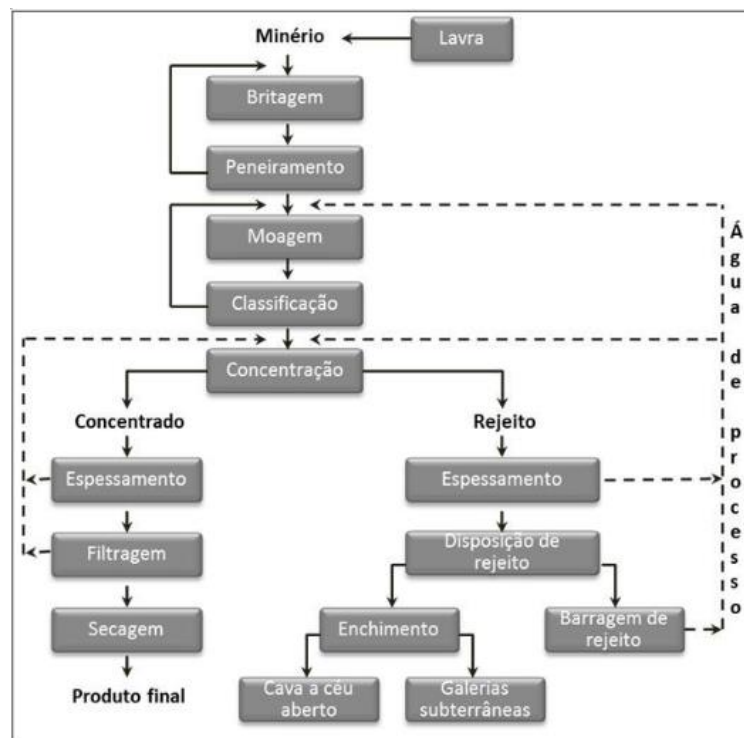


Figura 2 – Beneficiamento típico de minério  
Fonte: BRASIL, 2018

Segundo a empresa Buritirama S.A, o minério bruto de manganês, após ser homogeneizado, passa pelos processos de britagem primária, desagregação e lavagem em

tanque rotativo, classificação em peneira vibratória, rebtagem e nova classificação em classificadores espirais. Ao final da etapa de processamento, obtém-se duas granulometrias de minério, uma com variação de diâmetro de 76,2 mm a 6,35 mm e outra com variação de 5,0 mm a 0,074 mm. A disposição dos minérios ocorrem conforme Figura 3.



Figura 3 – Disposição de minério da serra Buritirama  
Fonte: Buritirama, 2017

O processo de beneficiamento adotado pela Buritirama S.A está ilustrado na Figura 4.

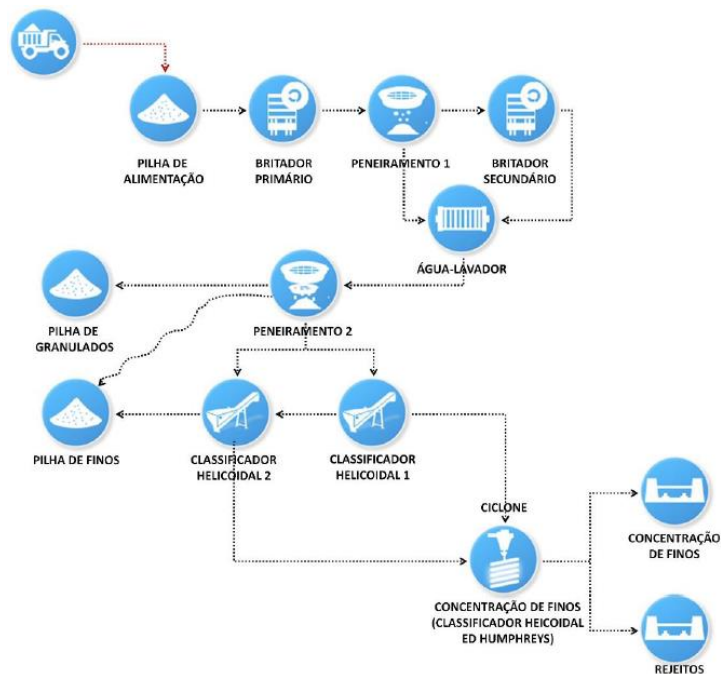


Figura 4 – Beneficiamento do minério de manganês  
Fonte: Mineração Buritirama S.A, 2017

A mineradora Buritirama tem licença de operação para produzir até 900 mil toneladas de produto granulado e sinter-feed, que são minério de granulometria entre 6,35 mm e 0,15mm (BRASIL, 2013).

O beneficiamento do minério utiliza apenas água como agente para a concentração de manganês, sendo, portanto, as barragens o ponto alto da preservação ambiental, já que não deixam que partículas sólidas, provenientes dos rejeitos, sejam carregadas para os corpos hídricos receptores, impedindo seu assoreamento e contaminação. Porém, trabalhadores do Assentamento Cinturão Verde, nas proximidades da mina, alegam que, no período chuvoso, os rejeitos provenientes da lavagem do minério de manganês têm alcançado os cursos d'água, impossibilitando o seu uso (BRASIL, 2013).

#### 2.2.2.2 Mineralogia do manganês

As rochas metamórficas que compõem a serra de Buritirama é formada por quartzitos micáceos, sobrepostos por micaxistos, encaixantes das lentes de minério de manganês, quartzito bandado ferruginoso e por espessa unidade de micaxistos e quartzo xistosos (MINERAÇÃO BURITIRAMA S.A, 2017).

O minério de manganês, segundo a empresa Buritirama S.A, apresenta uma mineralogia complexa, incluindo óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos, com predominância de criptomelana, litioforita e bióxido amorfos de manganês ( $MnO_2$ ). Souza (2017) verificou que as rochas do protominério de manganês, oriundo do estado da Bahia, são compostas principalmente de piroxênios do tipo rodonita ou piroxmangita com até 49% de óxido de manganês ( $MnO$ ) nas suas estruturas cristalinas, granadas do tipo espessartita com média de 30% de  $MnO$  e rodocrositas com até 88% de  $MnO$ , além de sulfeto de manganês do tipo alabandita, esse último com até 75% de  $MnO$ .

Já Viveiros (2017), mediante a análise química do rejeito de manganês proveniente da serra de Buritirama constatou que tal material apresenta 60,46% de  $MnO$ , conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química do rejeito de manganês proveniente da Serra Buritirama.

<b>Rejeito de Manganês</b>	
<b>Componentes</b>	<b>% massa</b>
SiO <sub>2</sub>	6,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,25

Rejeito de Manganês	
Componentes	% massa
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,68
TiO <sub>2</sub>	0,34
MgO	0,35
BaO	1,46
K <sub>2</sub> O	2,29
CaO	0,21
MnO	60,46
NiO	0,20
ZnO	0,37
Perda ao fogo	15,94

Fonte: Viveiros, 2017

Diante aos percentuais de óxidos, presente na composição química do rejeito de manganês, Viveiros (2017) concluiu que esse não se classifica como adição mineral pozolânica, por não atender aos requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2015).

Viveiros (2017) verificou também as fases mineralógicas do rejeito de Manganês através da análise de Difração de raio X (Figura 5), quando concluiu que o mesmo apresentava características cristalinas. Os materiais cristalinos apresentam difratogramas com elevados picos, já os materiais amorfos apresentam curvas suaves e com poucos picos. Segundo Callister (2016), o arranjo atômico para a estrutura cristalina é caracterizado por longas cadeias que se repetem, como é o caso dos metais.

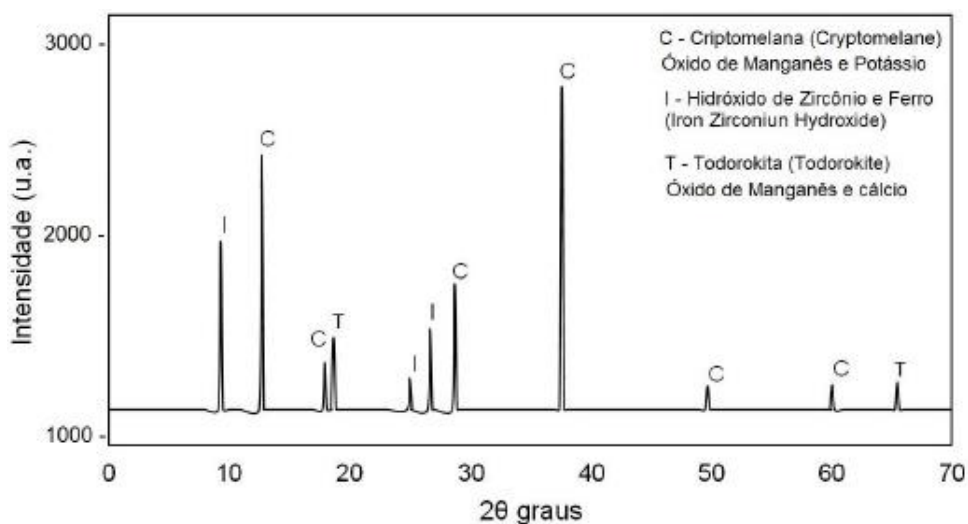


Figura 5 – Difratoograma do rejeito de manganês oriundo da serra Buritirama.  
Fonte: Viveiros (2017)

## 2.3 MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Mendes (2016) realizou uma pesquisa utilizando a base do banco de dados do *Science Direct*, considerando o primeiro semestre de 2016, e como palavras chave utilizou “Concrete” (Concreto) e “Waste” (Desperdício), encontrando, assim, 68 artigos, dentre os quais 35 estavam relacionados a produção de concreto, com substituições de cimento ou agregados, para a produção de materiais alternativos. O autor pode concluir que há uma tendência por confeccionar materiais alternativos com a substituição do agregado miúdo natural, representando 44% dos artigos encontrados, sendo as demais substituições distribuídas conforme a Figura 6.

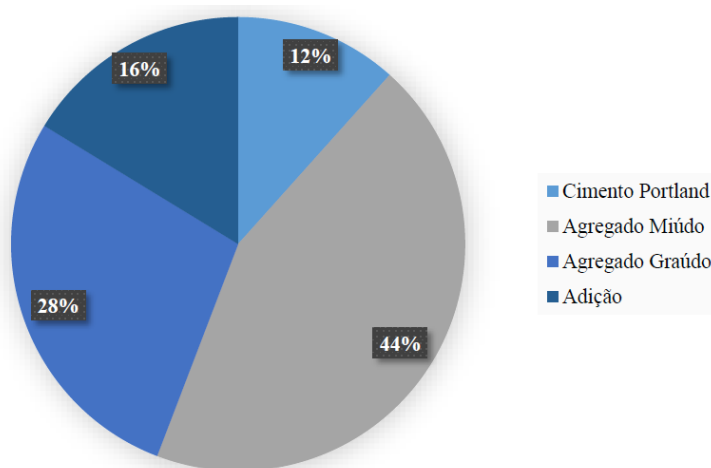


Figura 6 – Tendência de substituição dos componentes do concreto ou adição aos mesmos  
Fonte: Mendes, 2016

A exemplos de substituição do aglomerante hidráulico, cita-se o trabalho de Viveiros (2017), a qual estudou a possibilidade de utilizar o rejeito de manganês (RMN) substituindo o cimento por rejeito, nas proporções de 6, 8 e 10%. Tal estudo verificou acréscimo de resistência à compressão em todos os teores. A autora afirma que alguns fatores contribuíram para o aumento da resistência da argamassa, a título de exemplo, cita-se a finura do RMN, sendo um importante parâmetro que influencia no efeito de nucleação heterogênea.

Além disso, em uma das etapas da dissertação de mestrado, Viveiros (2017) substituiu parcialmente o agregado miúdo natural por rejeito de manganês nos teores de 15%, 20%, 25% e 30% com emprego de superplastificantes para melhorar a trabalhabilidade do

concreto; como conclusão, foi comprovado estatisticamente que não houve variações significativas quanto às respostas envolvendo a resistência à compressão comparada à referência. Notou-se uma melhora nas propriedades mecânicas quanto aos corpos de prova com substituição de 15 e 20% do agregado miúdo.

Salgueiro *et al.* (2014) verificou a viabilidade em utilizar a gonga do manganês, proveniente da Península Ibérica, e substituir em 20% em massa do agregado miúdo, como material de enchimento, para produção de uma nova mistura de concreto. O autor concluiu que a nova mistura obteve um valor de resistência mecânica à compressão de 56,44 MPa, superior à resistência do concreto convencional de 41,03 MPa.

Já Chousidis *et al.* (2018) avaliou as propriedades físicas do concreto quanto a resistência à corrosão ao incorporar rejeito de dióxido de manganês (RDM) na mistura. O estudo considerou a confecção de corpos de prova com 5% e 10% de substituição do cimento por rejeito, e as amostras foram imersas em solução de NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Os autores puderam concluir que o rejeito não afeta negativamente as propriedades de mecânicas do concreto e também não afetou de forma significativa a absorção de água por capilaridade da mistura.

A Figura 7 ilustra a difração de raio X para o rejeito de dióxido de manganês.

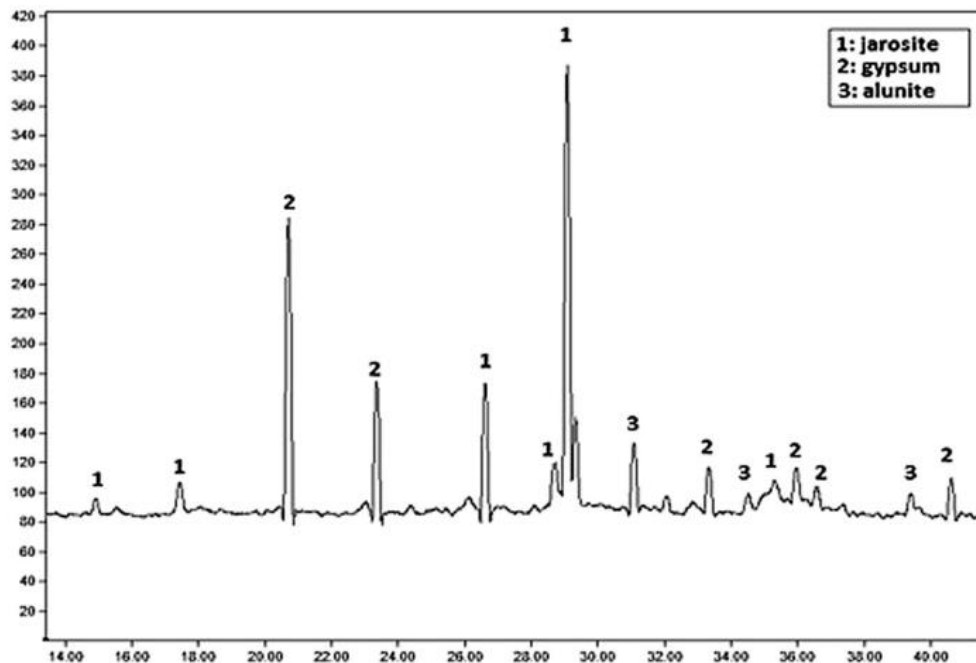


Figura 7 – Difração de raio X para o rejeito de dióxido de Manganês

Fonte: Adaptado Chousidis et al. (2017)

Outros materiais alternativos foram propostos por Thorneycroft et al. (2018) que substituíram parcialmente a areia natural por resíduos de plástico para avaliarem o

desempenho do concreto com função estrutural, visto que o plástico descartado na Índia pouco se reciclava. Por fim, Upadhyaya *et al.* (2019) substituíram o agregado miúdo natural por pó de mármore para fins de análise experimental, com o intuito de minimizar o impacto ambiental causado pela extração de areia de rio.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE GENERALIDADES DE AGREGADOS MIUDOS PARA CONCRETO

Por serem relativamente baratos e por não reagirem significativamente com os aglomerantes e com a água, os agregados, de maneira geral, têm sido tratados como material inerte de simples preenchimento do concreto de cimento Portland (WEIDMANN, 2008 *apud*, AÏTCIN, 2000). Para Aïssoun *et al.* (2015) o volume de agregado representa 60% do volume total de concreto.

É de extrema importância o conhecimento das propriedades e aplicação de conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para otimização da relação custo x benefício na produção de concretos e argamassas (WEIDMANN, 2008). Na Tabela 4, WEIDMANN (2008) mostra as principais propriedades do concreto relacionada com as características dos agregados.

Tabela 4 – Relação das propriedades do concreto com as características do agregado

Propriedades do concreto	Características dos agregados
Resistência mecânica	Resistência mecânica e sanidade
	Textura superficial
	Limpeza
	Forma dos grãos
Retração	Dimensão máxima
	Módulo de elasticidade
	Forma dos grãos
	Textura superficial
Módulo de elasticidade	Limpeza
	Dimensão máxima
	Granulometria
	Módulo de elasticidade

<b>Propriedades do concreto</b>	<b>Características dos agregados</b>
	Coefficiente de Poisson
Resistência a derrapagem	Abrasão
	Textura superficial
Economia	Forma dos grãos
	Textura superficial
	Granulometria
	Dimensão máxima
	Beneficiamento Requerido
	Disponibilidade

Fonte: adaptado WEIDMANN, 2008

Os agregados são compreendidos como materiais granulares a exemplo dos pedregulhos, areia, pedra britada e filer, esses são adicionados à pasta de cimento com objetivo de reduzir o consumo de cimento. Metha e Monteiro (2014) afirmam que os agregados são os principais responsáveis pela massa unitária, estabilidade dimensional do concreto e o módulo de elasticidade. Silva et al. (2016) ao procurar uma relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão para misturas com agregado reciclado de concreto, puderam concluir que o módulo normalmente reduzia a medida que se aumentava o quantitativo de agregado reciclado, destacando que o essa propriedade mecânica do concreto é dependente do tamanho e da qualidade do agregado.

Quanto ao tamanho, os agregados são divididos em graúdos, cuja granulometria é superior a 4,75 mm, e miúdos, com granulometria inferior a 4,75 mm e superior a 75 µm (NBR 7211, 2009). O tamanho do agregado, a forma e a textura influenciam diretamente nas propriedades do concreto. Segundo Chagas (2011), o tamanho do agregado tem efeito direto sobre a densidade, vazios e trabalhabilidade das misturas de concreto. Ele também influencia nas propriedades da mistura a depender do conteúdo de finos, volume de vazios, estabilidade e durabilidade.

Siddique et al. (2018) obtiveram acréscimo na resistência à compressão e na resistência ao impacto para concreto moldados com finos cerâmico de porcelana. Foi observado um maior aumento de componentes hidratados na zona de transição entre agregado e pasta de concreto, e esses finos ocupam um maior número de vazios, deixando a estrutura mais compacta. Chun Li (2016) ao adicionar pó de pedra como agregado miúdo no concreto



observou que esse demandava mais água a medida que acrescentava o fino, visto que a mistura se mostra com aspecto seco, porém, quando adicionada a água, essa se mostra com aspecto coeso. Ganesh et al. (2014) ao trabalharem com areia de fundição, observou que misturas de concreto com esse material gerava mistura mais coesa, fator que demandava mais água e essa demanda era proporcional a adição de areia de fundição. Como consequência, Prabhu et al. (2014) obtiveram concreto com menor trabalhabilidade, no estado fresco, e com menor resistência mecânica, no estado escurecido.

De acordo com Chagas (2011, apud Andolfato, 2002), a areia considerada ótima para produção de concretos é a areia grossa, com módulo de finura entre 3,35 e 4,05, porém, areia média com módulo de finura 2,4 e 3,35 é considerada utilizável. Aïsson et al. (2015) observaram que o módulo de finura e a densidade de empacotamento (propriedade dependente da relação entre volume de agregado miúdo e agregado graúdo) interferem diretamente na reologia do concreto auto adensável. Além disso, Aïssoun et al. (2015) puderam verificar que areias naturais com módulo de finura de 2,6 apresentaram melhor desempenho ao esforço de compressão quando comparada com areias combinadas, as quais apresentaram valores de módulo de finura de 2,5 e 3,0, por serem mais homogênea quanto a distribuição do tamanho das partículas dos grãos.

Quanto ao agregado graúdo, os mais utilizados são os seixos e as britas, porém, cabe ressaltar que existem diferentes agregados graúdos e rejeitos que são estudados para o uso no concreto, desde que os elementos que os compõem não reajam quimicamente causando efeitos negativos para a mistura. De Luca (2014) incorporou agregado graúdo, proveniente de solo laterítico para confecção do concreto, obtendo resultados satisfatórios. Kwan et al. (2012) substituíram a brita por agregado graúdo reciclado de concreto, nas proporções de 15%, 30%, 60% e 80, porém, foi observado que a resistência à compressão reduziu quando comparado ao concreto com agregado graúdo granítico. E Ali et al. (2018) utilizou grânulos de polietileno como agregado graúdo para produção de concreto leve.

Cabe ressaltar que é satisfatório que a resistência do agregado graúdo deve ser consideravelmente superior à do concreto, pois as tensões reais nos pontos de contato das partículas individuais com concreto podem ser bem maiores que a tensão nominal de compressão aplicada (NEVILLE, 2015).

#### 2.4.1 Composição granulométrica

Composição granulométrica pode ser definida como sendo a distribuição do tamanho de partículas de determinado agregado, sendo usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas das frações retidas ou passantes em uma dada série de aberturas de peneiras, ou ainda, de porcentagens entre certos intervalos de aberturas. Assim, a composição granulométrica de um agregado é determinada por meio de peneiramento de uma amostra representativa em uma sequência de peneiras dispostas da maior abertura em cima para a menor abertura em baixo (WEIDMANN, 2008).

O ensaio é padronizado no Brasil através da ABNT NBR NM 248:2003, sendo as peneiras utilizadas definidas como de série normal e intermediária, conforme Tabela 5. As malhas das peneiras utilizadas nesse trabalho foram de série normal.

Tabela 5 – Série de peneiras e aberturas nominais

<b>Série Normal (mm)</b>	<b>Série intermediária (mm)</b>
75	-
-	63
-	50
37,5	-
-	31,5
-	25
19	-
-	12,5
9,5	-
-	6,3
4,75	-
2,36	-
1,18	-
0,6	-
0,3	-
0,15	-

Fonte: adaptado, ABNT NBR NM 7211,2005

O ensaio de composição granulométrica é fundamental para definir a dimensão máxima característica, bem como o módulo de finura. Segundo WEIDMANN, 2008, apud, Kwan et al., 1999, apenas a composição granulométrica não é suficiente para caracterizar o

agregado, visto que partículas alongadas podem passar em peneiras de malha de dimensão inferior, distorcendo o resultado da curva, uma vez que grãos com dimensões maiores estariam classificados com dimensões menores.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), esse ensaio é de extrema importância pois afeta diretamente na trabalhabilidade do concreto, sendo que a granulometria do agregado miúdo interfere de maneira mais significativa. Diante da importância da granulometria dos agregados sobre as propriedades do concreto a ABNT NBR 7211: 2009 definem limites aceitáveis para o agregado miúdo (Tabela 6).

Tabela 6 – Limites aceitáveis para granulometria do agregado miúdo

Abertura da malha da peneira (mm)	Porcentagens retidas acumuladas			
	Limites Inferiores		Limites superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,60	15	35	55	70
0,30	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

Fonte: adaptado ABNT NBR 7211, 2009

A variedade de grãos que formam a composição dos compósitos devem ser combinados de modo a ocuparem o maior volume possível, de modo que o índice vazios seja sempre reduzido, favorecendo deste modo as propriedades mecânicas dos componentes cimentícios. Assim, obter um esqueleto granular compacto, que forme uma máxima densidade de empacotamento dos grãos, contribui para uma economia de cimento (C. Londero, 2017).

Diante do exposto, C. Londero (2017) afirma que uma curva granulométrica contínua, com grande amplitude de grãos, é considerada bem graduada quando existem frações pequenas em quantidade suficiente para preencher os espaços deixado pelas partículas maiores, diminuindo ao máximo o volume de vazios e contribuindo para o aumento da densidade de empacotamento. O efeito dos finos para com o preenchimento de vazios é denominado de filer, fator que reduz a porosidade do esqueleto granular.

### 2.4.2 Material pulverulento

São frações com dimensões inferiores a 75  $\mu\text{m}$ , sendo quantificado em processo de lavagem com peneiras dessa malha. Este tipo de ensaio é empregado porque a fração fina, principalmente a argila, adere-se às partículas maiores, normalmente não sendo possível separá-la por peneiramento a seco (WEIDMANN, 2008).

A ABNT NBR 7211/2009 delimita o teor máximo de material pulverulento em 3% da massa total de agregado miúdo, caso o concreto seja submetido a desgaste superficial, e 5% para concretos protegidos de desgaste superficial (WEIDMANN, 2008).

Silva et al. (2018) fizeram uma análise das propriedades físico-químicas do agregado miúdo utilizado na região metropolitana de Belém-PA e tais amostras foram coletadas em seis diferentes bairros, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Bairros de coleta do agregado miúdo

<b>Amostras</b>	<b>Bairros</b>
A	São Brás (Belém)
B	Jurunas (Belém)
C	Doca (Belém)
D	Batista Campos (Belém)
E	Cidade Nova 6 (Ananindeua)
F	Centro (Marituba)

Fonte: adaptado de Silva *et al.* (2018)

A Figura 8 traz a representação percentual de material pulverulento no agregado miúdo da região metropolitana de Belém-PA.

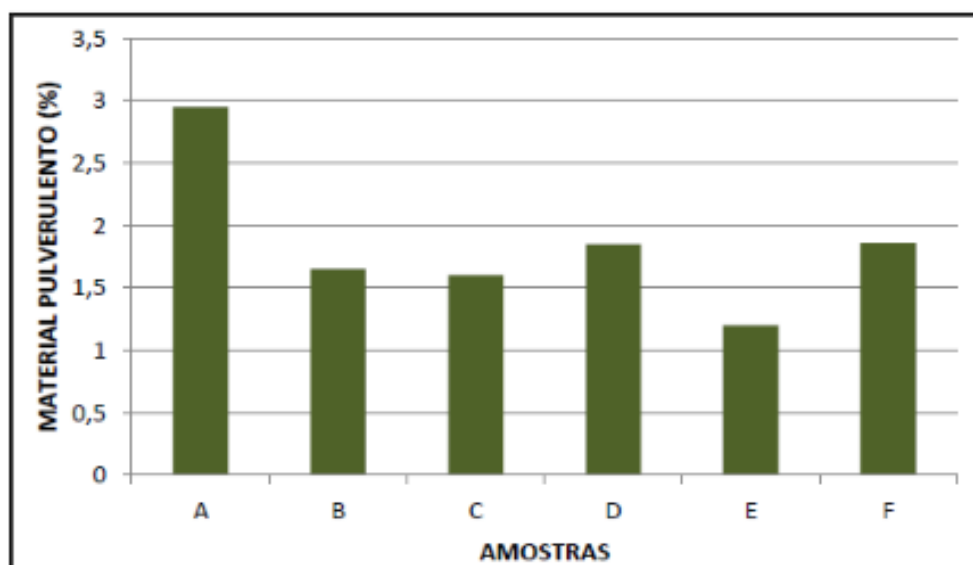


Figura 8 – Percentual de material pulverulento no agregado miúdo da região metropolitana de Belém-PA

Fonte: Silva *et al.* (2018)

Verificou-se na Figura 8 que as amostras atendem as especificações mínimas exigidas para utilização em materiais com matriz cimentícia, porém, foi encontrado impurezas orgânicas e o percentual de material pulverulento é inferior a 3%.

#### 2.4.3 Forma e textura dos grãos

A forma dos agregados, juntamente com a textura superficial dos grãos, influencia as propriedades do concreto. Estas características dos agregados afetam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que no endurecido, pois quanto mais ásperas, angulosas e alongadas sejam as partículas, mais pasta será exigida para produzir misturas de mesma trabalhabilidade, logo, aumentam também o custo do concreto. Este maior volume de pasta é necessário tanto para envolver a maior área específica dos grãos quanto para compensar dificuldades no rolamento dessas partículas (WEIDMANN, 2008). Aïssoun *et al.* (2015) comenta que a trabalhabilidade do concreto é variável com a forma, textura e quantidade de planos alongados de partículas graúda.

A forma dos grãos influencia na acomodação das partículas, umas em relação as outras. Assim, quanto mais esférica é forma dos grãos, menor será o espaço vazios entre as partículas e maior será a densidade de empacotamento (C. Londero, 2017).

Vishalakshi *et al.* (2018) estudou o efeito de cinco tipos de agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto normal e do concreto de alta resistência, observando que

o tipo de agregado não causaram variação de resistência para o concreto normal, sendo que a ruptura ocorreu na zona de transição da pasta com agregado graúdo. Para o concreto de alta resistência, o tipo de agregado mostrou influência significativa, sendo a mistura com granito cinza a que trouxe melhores resultados. Koehler e Fowler (2007) relata que a viscosidade de concreto auto adensável é reduzida com a utilização de agregado graúdo com forma arredondada.

Aïssoun et al. (2015) afirma que a resistência à compressão, além de depender da relação água-cimento, depende também das ligações de interface entre a pasta e o agregado graúdo, e a textura do agregado miúdo interfere diretamente na qualidade da pasta. Aïssoun et al. (2015) obteve como resultado em seu trabalho que a resistência ao esforço de compressão para concreto preparado com areia mais grossa (módulo de finura igual a 3) foi superior ao concreto preparado com a areia mais fina (módulo de finura igual a 2,5).

Por fim, segundo Mehta e Monteiro (2014), partículas alongadas, lamelares ou discóides, principalmente das areias, produzem concretos ásperos e por isso devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15% da massa total dos agregados. Para o mesmo autor, os agregados graúdos cujos grãos tem formatos lamelares, normalmente se acomodam em uma direção preferencial, alinhando-se e podendo criar planos de fraqueza.

#### 2.4.4 Zona de transição pasta e agregado

A interface entre pasta de cimento e agregado é um dos principais fatores associados à resistência e à durabilidade do concreto Jebeli et al. (2018). Essa zona de transição pode ser esquematizada conforme Figura 9.

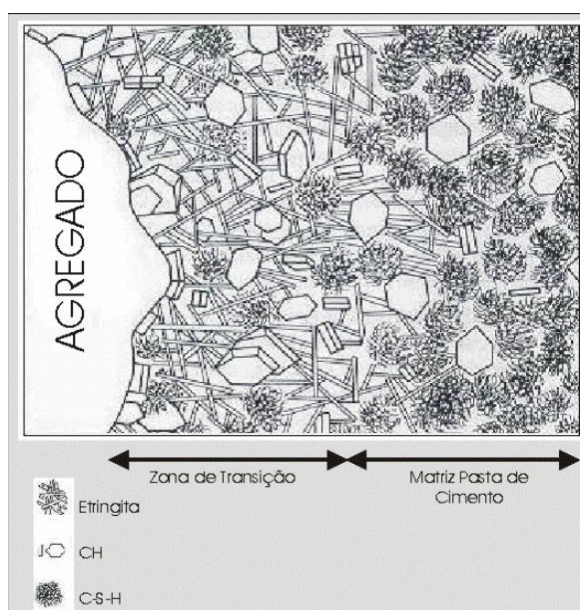


Figura 9 – Representação da zona de transição entre pasta de cimento e agregado  
 Fonte: Metha e Monteiro, 2014

Para Jebeli *et al.* (2018) essa interface é bem definida na literatura, porém, as propriedades mecânicas dessa zona ainda necessita de uma mais exploração. K. Scrivener (1999) e Liu *et al.* (2018) relatam que a zona de transição entre pasta e agregado é altamente porosa, interferido, portanto, diretamente na resistência mecânica do concreto.

Com o avanço das reações de hidratação do cimento grandes cristais de etringita e hidróxido de cálcio se formam, tornando a zona de transição altamente porosa, apresentando nessa região microfissuras e a estrutura se mostra pouco densa (Li, 2011).

Segundo Metha e Monteiro (2014), quando o concreto é carregado nas primeiras idades, as microfissuras tendem a se propagar na zona de transição que é bastante porosa. Com o passar do tempo, a zona é preenchida com produtos hidratados e a fissura passa a se propagar pelo filme de hidróxido de cálcio depositado sobre o agregado. Jebeli *et al.* (2018) compararam um compósito (confeccionado com relação água-cimento de 0,5 e agregado proveniente do calcário) com uma pasta de cimento submetida a esforços mecânicos. Os autores concluíram que a resistência à tração da interface pasta e cimento foi 30% menor que a pasta de cimento, visto que as ZT são mais porosas, apesar da espessura da camada de transição ser fina, assim as propriedades intrínsecas do agregado (forma, textura, rugosidade, etc) afetam as propriedades da zona de transição agregado-pasta.

Quanto maior for a proporção de agregado com forma chatas e alongadas, maior será a tendência de água acumular em forma de filmes nas proximidades das partículas, tornando mais fraca a pasta de cimento nessa região (PAULON e KIRCHHEIN, 2011).

Sabendo-se que a zona de transição é um ponto vulnerável para concreto, Liu et al. (2018) procuraram fortalecer essas zonas reduzindo a permeabilidade usando nano-sílica, a fim de explorar as características de melhoria para concreto confeccionado com uma relação água-cimento (a/c) variando de 0,3 a 0,5. Como resultado, obtiveram que o papel da nano-sílica é fundamental para relações a/c baixa e esse material preenche os vazios da interface, fator que melhora as propriedades mecânica do compósito.

## 2.5 FINOS NO CONCRETO E SUAS IMPLICAÇÕES

A produção de concreto exige uma grande quantidade de agregado que é geralmente areia natural explorada a partir do canal do rio. No entanto, com a crescente demanda de agregados devido ao desenvolvimento de obras de infraestrutura em expansão, a mineração fluvial levou a sérios impactos ambientais, incluindo o surgimento de poeira, erosão do rio, deslocamento do curso do rio, etc. (MACFARLANE E MITCHELL, 2003). Desta maneira, o uso de materiais alternativos que visa substituir a areia do rio torna-se de vital importância para a fabricação de concreto de maneira ecologicamente correta.

Diante o exposto, Luo *et al.* (2013) estudaram as propriedades do concreto adicionando areia muito fina do deserto Australiano. Os autores preparam corpos de prova (CPs) de concreto com areia de duna e confeccionaram também CPs de referência com areia extraída de rio, adotando uma relação água-cimento constante igual a 0,5, e a relação areia-cimento (S/C) com variação de 0,91 a 2,28 tanto para concreto com areia fina quanto para concreto com areia de rio.

A areia de duna apresenta grãos com dimensões inferiores a 175  $\mu\text{m}$ , esse agregado modifica as propriedades do concreto a depender da relação areia-cimento. Os autores concluíram que para relação S/C inferior a 1,41, as partículas da areia do deserto preenchem os vazios do concreto, sem causar efeitos negativos para a trabalhabilidade do concreto. Para relações S/C superiores a 1,41, os concretos moldados com areia fina apresentaram uma resistência à compressão inferior aos concretos confeccionados com areia do rio. Tal fator ocorre em virtude da superfície específica da areia fina ser superior ao da areia de rio, assim, a



primeira adsorve um maior quantitativo de água quando comparado com a segunda, fator esse, que reduz a trabalhabilidade do concreto. Desta forma, durante a moldagem dos corpos de prova, para misturas com menor trabalhabilidade, introduz-se um maior quantitativo de bolhas de ar ao compactar o concreto, o que leva a uma queda de resistência à compressão.

Evangelhista e de Brito (2007) avaliaram a substituição parcial do agregado miúdo natural (FNA) por finos de concreto reciclado (FRA) para confecção de concreto estrutural, os quais constataram que misturas contendo FRA necessitava de um maior quantitativo de água para oferecer uma trabalhabilidade medida via slump teste de  $80 \pm 10$  mm, visto que os FRAs são mais porosos que os FNAs. Desse modo, com intuito de melhorar as propriedades do concreto, os autores propuseram como método que, inicialmente, os agregados finos fossem imersos em um quantitativo de  $2/3$  da água necessária para mistura acrescido com o quantitativo de água necessário para saturar os poros do agregado fino. A Tabela 8 mostra o quantitativo de material utilizado pelos autores.

Tabela 8 – Composição do concreto com FNA e FRA

	RC	C10R	C20R	C30R	C50R	C100R
% de substituição	0	10	20	30	50	100
Cimento CEM I 42.5 R (kg/m <sup>3</sup> )	380	380	380	380	380	380
Água (kg/m <sup>3</sup> )	155,8	160,6	165,4	170,2	175,6	180,9
água/cimento	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,48
FNA (kg/m <sup>3</sup> )	668	598	529	460	327	0
FRA (kg/m <sup>3</sup> )	0	52	103	154	254	509
Agregado graúdo tipo I (kg/m <sup>3</sup> )	409	407	404	402	400	400
Agregado graúdo tipo II (kg/m <sup>3</sup> )	382	380	378	376	374	374
Agregado graúdo tipo III (kg/m <sup>3</sup> )	397	395	393	390	388	388
Aditivo (kg/m <sup>3</sup> )	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

Fonte: adaptado de Evangelhista e de Brito (2007)

Poon et al. (2004) afirma que o grau de saturação dos agregados reciclados quando incorporado na mistura do concreto pode afetar as forças mecânicas de ligação com a pasta de cimento, tornado-a mais fraca.

Evangelhista e de Brito (2010) analisaram também o desempenho de durabilidade para concretos contendo FRA nas proporções de 30% e 100% de substituição do FNA. Como

conclusão, concreto com 100% de FNA apresentaram maior absorção de água por imersão, visto que esses agregados são de maior porosidade. Além disso, constatou-se que a absorção por capilaridade aumentou em 70% (considerando 100% de substituição de FNA por FRA) quando comparado com concreto de referência, visto que os finos criam um número maior de capilares, o coeficiente de migração de cloro não estacionário aumenta linearmente com a taxa de substituição de FNA e a resistência a carbonatação é reduzida com o aumento de finos, porém, para substituições inferiores a 30%, a durabilidade não é comprometida para concreto com fins estruturais.

Um outro material fino utilizado, na Tailândia, como agregado miúdo para confecção de concreto é a melanina formaldeído (MF), ilustrado na Figura 10, como propõe o estudo de Chalermchai Chaitongrat e Somsak Siwadamrongpong (2018).

a)



b)



Figura 10 – a) Reciclado de malamina formaldeído b) Malamina formaldeído triturado  
Fonte: Chalermchai Chaitongrat e Somsak Siwadamrongpong (2018)

Chalermchai Chaitongrat e Somsak Siwadamrongpong (2018), substituiu, em massa, o agregado miúdo natural, com módulo de finura de 2,52, por MF nas proporções de 15%, 25% e 30%, obedecendo o traço de 1:1:0,5 (cimento: agregado fino: água), conforme proposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Proporção de materiais utilizados para confecção de concreto leve

	MF0	MF15	MF25	MF35
% de substituição	0	15	25	35
Proporção de cimento	1	1	1	1
Proporção de areia	1	0,85	0,75	0,65
Proporção de MF	0	0,15	0,25	0,35
Proporção de água	0,5	0,5	0,5	0,5

Fonte: Chalermchai Chaitongrat e Somsak Siwadamrongpong (2018)

Bisht e Ramana (2018), com objetivo de oferecer uma nova forma de destino aos resíduos causados por descarte de vidro, propuseram substituir o agregado miúdo por finos de vidro, para avaliação das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, constatando que houve uma melhoria na microestrutura do concreto com substituição de até 21%. Porém, a absorção e permeabilidade do concreto foram afetadas negativamente. Esses autores observaram também que a trabalhabilidade do concreto, com a adição de finos de vidro, foi comprometida, uma vez que esse resíduo apresenta uma forma angular (Figura 11), fator que reduz a fluidez da mistura. Assim, para manter uma relação água/cimento fixa, esses adicionaram superplastificantes.

a)



b)

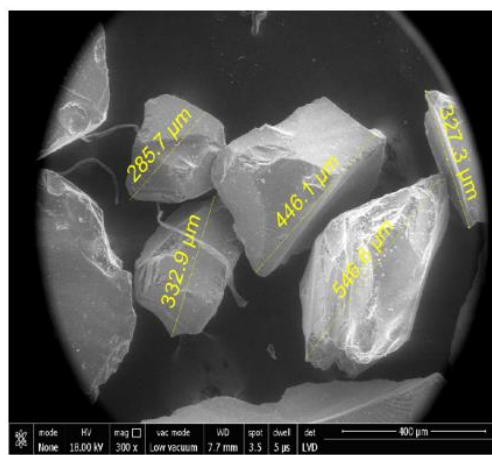


Figura 11 – a) Resíduo de vidro e b) Forma das partículas do resíduo de vidro  
Fonte: Bisht & Ramana (2018)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo experimental visa avaliar o comportamento do concreto estrutural de 30 Mpa, com a substituição parcial, em volume, do agregado miúdo natural por rejeito de manganês, nas proporções de 15%, 20%, 25% e 30%. Os percentuais adotados foram baseados no trabalho de Viveiros (2017), que confeccionou amostras com até 30% de rejeito de manganês, utilizando, para isso, superplastificantes.

Entretanto, no estudo proposto não será utilizado aditivo, com o intuito de quantificar a necessidade de acréscimo de água no corpos de prova com rejeito como consequência no decréscimo nas propriedades mecânicas do concreto. Para a confecção dos corpos de prova, primeiramente será feita uma homogeneização do agregado miúdo natural com o rejeito de manganês nas proporções definidas. Após isso, o agregado homogeneizado será incorporado aos demais insumos do concreto.

Ressalta-se que o rejeito de manganês foi utilizado no estado natural, não sendo feito nenhum tratamento no mesmo para incorporá-lo nas misturas de concreto

Para auxiliar tal estudo foi necessário inicialmente caracterizar todos os materiais componentes da mistura (cimento, agregado miúdo, seixo e o rejeito de manganês) a fim de promover a dosagem experimental, para em seguida realizar os ensaios mecânicos (resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral), de durabilidade (absorção de água por imersão) e análise da microestrutura (Microscopia Eletrônica de Varredura).

#### 3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas etapas, conforme fluxograma da Figura 12.

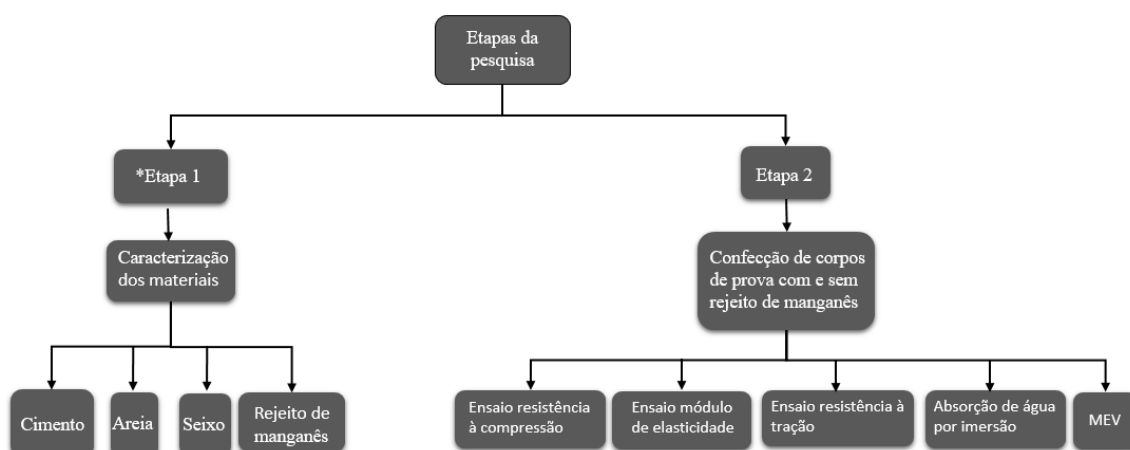


Figura 12 – Fluxograma do planejamento da pesquisa

Na primeira etapa realizou-se a caracterização dos insumos que irão compor o concreto. Os ensaios foram: caracterização física (cimento, areia, seixo e rejeito de manganês), caracterização química (rejeito de manganês), caracterização mineralógica (rejeito de manganês), microscópica por Microscopia eletrônica de varredura (rejeito de manganês) e de reatividade (reação álcali-agregado para mistura contendo 70% de agregado miúdo natural e 30% de RMN), como detalha a Figura 13.

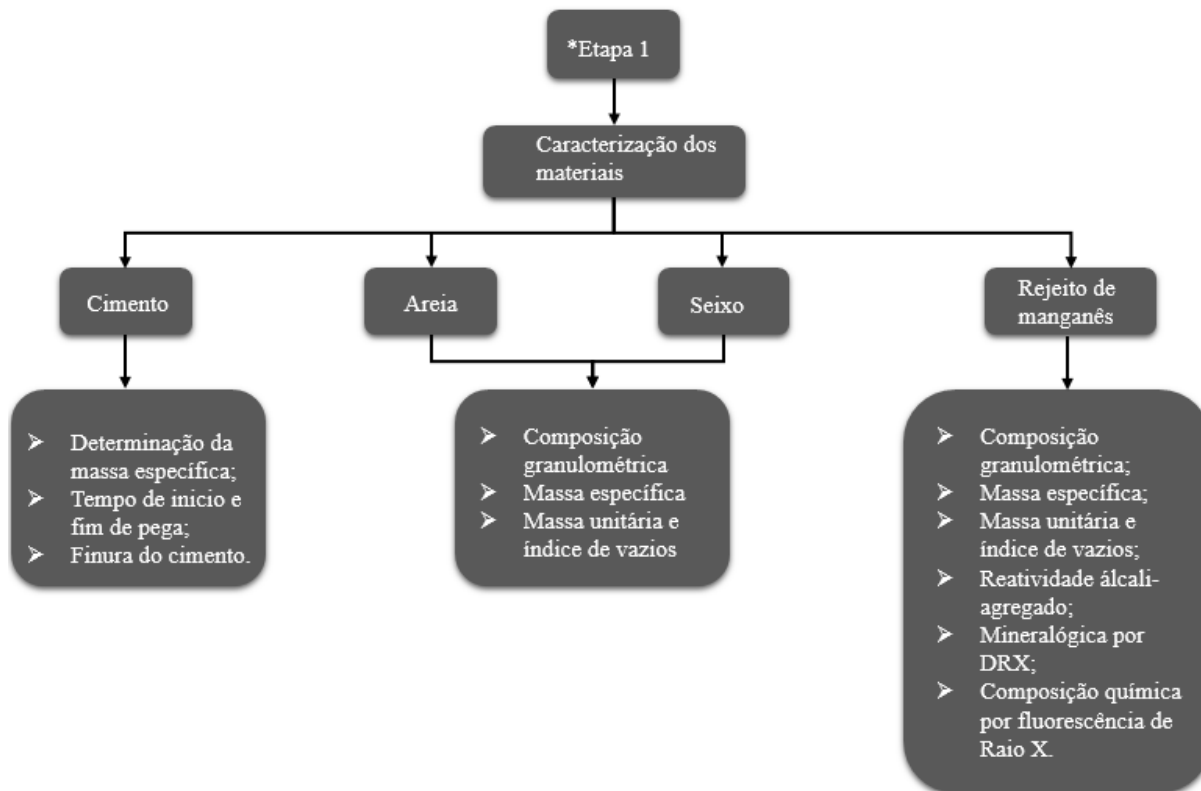


Figura 13 – Fluxograma de caracterização dos materiais

Para a segunda etapa, confeccionou-se o concreto de referência e o concreto com substituição parcial em volume do agregado miúdo por rejeito de manganês nas proporções de 15%, 20%, 25% e 30%. Cabe destacar que não foi utilizado aditivos plastificantes e fixou-se o abatimento para um valor de  $70\pm 10$  mm (considerando um concreto não bombeável), variando desta forma a relação água/cimento (a/c), fator que interfere diretamente no decréscimo de resistência mecânica. Ressalta-se que a escolha por não utilizar aditivos plastificantes é para avaliar o acréscimo de água para atender a trabalhabilidade de  $70\pm 10$  mm e como consequência analisar os resultados mecânicos e de durabilidade para os corpos de prova moldados com e sem rejeito de manganês.

Após a confecção dos corpos de prova, procurou-se realizar uma análise microscópica do concreto de referência e do concreto com rejeito de manganês para avaliar a microestrutura das misturas.

### 3.2 ORIGEM DO REJEITO ESTUDADO

A mineração Buritirama S.A. foi construída em 1982 com objetivo de lavar e comercializar as reservas de minério de manganês localizadas na Serra de Buritirama. A barragem do Banderia, responsável pelo depósito de rejeito de manganês, fica localizada na província mineral da serra do Carajás, município de Marabá, cujas coordenadas são  $5^{\circ}30'39,41''$  S de latitude e  $50^{\circ}14'28,32''$  O de longitude (Figura 14a). Cabe salientar que as minas estão situadas na bacia do rio Itacaiúnas, e a distância da barragem até a cidade de Marabá é de aproximadamente 144 Km, sendo que o acesso viário é feito pela estrada do Rio Preto, a partir do entroncamento do Km 9, da Rodovia Transamazônica.

Segundo a base de dados referente ao ano de 2016 do cadastro nacional de barragens, verifica-se que o volume absoluto da barragem de Buritirama é de  $2.915.250$  m<sup>3</sup> com altura de vinte e dois metros.

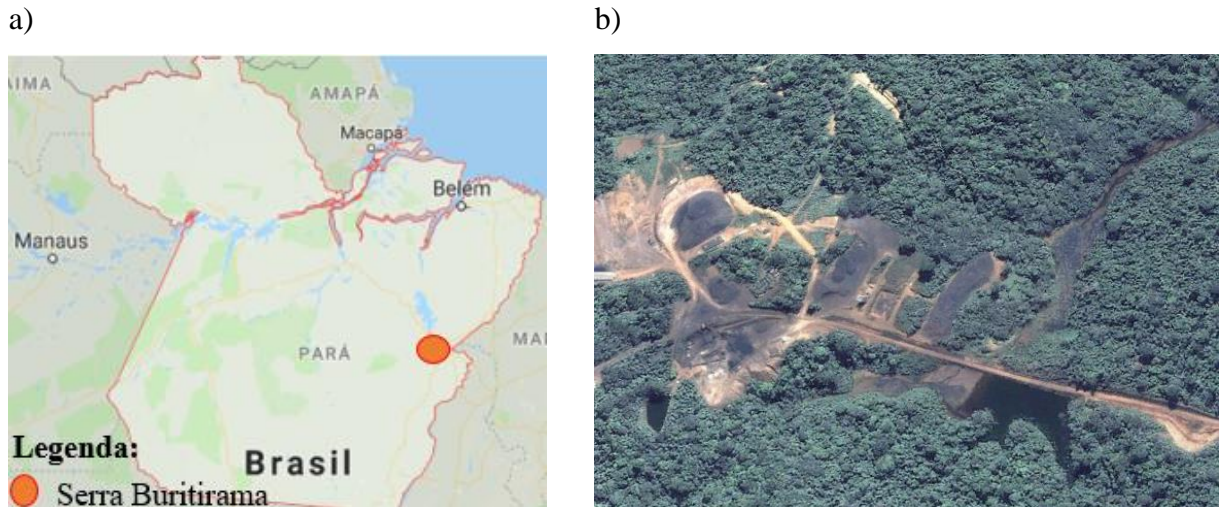


Figura 14 – a) Localização da barragem de RMN b) local da coleta de RMN  
Fonte: google maps, adaptado (2018)

A empresa Buritirama S.A. está presente em cinco estado brasileiro (Figura 15), apresentando uma gestão certificada pela ISO 9001 e possui também certificados ambientais pela Certificação Florestal (Cerflor) e *Forest Stewardship Council* (FSC). (BURITIRAMA, 2017).

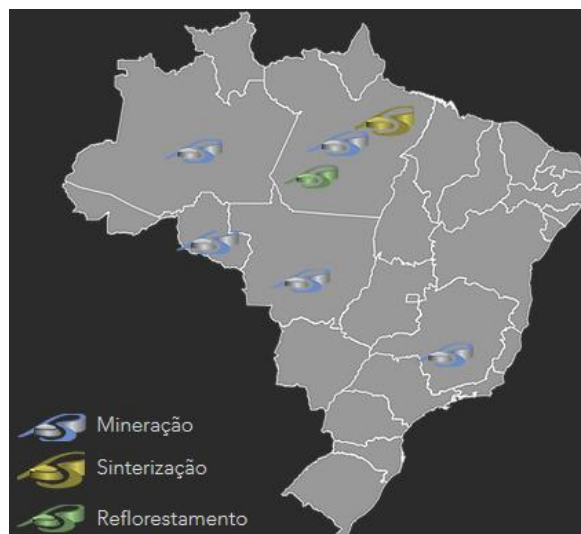


Figura 15 – Atuação da empresa Buritirama S.A  
Fonte: [www.buritirama.com](http://www.buritirama.com)

Cabe ressaltar que a lavra do minério é realizada a céu aberto em bancadas verticais, com auxílio de retro-escavadeira e pás-carregadeiras (Mineração BURITIRAMA, 2017).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2016), a mineração Buritirama é responsável por 14,08% da produção de manganês no país, ficando atrás da Vale Mina Azul S.A (53,75%) e Mineração Comburiense Reunida S.A (28,75%).

### 3.3 ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.3.1 Caracterização do cimento

Para essa pesquisa utilizou-se o cimento Portland Pozolânico CP IV-32, o mesmo utilizado por Viveiros (2017). A massa específica do aglomerante foi de  $3,12 \text{ g/cm}^3$ , conforme NBR 16605 (ABNT, 2017). Além disso outras características determinadas, conforme Tabela 10, as quais atendem os requisitos da NBR 5736 (ABNT, 1986).

Tabela 10 – Caracterização do cimento Portland CP-IV 32

Ensaio	Resultado	Norma técnica utilizada	Requisito
Finura (%)	4	NBR 11579 (ABNT, 2013)	$\leq 8\%$
Tempo de início de pega (h)	2h:15min	NBR NM 65 (ABNT, 2003)	$\geq 1\text{h}:00\text{min}$
Tempo de fim de pega (h)	3h:35min		$\leq 12\text{h}:00\text{min}$

#### 3.3.2 Caracterização do agregado miúdo

Para efeito dessa pesquisa foram utilizadas como agregado miúdo, para confecção de concreto, a areia de origem quartzosa, proveniente de leitos de rios da região metropolitana de Belém e o rejeito de manganês proveniente da Serra de Burtirama, município de Marabá/PA.

Os agregados utilizados nesse estudo passaram por um processo de secagem prévio em estufa para que a sua umidade não interferissem na relação água cimento do concreto.

##### 3.3.2.1 Caracterização física

A caracterização física do agregado miúdo foi feita por meio da composição granulométrica em conformidade com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo que as amostras foram secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , peneiradas nas peneiras de série normal e a porcentagem retida foi anotada em planilha para a confecção da curva granulométrica. Foi feito esse ensaio para a areia natural e para o rejeito de manganês.

Com a composição granulométrica foi possível determinar o módulo de finura, que representante a soma dos percentuais retidos acumulados, em massa, nas peneiras de série normal, dividida por 100 (NBR NM 248, 2003).

Segundo a NBR 7211 (2009) o agregado miúdo para ser utilizado em concreto deve atender os limites inferiores e superiores, referente as zonas ótima e utilizável. Caso a



composição granulométrica para o agregado esteja fora desses limites, deve-se comprovar a aplicabilidade desse material mediante estudo de dosagem.

Além da composição granulométrica, foi determinado ainda a massa unitária e o índice de vazios à luz da ABNT NBR NM 45 (2006) e a massa específica, conforme ABNT NBR NM 52 (2009).

### 3.3.2.2 *Caracterização química do rejeito de manganês*

Para a análise química do rejeito de manganês foi realizado o ensaio de Fluorescência de Raio X pelo Instituto de Geociência da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRSG).

Para realização do ensaio foi utilizado o equipamento Espectrômetro de Fluorescência de Raios X RIX 2000 da Rigaku. O quantitativo de óxidos foi determinado por meio da técnica em amostra fundida com curva de calibração, a partir de padrões de rocha e padrões artificiais para o elemento majoritariamente encontrado, que no caso é o manganês (Mn). O espectro de fluorescência de raios X (FRX) está equipado com tubo de raio-X de ródio (Rh).

### 3.3.2.3 *Análise da microestrutura do rejeito de manganês com auxílio do MEV e do Espectro de raio X (EDS)*

Com o objetivo de avaliar os aspectos da superfície do rejeito de manganês, foi feito o ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e o de Espectro de Raios X (EDS) a fim de verificar os elementos químicos presentes na amostra. Esses ensaios foram realizados no laboratório de materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA). Enquanto o MEV tem como objetivo gerar imagem com alta precisão da superfície do agregado, o EDS permite identificar os elementos químicos (Mn, Si *etc*) presentes na superfície da amostra do material em análise.

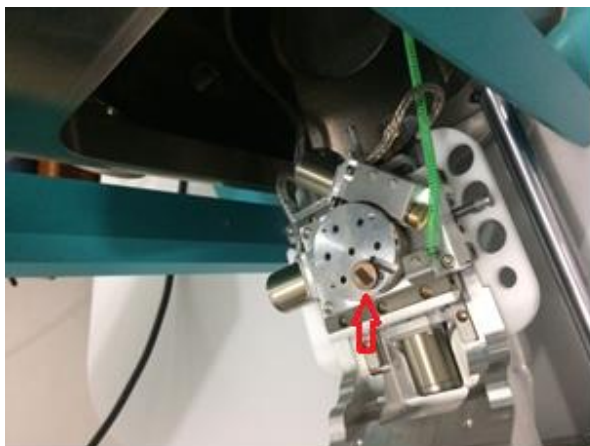
Antes de iniciar o ensaio de MEV e EDS, a amostra de rejeito foi metalizada por um período total de 180 segundos com o uso do aparelho da marca Quorum, modelo Q150R ES (Figura 16), com objetivo recobrir a amostra com íons metálicos de ouro.



Figura 16 – Metalizador de amostras Q150 ES

Após a metalização das amostras, essas foram acopladas no porta amostras (Figura 17a) para o início do ensaio de MEV e EDS nos equipamento ilustrado na Figura 17b. O Microscópio Eletrônico de Varredura utilizado foi o de marca TESCAN, modelo VEJA 3. Foi acoplado a esse microscópio, o aparelho para a análise de EDS, cujo modelo é AZTec Energy X-Act, resolução 129 eV, marca Oxford.

a)



b)



Figura 17 – a) Amostra do rejeito de manganês b) Equipamento que realiza o ensaio de MEV e de EDS

#### 3.3.2.4 Caracterização mineralógica do rejeito de manganês

A mineralogia do RMN foi obtida por meio da Difração de Raios X (DRX), pelo método do pó, realizado no Laboratório de Física da UFPA.

As análises foram realizadas no difratômetro D8 Advance da marca Bruker, com geometria Bragg-Brentano, detector LynxEye e tubo de Cu (Figura 18). Os parâmetros de ensaio foram: Radiação Cu ( $K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$ ), com faixa angular ( $2\theta$ ) = 5-75°, voltagem do

tubo = 40 kV, corrente do tubo = 40 mA, fenda divergente = 0,6 mm, fenda Soller = 2,5° e Filtro  $K\beta$  de Ni. A coleta dos difratogramas foi realizada com passo angular de 0,02° e o tempo por passo 0,3 s. O Tempo total de coleta foi igual a 1071,6 s (00 h:17 min:51 s).



Figura 18 – Difratorômetro D8 Advance

Fonte: <https://www.bruker.com/pt/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-diffraction/d8-advance/overview.html>

#### 3.3.2.5 Reação álcali-agregado

Para caracterização quanto à reatividade foi realizado o ensaio de reação álcali-agregado (RAA) seguindo orientações da NBR 15577-4 (ABNT, 2018).

A reação álcali-agregado é um de tipo reação química, que ocorre de forma lenta, entre alguns minerais presentes no agregado e os hidróxidos alcalinos presente no cimento em estruturas de concreto no estado endurecido. Tal reação geralmente causa expansão dessa estrutura de concreto, em virtude da formação de um gel sílico-alcalino, ocasionando a formação de fissuras.

Para realização do ensaio, conforme a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), é necessário moldar 03 (três) prismas de argamassa com o agregado que se deseja ensaiar. Como o objetivo dessa pesquisa é avaliar o RMN em substituição do agregado miúdo natural, optou-se por adotar como agregado a ser estudado o quantitativo de 30% em massa de rejeito de manganês e 70% de agregado natural. O quantitativo de agregado utilizado para confecção dos prismas estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Massa de agregado para confecção do ensaio RAA.

Abertura da peneira (mm)	Massa total do agregado – MT	Massa de areia- 0,7*MT (g)	Massa de Rejeito de MN -
--------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------

		(g)		0,3*MT (g)
Passante	Retido	-	-	-
4,75	2,36	99,0	69,3	29,7
2,36	1,18	247,5	173,3	74,2
1,18	0,6	247,5	173,3	74,2
0,6	0,3	247,5	173,3	74,2
0,3	0,15	148,5	104,0	44,5
Total		990,0	693,2	296,8

Na sequência, preparou-se 440 g de cimento CP-V-ARI e 206,8 g de água de água destilada, conforme estabelece a dosagem, definida em norma. Os procedimentos de execução do ensaio seguiram as orientações da respectiva norma técnica, porém, após misturar os componentes (água, cimento e agregado), observou-se que a argamassa não apresentava consistência para moldar os corpos de prova prismáticos, sendo necessário adicionar 60 g de água para obter tal consistência. Assim, a relação água/cimento de 0,47 previsto em norma, passou a ser de 0,61. Tal fator deve-se ao rejeito de manganês adicionado a mistura, que conforme Viveiros (2017) tal material apresenta uma área superficial de 15,1 m<sup>2</sup>/g, enquanto o cimento CP-V-ARI apresenta um valor de 9,2 m<sup>2</sup>/g.

Após moldar os corpos de prova, os mesmos foram dirigidos a câmara úmida, local em que permaneceram por 24 horas, sendo na sequência desmoldados e imersos em uma solução de hidróxido de sódio por 28 dias.

### 3.3.3 Caracterização do agregado graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo para esse estudo o seixo rolado de origem silicosa, da região metropolitana de Belém. Esse seixo foi lavado, peneirado na peneira com malha de 2 mm, posto ao sol para secar e, por fim, foi estocado em toneis. Foi necessário peneirar e lavar o agregado graúdo, pois esse apresentava-se com percentuais de material fino e com solo na cor vermelha.

Foi determinado a massa unitária, conforme ABNT NBR NM 45 (2006), a massa específica ABNT NBR NM 53 (2009) e a composição granulométrica desse agregado conforme ABNT NBR NM 248 (2003).

### 3.3.4 Água

Segundo Teixeira et al. (2016) a água potável da Universidade Federal do Pará apresenta valor médio de pH de 7,5 a uma temperatura média de 27,8 °C. Tal dado corresponde a amostras coletadas próximo ao laboratório de Engenharia civil.

### 3.4 ETAPA 2: PRODUÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR RMN, PARA UM ABATIMENTO DE 70±10 MM.

#### 3.4.1 Nomenclatura

Para o melhor entendimento desta etapa, adotou-se as nomenclaturas, para as amostras utilizadas neste trabalho, conforme ilustração da Tabela 12.

Tabela 12 – Nomenclatura para as amostras.

<b>Amostra</b>	<b>Nomenclatura</b>
CREF	Concreto de referência.
C15RMN	Concreto com substituição em volume de agregado miúdo natural por 15% de rejeito de manganês.
C20RMN	Concreto com substituição em volume de agregado miúdo natural por 20% de rejeito de manganês.
C25RMN	Concreto com substituição em volume de agregado miúdo natural por 25% de rejeito de manganês.
C30RMN	Concreto com substituição em volume de agregado miúdo natural por 30% de rejeito de manganês.

Destaca-se que a substituição do agregado miúdo natural por rejeito de manganês (RMN) foi dada por compensação de volume, visto que os materiais apresentam massa específica diferente e o rejeito de manganês é mais pesado que a areia natural. Caso a substituição do agregado natural por RMN se desse por massa, a dosagem com a incorporação parcial do rejeito apresentaria um volume inferior ao volume real de agregado miúdo que foi definido para o concreto de referência.

#### 3.4.2 Quantidade de corpos de prova e ensaios

Com objetivo de avaliar o comportamento do concreto confeccionado com a substituição parcial em volume do agregado miúdo por RMN, confeccionou-se a quantidade de corpos de prova, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Quantidade de corpos de prova de concreto.

Amostra	Quantidade				MEV
	Ensaio de Compressão axial – NBR 7215 (ABNT, 1997)	Ensaio de Compressão diametral – NBR 7222 (ABNT, 2011)	Módulo de elasticidade – NBR 8522 (ABNT, 2017)	Ensaio Absorção por imersão – NBR 9778 (ABNT, 2009)	
CREF	6	6	3	3	1
C15RMN	6	6	3	3	1
C20RMN	6	6	3	3	1
C25RMN	6	6	3	3	1
C30RMN	6	6	3	3	1
TOTAL	30	30	15	15	6

### 3.4.3 Produção dos concretos e corpos de prova

A dosagem para o concreto de referência utilizada neste trabalho foi baseada no método IPT/EPUSP, uma vez que foi considerado um teor de argamassa de 51% e uma relação a/c de 0,63. A dosagem visou um traço de referência de 1:4,53 (cimento: agregado), considerando uma resistência característica ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa, o que resultou em um traço de 1:1,82:2,71 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo).

Após a definição do traço de referência, realizou-se o cálculo de materiais, cujo quantitativos por metro cúbico encontram-se na Tabela 14. Após o cálculo de materiais, confeccionou-se o concreto de referência e os concretos com substituição parcial de areia por rejeito de manganês, sem uso do aditivo plastificante.

Tabela 14 – Consumo de materiais por m<sup>3</sup>

Amostra	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Seixo (kg/m <sup>3</sup> )	RMN (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )
CREF	373	678	1010	-	235
C15RMN	373	577	1010	45	257
C20RMN	373	543	1010	59	276
C25RMN	373	509	1010	74	313
C30RMN	373	475	1010	89	332

Observa-se na Tabela 14 que a substituição de 30% de areia natural por RMN exigiu um acréscimo de 2,9 kg de água para manter uma trabalhabilidade aceitável de 70±10 mm, a qual foi determinada pelo abatimento de tronco cônico conforme orientação da NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Antes de iniciar o processo de mistura dos insumos na betoneira foi retirado o teor de úmida da areia e do rejeito de manganês, a fim de contabilizar o acréscimo de água na relação água/cimento.

O concreto foi confeccionado no laboratório de materiais da Universidade Federal do Pará utilizando uma betoneira com capacidade de 150 L. O tempo de mistura adotado foi de aproximadamente 5 minutos e os materiais foram misturados na seguinte ordem: agregado graúdo, cimento, 50% de água do traço inicial, agregado miúdo e o restante final de água. Após a mistura, realizou-se o ensaio de abatimento por tronco cônico, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Caso o abatimento fosse inferior a  $70 \pm 10$  mm, o concreto retornou para betoneira e adicionou água até atingir a consistência desejada.

Atingida a consistência, anotou-se o consumo de água e iniciou a confecção dos corpos de prova, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para concreto produzido com substituição de areia por rejeito de manganês (C15RMN, C20RMN, C25RMN e C30RMN), procurou-se inicialmente homogeneizar, em um recipiente plástico, a areia com o rejeito de manganês (Figura 19), para que a fração de agregado miúdo (areia + RMN) pudesse proporcionar uma melhor mistura com a cimento e demais componentes da mistura.



Figura 19 – Homogeneização da areia com rejeito de manganês

O processo de homogeneização acima foi adotado, uma vez que o rejeito adicionado diretamente na betoneira dificultou a homogeneização do concreto (Figura 20).



Figura 20 – Aspecto do concreto que não houve homogeneização do agregado miúdo natural com RMN.

Após a moldagem e cura dos corpos de prova de concreto, foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 28 e 91 dias, conforme NBR 7215 (ABNT,1997); resistência à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias, conforme NBR 7222 (ABNT , 2011); determinação do módulo de elasticidade na idade de 28 dias, conforme NBR 8522 (ABNT, 2017) e determinação da absorção de água por imersão e índice de vazios, conforme NBR 9778 (ABNT, 2009), na idade de 28 dias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ETAPA 1: RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONFECÇÃO DE CONCRETO

#### 4.1.1 Caracterização do agregado miúdo

##### 4.1.1.1 Caracterização física

A Tabela 15 apresenta os resultados de caracterização física para os agregados miúdos utilizados e a Figura 21 ilustra a curva de composição granulométrica para areia natural e o rejeito de manganês.

Tabela 15 – Dados físicos do agregado miúdo utilizados na pesquisa

<b>Agregado miúdo</b>	<b>Massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Índice de vazios (%)</b>	<b>Módulo de finura (%)</b>
Areia	1,47	2,78	47,20	2,63



Agregado miúdo	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Índice de vazios (%)	Módulo de finura (%)
RMN	1,35	3,27	58,70	1,97

Observa-se que o rejeito de manganês é mais denso e mais fino que o agregado miúdo natural; a finura do rejeito é um fator que interfere diretamente na consistência dos materiais cimentícios, porém, esse não é um fator limitante para o uso em concreto, a exemplo de Aisson *et al.* (2015) que mostrou que uma areia com módulo de finura baixo apresentou melhor resultado quanto a trabalhabilidade que uma areia com módulo de finura igual a superipr, uma vez que a distribuição granulométrica é mais uniforme para a areia mais fina.

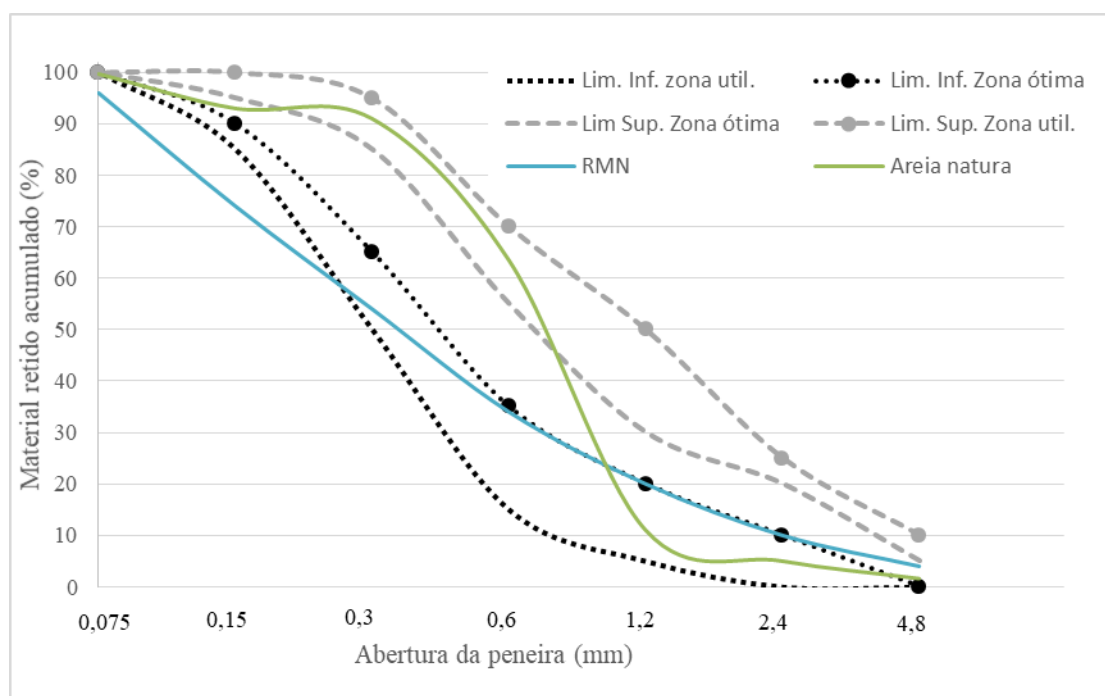


Figura 21 – Curva granulométrica dos agregado miúdos e limites das zonas ótimas e utilizáveis segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009)

Verifica-se também que parte da curva granulométrica desse rejeito encontra-se fora dos limites inferiores e superiores, considerados ótimos e utilizáveis perante a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Já para a curva granulométrica da areia natural, observa-se na Figura 21, que essa se encontra dentro dos limites aceitáveis por norma técnica.

Segundo a ABNT NBR 7211 (2009), o agregado natural pode ser utilizado para confecção de concreto, visto que a curva granulométrica se encontra dentro dos limites estabelecidos por norma. Já para a granulometria do RMN observa-se que apenas o

quantitativo acumulado situado entre as peneiras de 0,3mm e 4,8 mm de abertura situam-se nas faixas dos limites inferiores estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (2009).

#### 4.1.1.2 Caracterização química do rejeito de manganês

A Tabela 16 fornece os resultados dos óxidos presentes na amostra de rejeito de manganês, sendo que esses foram obtidos por meio de análise de fluorescência por Raios-X.

Tabela 16 – caracterização química do rejeito de manganês

<b>Óxidos</b>	<b>% Massa de óxido</b>
SiO <sub>2</sub>	22,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,03
TiO <sub>2</sub>	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,48
MnO	40,70
MgO	0,43
CaO	0,25
Na <sub>2</sub> O	*Nd
K <sub>2</sub> O	1,86
P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,12
Perda ao fogo	13,82
<b>TOTAL</b>	<b>99,36</b>

\* Não detectado na rotina do ensaio;

Sabe-se que os materiais pozolânicos são silicosos ou silicoalumisosos, que por si só, possuem poucas ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes (ABNT NBR 12653, 2015).

Um dos requisitos para um determinado material ser considerado pozolânico, são as conformidades do mesmo diante dos requisitos estabelecidos na Tabela 17.

Tabela 17 – Exigência química para material pozolânico

Propriedades	Classe de materiais pozolânico		
	N	C	E
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% min)	70	70	50
SO <sub>3</sub> (% max)	4,0	5,0	5,0

Propriedades	Classe de materiais pozolânico		
	N	C	E
Teor de umidade (% max)	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo (% max)	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O (% max)	1,5	1,5	1,5

Fonte: Adaptado ABNT NBR 12653 (2015)

Observa-se na Tabela 17 que a ABNT NBR 12653 (2015) exige que material pozolânico das classes N e C apresentem no mínimo 70% da quantidade de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, enquanto materiais da classe E o mínimo de 50%. Assim, assume-se que, adicionando ao cimento um material pozolânico, cujos óxidos SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> estão presentes em estado amorfo ou com sua estrutura cristalina fraca, em presença de água e à temperatura ambiente, estes óxidos reagem com o hidróxido de cálcio (produzido pela hidratação dos silicatos do cimento Portland) formando compostos que possuem propriedades aglomerantes (NETTO, 2006).

Verifica-se que o critério do somatório de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e o critério de perda ao fogo, ao analisar a Tabela 17, não foram atendidos, fator que caracteriza a não pozolanicidade do rejeito. Tal situação também foi observada também por Viveiros (2017), quando a autora verificou por meio do ensaio de índice de atividade pozolânica com cal que as amostras com rejeito de manganês não atingiram resistência igual ou superior a 6 MPa definido pela NBR 5751 (ABNT, 2015).

#### *4.1.1.3 Análise da microestrutura com auxílio do MEV e do espectro de raios X (EDS) do rejeito de manganês*

A textura do rejeito de manganês e os principais elementos químicos presentes na amostra são apresentados na Figura 22 a e b, respectivamente.

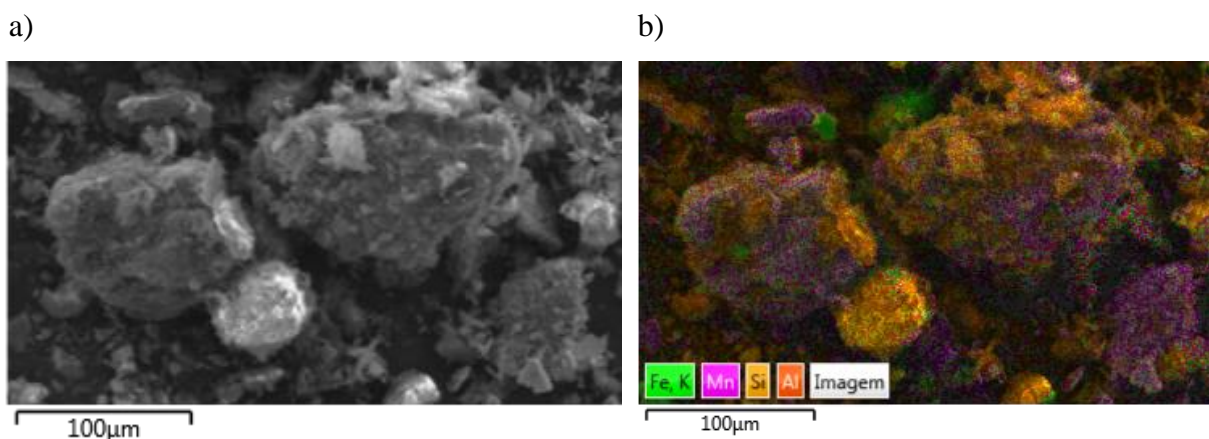


Figura 22 – a) Micrografia Eletrônica de Varredura para o rejeito de manganês b) EDS para a amostra de rejeito de manganês

Para uma aproximação de 500 vezes é possível verificar que o rejeito de manganês apresenta uma superfície irregular, contendo inúmeros cristais e com aspecto áspero, fatores que favorecem para uma elevada superfície específica (Figura 22 a). Viveiros (2017) verificou que a superfície específica do rejeito de manganês é aproximadamente duas vezes maior que a superfície do cimento. Os percentuais desses elementos encontram-se quantificados na Tabela 18.

Tabela 18 – Percentuais em massa dos elementos químicos presentes na amostra de rejeito de manganês

Elemento químico	% em massa
Mn	34,68
Si	27,04
Al	25,98
Fe	10,48
K	1,80

Os elementos discriminado na Tabela 18 apenas confirmam a presença dos minerais detectados por difração de raios X na caracterização mineralógica. Como exemplo, pode-se citar que a sílica é originada do quartzo, o alumínio da Gibbsita e o potássio do mineral criptomelana.

#### 4.1.1.4 Caracterização mineralógica do rejeito de manganês

O ensaio de difração de raios X tem como finalidade auxiliar a avaliação de reatividade do material, facilitando a análise das fases minerais (cristalina ou amorfa).

Segundo Callister (2016), os materiais com fases cristalinas caracterizam-se por apresentarem difratogramas com intensa quantidade de picos, enquanto que os materiais com fases amorfas se caracterizam por apresentarem curvas com formas abauladas e ausência de picos. Desta forma, um material cristalino é aquele em que os átomos estão situados em um arranjo que se repete ao longo de grandes distancias atômicas.

Observa-se a predominância de estrutura cristalina para o difratograma do RMN na Figura 23.

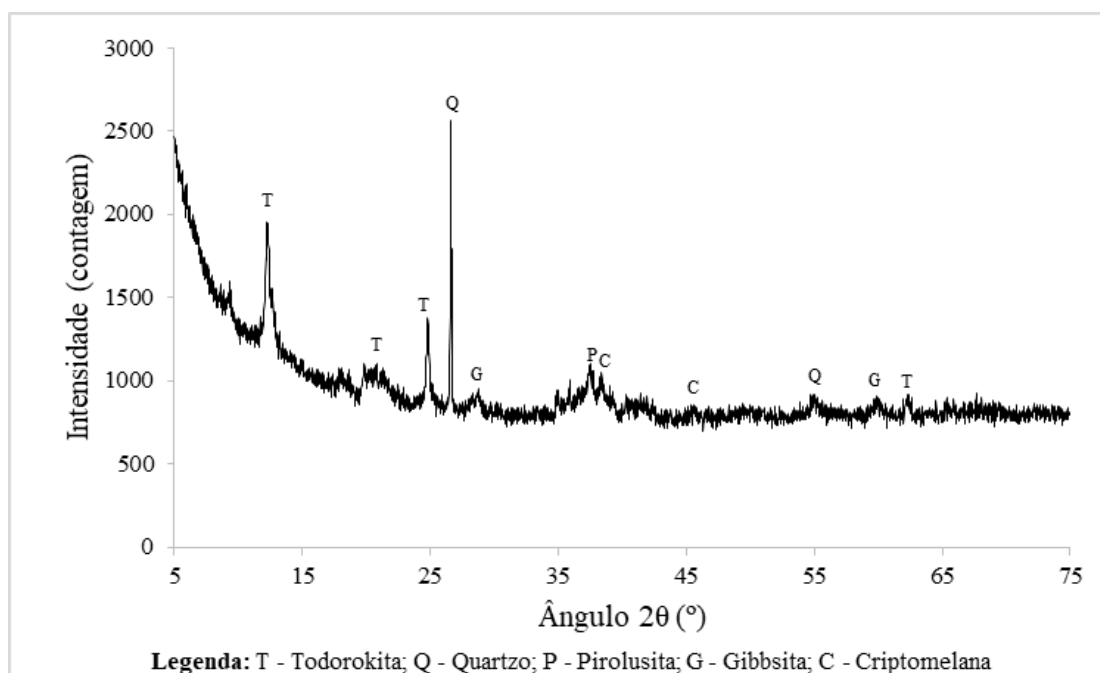


Figura 23 – Caracterização mineralógica do rejeito de manganês

Os principais minerais encontrados no rejeito de manganês por DRX são a Criptomelana ( $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$ ), Todorokita ( $(\text{Mn}, \text{Ca}) \text{Mn}_5\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Pirolusita ( $\text{Mn}_2\text{-}\beta$ ), Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ).

#### 4.1.1.5 Reação álcali-agregado

A Figura 24 retrata a reação álcali-agregado para corpos de prova com agregado miúdo nas proporções de: 30% de rejeito de manganês e 70% de areia natural.

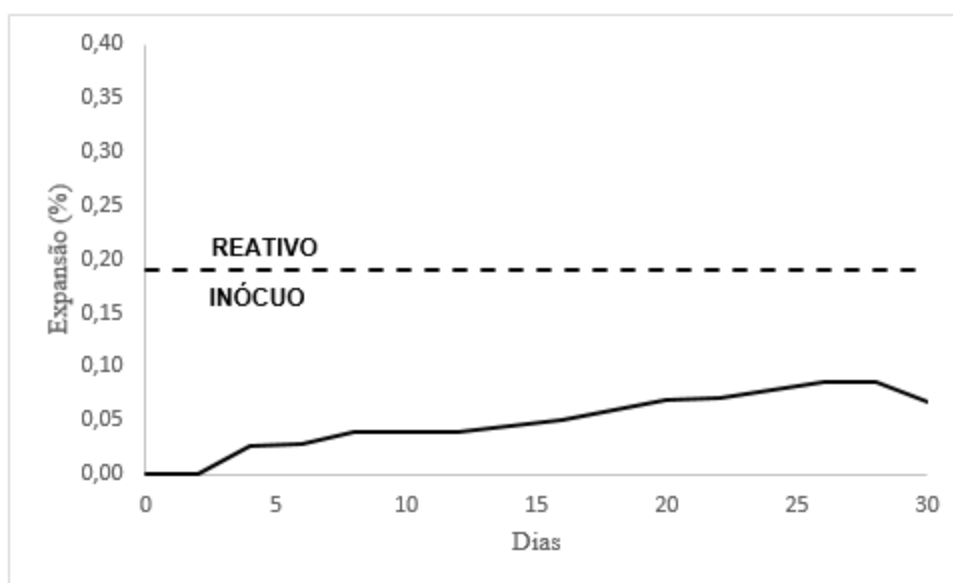


Figura 24 – Reação álcali-agregado

Conforme a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), são considerados potencialmente reativos aos álcalis, os agregados que apresentarem expansões maiores que 0,19% e, potencialmente inócuos, agregados com expansões inferiores a esse valor, sendo que o cálculo sempre considera a média de três (03) prismas de argamassas. Dessa forma, observa-se que a mistura é potencialmente inócua.

#### 4.1.2 Caracterização do agregado graúdo

Na Tabela 19 pode-se observar os percentuais retidos acumulados para o agregado graúdo utilizado na pesquisa.

Tabela 19 – Caracterização do seixo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retido	% Retido acumulado
37,50	0,00	0,0	0,00
19,00	43,78	2	2
9,50	853,45	43	45
4,75	830,74	42	87
2,36	254,23	13	100
1,18	9,20	0,0	100
0,60	3,13	0,0	100
0,30	1,47	0,0	100
0,15	1,28	0,0	100

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retido	% Retido acumulado
Fundo	2,72	0,0	100
	2000,00	100	
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )			1,46
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )			2,52
Dimensão máxima do agregado (mm)			19

Já a Figura 25 exibe a curva granulométrica para o seixo rolado de origem silicosa.

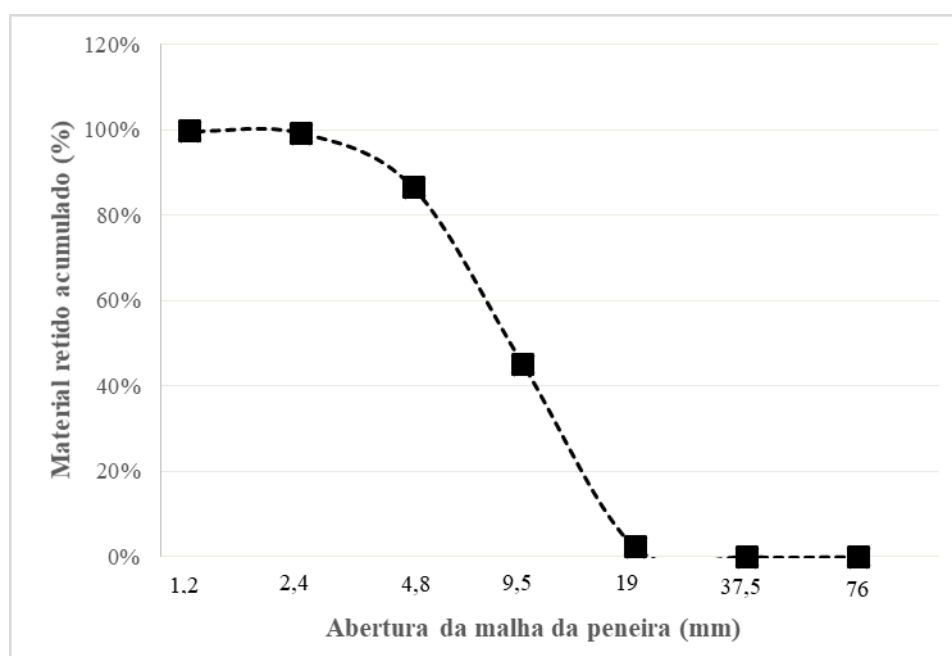


Figura 25 – Curva granulométrica do agregado graúdo

A NBR NM 248 (ABNT, 2003) define dimensão máxima característica do agregado como sendo a abertura da malha da peneira da série normal ou intermediária que apresenta um percentual retido acumulado de valor igual ou imediatamente inferior a 5%. Assim, a dimensão máxima e mínima para o agregado graúdo é de 19 mm e 2,36 mm e a curva granulométrica atende aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009).

#### 4.2 ETAPA 2: CONFEÇÃO DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR REJEITO DE MANGANES.

Observa-se, ao comparar a consistência do concreto referência com o concreto com rejeito, que ao adicionar o resíduo de manganês na mistura, com a substituição da areia natural, essa apresentava-se com aspecto seco e mais coesa (Figura 26a), fator que interferiu diretamente na trabalhabilidade do concreto (Figura 26 b). Sabe-se que o rejeito de manganês apresenta uma elevada superfície específica, como já mensurado por Viveiros (2017), fator que contribuiu para que a mistura com esse material exigisse um maior quantitativo de água. Como a superfície específica do rejeito é elevada, causada pela forma áspera e irregular dos grãos, parcela da água de amassamento fica adsorvida à superfície do rejeito, o que compromete a trabalhabilidade da mistura. Fatores similares foram observados por Abutaha *et al.* (2016), que ao substituir o agregado miúdo por finos de clínquer do óleo da palma obteve redução na trabalhabilidade da mistura e por Bisht e Ramana (2018) ao utilizarem resíduo de vidro, como finos no concreto.

a)



b)



Figura 26 – a) Mistura com rejeito de manganês b) Slump-test para mistura com rejeito de manganês.

Segundo Castro e Pandolfelli (2009) as partículas finas de cimento ao entrarem em contato com a água apresentam grande tendência à aglomeração, devido a vários tipos de interação, a exemplo de forças interpartículas e forças eletrostática entre a posição de sítio com cargas opostas. Essas aglomerações implicam na retenção de certa quantidade de água da mistura e na geração de rede aberta, sendo que essas redes podem aprisionar água ficando indisponível para hidratar as superfícies das partículas de cimento. Esses aglomerados podem



gerar maior incidência de defeitos. Para evitar os aglomerados é recomendado a utilização de aditivos plastificantes

Nessa pesquisa, como não foi utilizado aditivo plastificante, a relação água/cimento aumentou consideravelmente como ilustra o gráfico da Figura 27. A opção por não usar o aditivo superplastificantes é para verificar a influência do acréscimo de água para confeccionar misturas com abatimento de  $70 \pm 10$  mm. Viveiros (2017) ao confeccionar concreto com rejeito de manganês utilizou uma quantidade 4 vezes maior de aditivos plastificante para produzir corpos de prova com 30% de rejeito em comparação a quantidade utilizada para o concreto de referência.

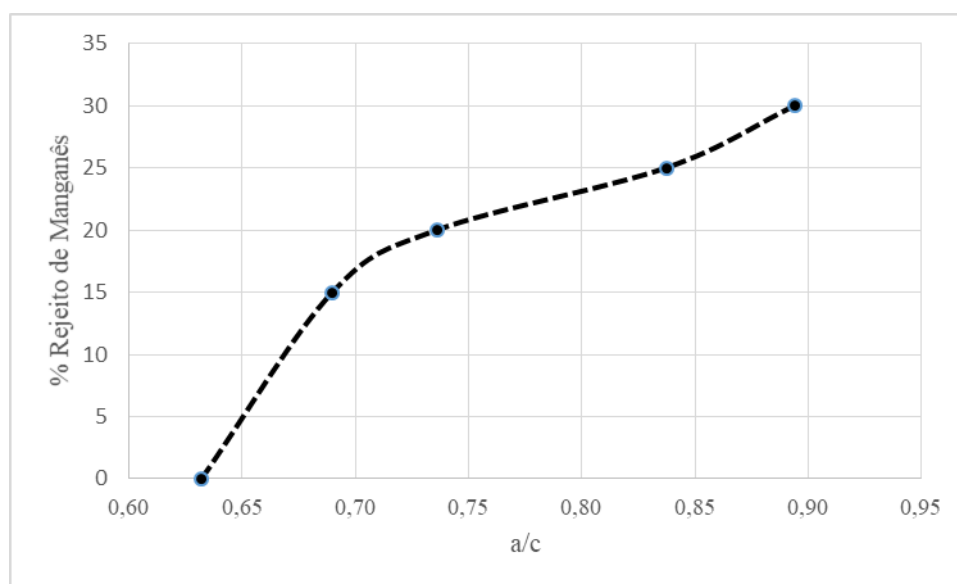


Figura 27 – Relação a/c em função do acréscimo de substituição de areia natural por rejeito de manganês

#### 4.2.1 Análise estatística dos resultados

Quanto ao estudo estatístico, para os dados apresentados nos subitens 4.2.1 a 4.2.5, foram feitas análises quanto à homocedasticidade por meio do teste de Levene. Caso os dados apresentassem uma distribuição normal e uma homogeneidade das variâncias, esses foram comparados utilizando a Anova de uma via com análise múltipla de Tukey, por haver mais de duas condições experimentais. Além disso, quando necessário, houve um complemento das análises mediante a utilização do teste de Dunnett.

Quando envolveu a comparação entre idades, como é o caso dos resultados de resistência à compressão axial aos 28 e 91 dias, foi utilizado o teste T de Student. Foram consideradas diferenças estatísticas quando  $P < 0,05$ . Os detalhes estatísticos encontram-se no Apêndice B.

#### 4.2.1.1 Ensaio de resistência à compressão axial

A Figura 28 ilustra o comparativo da média de resistência à compressão axial, com as barras de erros indicando  $\pm$  os desvios padrões, para os corpos de prova dosados sem rejeito de manganês e com o rejeito, nas proporções de 15%, 20%, 25% e 30%, em substituição ao agregado miúdo convencional.

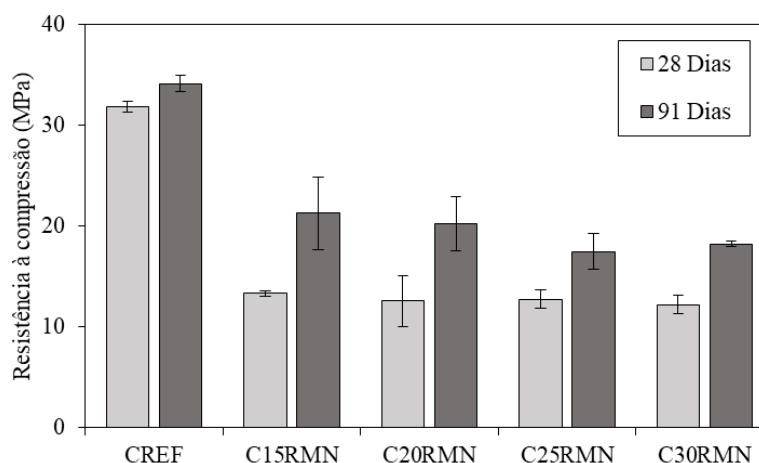


Figura 28 – Resistência à compressão axial aos 28 dias e 91 dias

Pode-se verificar que o concreto de referência apresentou maior resistência aos 28 dias quando comparado com os concretos com manganês, na mesma idade, e esses não apresentaram diferença estatística quando comparados. O mesmo fenômeno ocorre para os concretos com idade de 91 dias.

Observa-se ainda que, mesmo aos 91 dias, as amostras com rejeito de manganês não alcançaram valores de resistências à compressão iguais a 30 MPa. Cabe ressaltar que a NBR 6118 (ABNT, 2014) utiliza concretos com classe de resistência igual ou superior a 20MPa, para confecção de estruturas com armadura passiva. Tal valor somente foi atingido nessa pesquisa para as médias dos resultados do concreto de referência aos 28 e 91 dias e para o concreto com 15% e 20% de rejeito de manganês aos 91 dias.

As Tabelas 20 e 21 expressam a análise de variância, por meio do teste de comparação múltiplas ANOVA para a resistência à compressão nas idades de 28 e 91 dias, respectivamente.

Tabela 20 – Análise de variância para a resistência à compressão na idade de 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	877,90	219,48	130,19	0,000
Resíduos	10	16,86	1,69		

Tabela 21 – Análise de variância para a resistência à compressão na idade de 90 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	556,80	139,20	28,96	0,000
Resíduos	10	48,07	4,81		

Verifica-se por intermédio das Tabelas 20 e 21 que para as comparações entre concretos com e sem rejeito na idade de 28 dias e na idade de 91 dias há diferença estatística entre os resultados, uma vez que obteve-se “P” valor é menor que 0,05 em ambos os casos.

Ressalta-se que nessa pesquisa houve variação no valor tanto da relação água/cimento como também no teor de rejeito de manganês, fator que dificulta em afirmar que a queda de resistência é oriunda da variação de uma ou de outra variável. Porém, Viveiros (2017), ao trabalhar com o mesmo rejeito dessa pesquisa, e ao utilizar uma relação água/cimento fixa por adicionar aditivo plastificante, verificou que os resultados de resistência à compressão para concreto sem rejeito e com rejeito nas proporções de substituição de 15%, 20%, 25% e 30% apresentavam valores estatisticamente significativos.

Face ao exposto, acredita-se que a queda de resistência à compressão, aos 28 e 91 dias, para corpos de prova com rejeito de manganês, deve-se ao acréscimo de água na mistura. Como não foi utilizado aditivo superplastificante, houve uma adição significativa de água, principalmente para o concreto com 30% de substituição do agregado natural, o que representa um aumento de 2,9 kg de água comparado com concreto de referência.

Mendes (2016) ao substituir o agregado natural por rejeito magnético de Catalão-GO obteve valor muito baixo no teste de abatimento por tronco de cone, cujo valor variava de 0 a 27,7 mm. O autor utilizou em sua pesquisa uma relação água/cimento que variou de 0,4 a 0,7. Possivelmente, o fato de Mendes (2016) não aumentar o valor de abatimento de tronco cônico, significou que o autor se preocupou com a perda de resistência devido ao acréscimo de água na mistura ou com o consumo elevado de superplastificantes.

Já Del Magro *et al.* (2010) e Prabhu *et al.* (2014), ao trabalharem com areia de fundição em substituição volumétrica do agregado miúdo natural, também verificaram um decréscimo na resistência à compressão ao obter um concreto com uma consistência seca.

Como conclusão, os autores afirmam que a substituição do agregado natural por finos de areia de fundição afetava diretamente a trabalhabilidade da mistura.

#### 4.2.1.2 Ensaio de absorção de água por imersão

No ensaio de absorção de água por imersão e índice de vazios aos 28 dias, verificou-se que, ao realizar o teste ANOVA por comparação múltipla entre as variáveis para as amostras (CREF, C15RMN, C20RMN, C25RMN, C30RMN), os resultados foram estatisticamente significativos. Mais detalhes do teste pode ser observado no Apêndice B.

As Figura 29 e 30 ilustram, respectivamente, os resultados médios do ensaio de absorção de água por imersão e índice de vazios, em que as barras de erro representam  $\pm$  o desvio padrão para as amostra de concreto com e sem o rejeito de manganês.

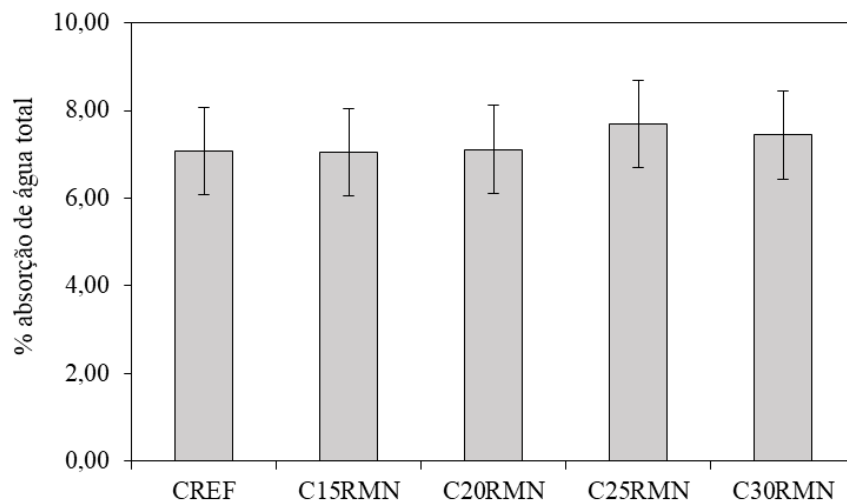


Figura 29 – Resultados médios da absorção de água por imersão aos 28 dias

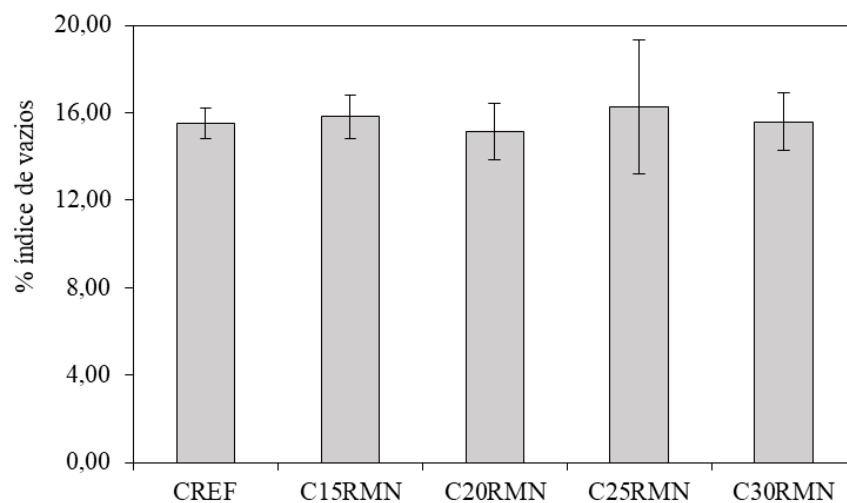


Figura 30 – Resultados médios dos índices de vazios aos 28 dias

Verifica-se na Figura 29 que os resultados obtidos para absorção de água para o concreto referência e com rejeito foi a mesma. Fator similar acontece para os resultados do índice de vazios (Figura 30).

Como na literatura não foi encontrado muitos trabalhos acadêmicos que utilizam o rejeito de manganês no concreto, optou-se por pesquisar rejeitos de minérios ou outros materiais que apresentasse características similares do rejeito de manganês, como é o caso do rejeito fino de magnetita proveniente de Catalão-GO.

Mendes (2016), verificou ainda que para uma relação água/cimento fixa, a absorção de água foi estatisticamente igual comparando os concretos com rejeito de magnetita e o de referência. Porém, quando houve aumento da relação água/cimento, aumentou o índice de absorção de água.

Helena e Andrade (2017) relatam que, para um mesmo grau de hidratação, a melhoria das características mecânicas da pasta de cimento e redução da porosidade estão relacionadas à redução da relação água/cimento.

Viveiros (2017), ao avaliar a absorção por capilaridade para concreto com e sem rejeito de manganês, observou que os concretos com rejeito apresentaram valores de absorção inferior ao de referência, melhoria essas atribuídas aos finos do grão de manganês e ao melhor fator de empacotamento que esses ofereceram às misturas.

No caso dessa pesquisa, não houve uma comparação das propriedades do concreto considerando uma relação água/cimento (a/c) fixa, visto que para a/c utilizada no concreto de referência, não foi possível moldar os corpos de prova com rejeito de manganês, por apresentar uma consistência seca, com agregados não hidratados. Assim, mesmo com o acréscimo de água, necessários para hidratar os grãos do rejeito de manganês, essa pesquisa obteve como resultados de absorção e índices de vazios valores iguais estatisticamente ao concreto referência. Face ao exposto, acredita-se que o manganês tende a colmatar parte dos vazios da pasta de cimento, visto que era esperado que o valor de absorção de água para os concreto com rejeito de manganês fossem superior ao valor apresentado para o concreto referência, uma vez que o aumento da relação a/c tende a formar estruturas porosas.

#### *4.2.1.3 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral*

O resultado de resistência à tração aos 7 e 28 dias, é ilustrado na Figura 31, a qual retrata a média dos valores e as barras de erro indicam  $\pm$  o desvio padrão.

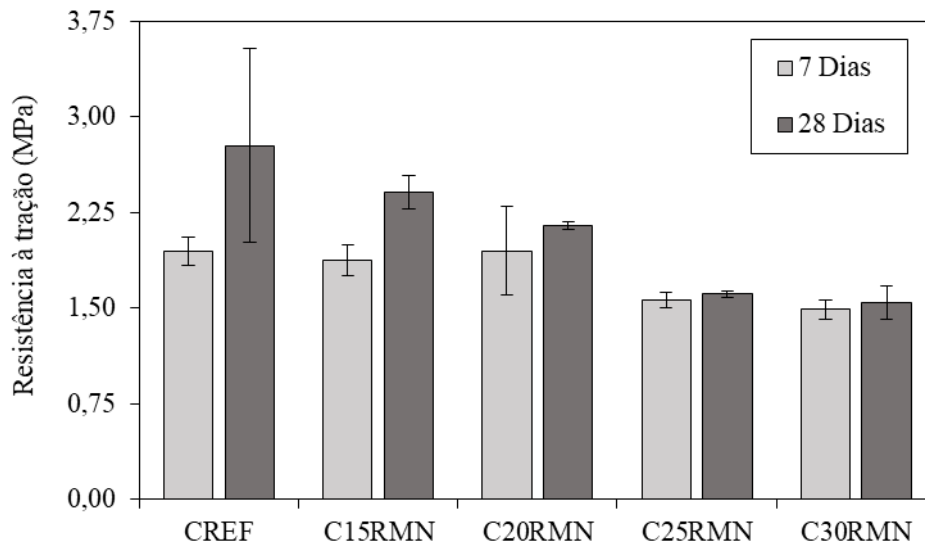


Figura 31 – Resistência à tração por compressão transversal

Percebe-se que aos 28 dias o concreto referência apresenta resistência à tração superior aos concretos com rejeito de manganês. A queda de resistência pode ser causada por haver maior número de imperfeições na matriz cimentícia de amostras com rejeito

Quanto aos resultados de resistência à tração aos sete dias foi feito o teste estatístico pela ANOVA de uma via, o que mostra que os dados não apresentam diferença estatística. Porém, ao avaliar a comparação múltipla do concreto referência com os concretos com rejeito, verifica-se que os resultados do “P” valor foram superiores a 0,05 em todos os casos, e valor muito próximo a 0,05 quando comparados o concreto referência com o concreto com 30% de RMN. Diante desse empasse, foi necessário fazer a análise de Dunnett como contraprova, o qual constatou que somente o concreto com 30% de rejeito difere do concreto de referência.

Acredita-se que o fato dos valores de resistência à tração aos 7 dias, serem similares, deve-se ao aglomerante utilizado nessa pesquisa: cimento Portland pozolânico (CP IV - 32), o qual apresenta baixo calor de hidratação nas primeiras idades e as reações químicas do cimento tendem a acontecer em idades avançadas.

Para a análise dos resultados aos 28 dias também realizou-se o teste de ANOVA de uma via, com análise múltipla de Turkey, conforme Tabela 22.

Tabela 22 – Teste ANOVA de uma via para resistência à tração aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat.F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	3,320	0,830	6,76	0,007
Resíduos	10	1,227	0,123		

Observa-se na Tabela 22 que o P.Valor não é estatisticamente significativo e a resistência à tração aos 28 dias apresentou queda a partir da substituição de 20% da areia natural, conforme Figura 31.

Sabe-se que a forma do agregado interfere na resistência à tração, de modo que, partículas mais esférica tende a apresentar resistências inferiores quando comparado com as pastas que apresentam grãos mais angulosos (Fabro *et al.*, 2001). Acredita-se que os valores de resistência à tração aos 28 dias, para o concreto com 15% e 20% de RMN apresentaram valores mais próximos ao concreto referência em virtude da angulosidade presente nos grão de rejeito de manganês. Já para concreto com 25% e 30% de RMN, o fator água/cimento foi determinante, uma vez que causou uma maior perda de resistência à tração por compressão diametral.

Viveiros (2017) obteve concreto com rejeito de manganês com valores de resistência à tração superior ao de referência, fator que mostra a influência da água nas propriedades mecânicas do concreto.

#### 4.2.1.4 Ensaio do módulo de elasticidade

O gráfico da Figura 32 expõe a média dos valores do módulo de elasticidade, aos 28 dias, para o concretos com e sem rejeito, e as barras de erro indicam  $\pm$  o desvio padrão.

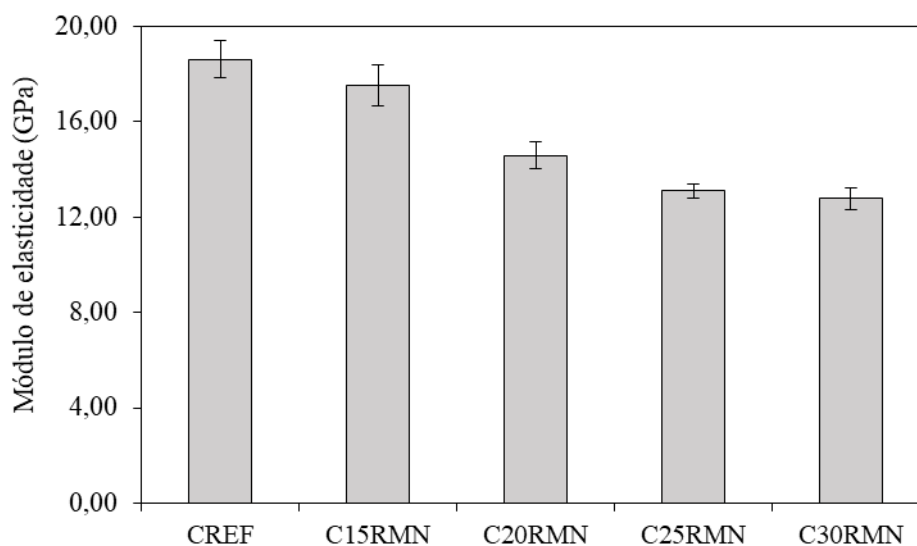


Figura 32 – Módulo de elasticidade

Observa-se que o valor do módulo de elasticidade para o concreto com 15% de rejeito de manganês é próximo ao valor do concreto referência, fator considerado positivo. De forma semelhante acontece com concreto com 25% e 30% de RMN.

Para os dados de módulo de elasticidade, fez-se o teste estatístico de ANOVA de uma via com análise múltipla de Tukey (Tabela 23).

Tabela 23 - Análise de variância para módulo de elasticidade na idade de 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat.F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	3,32	0,83	6,77	0,007
Resíduos	10	1,23	0,12		

Verifica-se na Tabela 23 que P. valor é inferior a 0,05, o que indica que houve diferença estatística para os valores com e sem rejeito de manganês.

Sabe-se que o esqueleto granulométrico é determinante para oferecer bons resultados de módulo de elasticidade. Lenz (2016) enfatiza que a alteração na composição granulométrica, suficiente a produzir o aumento da densidade de empacotamento é capaz de resultar em concreto com maior rigidez. Assim, ao considerar o resultado da Figura 32, estima-se que o empacotamento dos grãos para o concreto de referência foi similar ao de referência, uma vez que os resultados forma bem próximos.

Outo fator que contribui para bons resultados de rigidez nos compósito é o número de imperfeições na matriz cimentícia. Jabeli *et al.* (2018) ao estudarem as propriedades mecânicas para interface entre pasta de cimento e agregado graúdo puderam observar que a resistência à tração nessa região compromete o módulo de elasticidade da matriz cimentícia, fator atribuído às fragilidades da zona de transição devido a um número maior de poros. Segundo Metha e Monteiro (2014) a zona de transição é considerada mais porosa em virtude dos filmes de água que se formam em volta do agregado, assim, para relações água cimento maior, a tendência é formar uma estrutura mais frágil, que compromete a resistência e o módulo de elasticidade.

Possivelmente a queda no módulo de elasticidade para concreto com maior percentual de rejeito de manganês (20%, 25% e 30%) dá-se em virtude da existência de pontos de fragilidade na matriz cimentícia e por haver uma zona de transição com o agregado graúdo mais fragilizada.

#### 4.2.2 Microscopia do concreto

A Figura 33 ilustra a imagem obtida por microscópica eletrônica de varredura para o concreto de referência (CREF) e para o concreto com 15% de rejeito de manganês (C15RMN) com aumento de 40 vezes. Tais imagens foram formadas com auxílio de elétrons



retroespalhados (BSE), os quais fornecem uma melhor visualização dos materiais ilustrados na amostra, pois esses conseguem identificar em contraste preto e branco materiais com diferenças no número atômico dos elementos presentes na amostra (DEDAVID, 2007).

Mesmo com um aumento relativamente baixo de 40 vezes, nota-se que o número de trincas foram aumentados na zona de transição entre a pasta e o agregado com a substituição dos finos naturais por rejeito de manganês. Cita-se como defeitos as trincas, que são responsáveis pela perda de resistência mecânica.

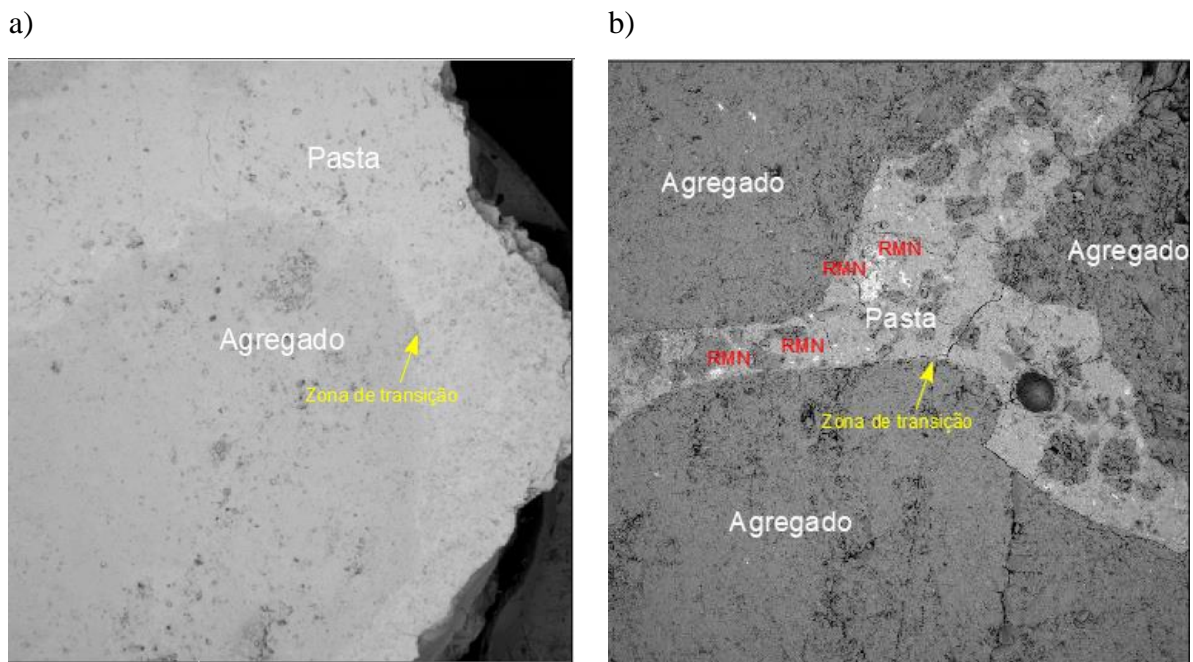


Figura 33 – a) MEV para o CREF e b) MEV para o C20RMN

Aumentando a ampliação de 40 vezes para 1000 vezes, observa-se na amostra com 20% de substituição de areia natural por rejeito, que as trincas nas zonas de transição são mais nítidas (Figura 34). Possivelmente, o aumento de número de trincas pode ser explicado pelo fato de o rejeito de manganês apresentar uma elevada superfície específica, fator esse que justificou a necessidade de um maior quantitativo de água na mistura para manter uma trabalhabilidade adequada, uma vez que optou-se por não utilizar aditivos plastificantes. Com isso, o acréscimo de água traz como consequência o aumento do número de defeitos na matriz cimentícia, contribuindo dessa forma para uma perda de resistência mecânica.

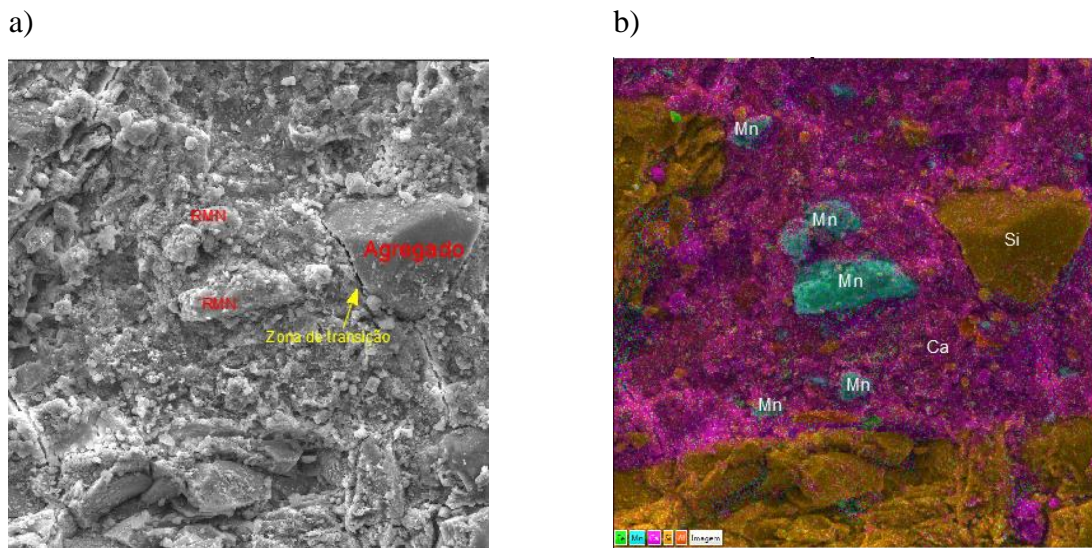


Figura 34 – a) MEV ampliação 1000X para C20RMN b) EDS para C20RMN

Na tentativa de avaliar a microestrutura para concreto com maior percentual de rejeito e observar fragmento da amostra com maior concentração do mesmo, optou-se por verificar concreto com 30% de substituição de areia natural por RMN com uma ampliação de 2000 vezes e com os espectros para os pontos “A” e “B” como ilustra a Figura 35.

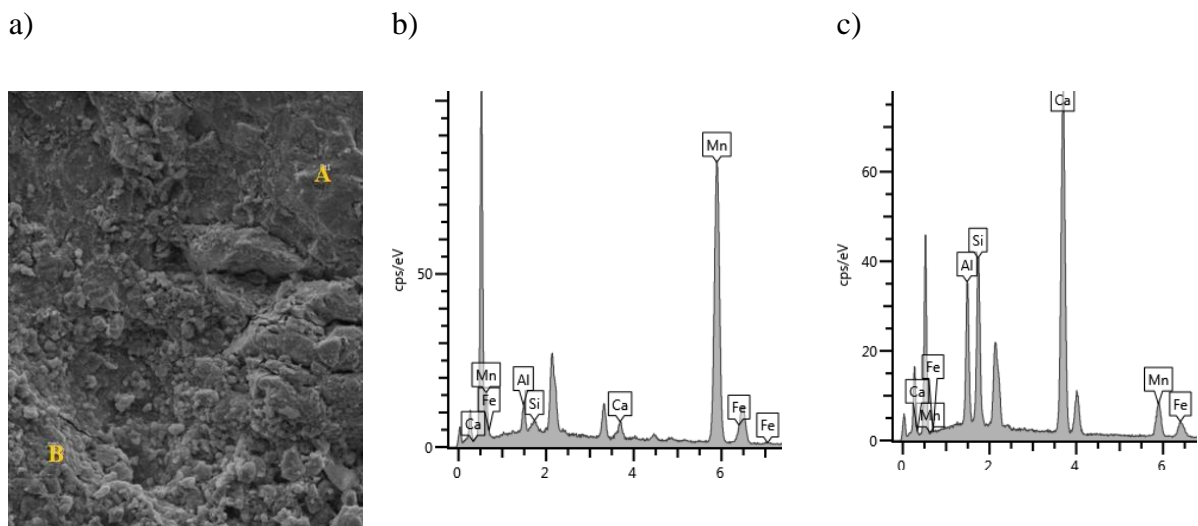


Figura 35 – a) Ampliação de 2000X para concreto com 30% RMN b) Espectro de raio X no ponto A c) Espectro de raio X no ponto B

Nota-se que o ponto “A” apresenta uma maior concentração de manganês (Figura 35b). Nesse ponto, a textura aparenta uma superfície mais lisa, o que diferencia para a região do ponto “B”, que apresenta um maior quantitativo de sílica e cálcio (Figura 35c), os quais são responsável pela formação de cristais de C-S-H típico de matriz cimentícia e que confere resistência a estrutura do concreto.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 CONCLUSÃO

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural por rejeito de manganês e verificar os impactos das substituições em um concreto de referência dosado para fins estruturais, sem a utilização de aditivo plastificante.

Observou-se que ao adicionar rejeito de manganês na mistura de concreto, essa apresentava aspecto mais coeso em relação a consistência do concreto referência, fator esse que comprometia a trabalhabilidade da mistura.

Pode-se concluir que o rejeito de manganês, por apresentar uma elevada superfície específica demandou um maior quantitativo de água, uma vez que não foi utilizado aditivo plastificante, e esse fator interferiu diretamente na resistência mecânica à compressão aos 28 dias e 91 dias.

Verificou-se que a não utilização de aditivo plastificante pode causar impactos significativos, como a perda de resistência à tração, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

Ressalta-se também, que mesmo havendo uma homogeneização entre a areia natural e o RMN, a mistura com 30 % de substituição do agregado natural exigiu o acréscimo de 2,9 kg água para atender uma trabalhabilidade de  $70 \pm 10$  mm. Tal homogeneização foi necessária, pois adicionando o rejeito de manganês diretamente em betoneira, formava-se “pelotas” de concreto, fator que demandava um maior quantitativo de água para poder quebrar a coesão existente nos grãos.

Quanto aos resultados de absorção de água por imersão e índice de vazios, verificou-se que os resultados apresentaram-se estatisticamente significativos ao concreto referência, o que mostra que mesmo havendo acréscimo de água na mistura com o aumento de rejeito, os valores de absorção para os concretos com e sem rejeito mostram-se iguais estatisticamente.

Para o ensaio de módulo de elasticidade, que mede a rigidez do concreto, observou-se que esse diminuiu com o acréscimo de rejeito e que para até 15% de substituição do agregado natural por RMN, o comportamento quanto ao módulo de elasticidade foi similar ao concreto referência.

Face ao exposto, observa-se que concretos com rejeito de manganês, moldados sem a utilização de aditivos plastificantes, não ofereceram requisitos para serem empregados para fins estruturais. Porém, com a finalidade de minimizar os impactos ambientais com a disposição final do rejeito de manganês, recomenda-se a utilização do rejeito para a confecção de concreto sem fins estruturais.

## 5.2 SUGESTÕES

Apesar das dificuldades em se trabalhar com o rejeito de manganês para confecção do concreto estrutural, é de extrema importância continuar estudando tal material para oferecer destinos ambientalmente correto à esse rejeito, visto que esses são destinados à barragens e o Brasil já enfrentou dois acidentes com o rompimento dessa estrutura com depósito de rejeito de minério de ferro no estado de Minas Gerais.

Sabe-se que os impactos causados por rompimento de uma barragem pode causar severos danos, como já visto no caso de Mariana e Brumadinho, ambos no estado de Minas Gerais. Assim, como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- avaliar as propriedades mecânicas e de durabilidade para concreto com substituição da areia natural por rejeito de manganês nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% não fixando a trabalhabilidade e adotando diferentes relações água cimento;
- a utilização do rejeito de manganês modificado por calcinação para confecção de argamassa;
- fazer um melhor controle granulométrico dos agregado de modo a formar um esqueleto granulométrico mais denso com a utilização do rejeito de manganês para avaliar as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto;
- utilizar o rejeito de manganês na área da geotecnia como matéria prima para infraestrutura rodoviária;
- estudar a viabilidade para produção de blocos prensados de encaixe solo-cimento, com adição de rejeito de manganês, como um novo material de construção.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 5738.** Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 67.** Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 65.** Determinação dos tempos de pega – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 7211.** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 5736.** Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 16605.** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 11579.** Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 16607.** Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 248.** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 45.** Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 52.** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR NM 53.** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 12653.** Materiais Pozolânico – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 7215.** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 7222**. Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 8522**. Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT, NBR 15577-4**. Agregados - Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABUTAHA, F.; RAZAK, H. A.; KANADASAN, J.; Effect of oil clinker (POC) aggregates on fresh and hardened properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 416-423, 2016.

AÏSSOUN, B. N.; HWANG, SD.; KHAYAT K. H.; Influence of aggregate characteristics on workability of superworkable concrete. **Materials and Structures**, v. 49, p. 597-609, 2015.

ALI, M. R.; MASLEHUDDIN, M.; SHAMEEM, M.; BARRY, M. S. Thermal-resistant lightweight concrete with polyethylene beads as coarse aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 164, p. 739-749, 2018.

BRABO, M. F.; RAMOS JÚNIOR, A. L.; COSTA, J. W. P.; REIS, T. S.; VASCONSELOS, D. A.; VERAS, G. C. A piscicultura na área de influência de um grande projeto de mineração na Amazônia Brasileira. **Rev. Bras. Eng. Pesca**, 10(1), p. 69-82, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas / Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Marques Dalla Costa... [et al.]; – Brasília: DNPM, 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM, **Rejeitos da exploração de manganês em Marabá (PA) alçaçam rios**, Fevereiro de 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM, **Tratamento de minério**, 2018, 6ª ed. Editores: Adão B da Luz, Fernando Antônio F. Lins. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/images/tratamento-minerios-6-ed-reduzido.pdf>. Acesso em 07 jan 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Produto 11: Minério de manganês**, Consultor. Luiz Felipe Quaresma. Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. Relatório Técnico 19, Perfil da mineração de manganês, ago. 2009.

BRITO, D. C. Mineração, desenvolvimento e impacto sócio-ambiental: uma experiência de exploração de manganês na Amazônia, *Papers do NAEA*, V. 38, 1995.

BISHT, K. e RAMANA, P. V. Sustainable production of concrete containing discarded beverage glass as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 116-124, 2018.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. Tradução: Sérgio Murilo Stamile Soares. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHAITONGRAT e SOMSAK SIWADAMRONGPONG. Recycling of melamine formaldehyde waste as fine aggregate in lightweight concrete. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 40, p. 39-45, 2018.

CHAGAS, Rodrigo Mendes Patrício. **Estudo do concreto Laterítico dosado com aditivo plastificante à base de lignosulfato**, 2011. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

CHOUSIDIS, N; IOANNOU, I; BATIS, G. - Utilization of Electrolytic Manganese Dioxide (E.M.D.) waste in concrete exposed to salt crystallization. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 708-718, 2018.

C. LONDERO; LENZ, L. A.; DOS SANTOS, I. M. R; KLEIN, N. S. Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir de areia normal IPT: comparação de modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias. **Cerâmica**, v. 63, p. 22-33, 2017.

COELHO, M. C. N.; WANDERLEY, L. J; GARCIA, T. C.; BARBOSA, E. J. S. Regiões econômicas minero-metalúrgicas e os riscos de desastre ambientais das barragens de rejeito no Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 13, n. 20, 2017.

CONGILIO C. R. e MOREIRA E. S. S. A resistência aos grandes projetos de mineração do ferro no sudeste paraense. **Relações de Política Pública**, São Luís, p. 105-115 2017.

DE LUCA, Luis Antonio. **Propriedades mecânicas do concreto laterítico da Região do Acre**. 2014. Dissertação (mestrado em processos construtivos e saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicação e preparação de amostras**: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores, Porto Alegre: EUDIPUCRS, 2007. 60 p., ISBN 978-85-7430-702-2.

DEL MAGRO, A. C.; MORAES, C. A. M.; KULAKOWSKI, M. P.; Influencia fenólica-alcalina usada de fundição na resistência à compressão e na absorção de água no concreto. **Salão de iniciação científica PUCRS**, 11, 2010. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

DOMTOTAL. Belo Horizonte. Disponível em: <http://domtotal.com/noticia/1124044/2017/03/seguranca-em-barragens-de-rejeitos-entre-a-teoria-e-a-pratica/>. Acesso em: 20 jan. 2019.

FABRO, F.; GAVA, G. P.; GRIGOLE, H. B.; MENEGHETTI, L. C. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 4, n. 2, p. 191-212, 2011.

FOESCH, Meri Diana Strauss. **Características físico-químicas e comportamento spectral de águas contaminadas por rejeito de mineração: o caso de Mariana – MG**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

FU JIA LUO, LI GE, ZHU PAN, WEN HUI DUAN, XIAO LING ZHAO, FRANK CLLINS. Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 131-137, 2013.

GOMES, N. C.; SANTOS, R. K.; CORDEIRO, J.; DUARTE, M. B. A.; QUINTÃO, P. L.; CORDEIRO, J. L. Caracterização das barragens de concentração de rejeitos situadas no estado de Minas Gerais, **Society and Development**, v. 8, n. 2, 2018.

GUERRA, A. S.; ROCHA, E. R. D.; OKABAYASHI, J. Y. Estudo de viabilidade técnica para a reutilização de Polietileno Tereftalato (PET) residual em substituição ao agregado miúdo no concreto. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.3, n.3, p. 35-40, 2017.

HELENO, P e ANDRADE, T. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia do Materiais**. Editor: Geraldo Cechella Isaias, Cap 29, 3 ed, IBRACON, ISSN: 978-85-98576-27-5, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Guia para planejamento do fechamento de mina**. 1ª Edição. 224 p., 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>> Acesso em: 06 set. 2017.

JEBLI, M.; JAMIN, F.; MALACHANNE, E.; GARCIA-DIAZ, E.; EL YOUSOUFI, M. S. Experimental characterization of mechanical properties of the cement-aggregate interface in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 16-25, 2018.

KUNAL, B e RAMANA, P. V. Sustainable production of concrete containing discarded beverage glass as fine aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 116-124, 2018.

KWAN, W. H.; RAMLI, M.; KAM, K. J.; SULIEMAN, M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. **Construction and Building Materials**, v. 26, p. 565-573, 2012.

LENZ, Lauri Anderson. **Avaliação da influência do empacotamento do esqueleto granular no módulo de elasticidade de concreto convencional**, 2016. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.



LI, ZONGJIND. **Advanced concrete technology**, 528 p.; Nova Jersey, 2011; ISBN 978-0-470-43743-8.

LIU, R.; XIAO, H.; LIU, J.; GUO, S.; PEI, Y. Improving the microstructure of ITZ and reducing the permeability of concrete with various water/cement ratios using nano-silica. **Composites**, doi: 10.1007/s10853-018-2872-5, 2017.

L. EVANGELHISTA e J. de BRITO. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, p. 397-401, 2007.

L. EVANGELHISTA & J. de BRITO. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 9-14, 2010.

MACFARLANE, M. e MITCHELL, P. **Scoping and Assessment of the Environmental and Social Impacts of River Mining in Jamaica**, MERN Working Paper N°32, University of Warwick, 2003.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, 2005.

MENDES, Marcos Vinicius Agapto. **Análise Técnica da Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Rejeito Magnético na Produção de Concreto**. 2016. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em gestão organizacional Stricto Senso, Universidade Federal de Goiás. Catalão, 2016.

MINERAÇÃO BURITAMA S.A. Disponível em:  
<<http://www.mineracaoburitama.com.br/buritama/>>. Acesso em: 30/11/2017.

METHA, P. K; MONTEIRO, P. J. **Concreto: microestrutura propriedades e materiais**. 2ª ed (português), Universidade da Califórnia em Berkeley, 2014.

NETTO, Rafael Mantuano. **Material pozolânicos**. 2006. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) - Uninersidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5 ed, Bookman, 2016. ISBN 978-85-8260-36-66, 2016.

PAULON, V. e KIRCHHEINM, A. P. Nanoestrutura e microestrutura do concreto endurecido. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, 1ª ed. São Paulo. IBRACON, cap 16, p. 585-614, 2011.

PINHEIRO, K. B.; FERREIRA, R. L. S.; MOTA, J. B.; DA CUNHA, P. R. P.; VIDEIRA, M. N. Histopatologia do fígado de Colossoma macropomum Cuvier, 1818 proveniente de área sobre influência de mineração na Amazônia Oriental, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 3, p. 74-78, 2017.

POON, C. S.; SHUI Z. H.; LAM, L.; FOK. H.; KOU, S. C. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. **Cement and Concret Research**, 34, p. 31-36, 2004.

PRABHU, G. G.; HYUN, J. H.; KIM, Y. Y. Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 514–521, 2014.

RODRIGUES A. C.; MOREIRA M. A.; COLARES, A. C. V. Avaliação da eficiência da aplicação de *royalties* da mineração no desenvolvimento social dos municípios mineiros, **Revista Ambiente Contábil**, v. 8, n. 2, 2016.

SALGUERO, F.; GRANDE, J. A.; VALENTE, T.; GARRIDO, R.; DE LA TORRE, M. L.; FORTES, J. C.; SÁNCHEZ, A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 54, p. 363 – 368, 2014.

SANTANA A. L., Manganês, Economia mineral do Brasil, cap. 3, disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/outras-publicacoes>. Acesso 22/11/2017.

SCRIVENER, K. Characterisation of the itz and its quantification by test methods. **RILEM report**, p. 3-18, 1999.

SILVA, A. C.; MENDES, M. V. A., SILVA, E. M. S., Substituição de areia por magnetita na formulação do concreto. **Tecnol. Metal. Mater. Miner.**, São Paulo, v. 13, n. 3, p 265-269, 2016.

SILVA , R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Establishing a relationship between modulus of elasticity and compressive strength of recycled aggregate concrete, **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2171-2186, 2016.

SILVA. L. S.; NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; BATISTA, N. J. S. Análise das propriedades físico-químicas do agregado miúdo utilizado na região metropolitana de Belém-PA, **Revista de ciência e tecnologia**, v.4, n.7, 2018.

SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G. L.; MORAN, C. J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon, **Nature Communications**, v. 8, n. 1013, 2017.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; GIANNINI, T. C.; GIULIETE, A. M.; SANTOS, D. C.; NASCIMENTO JR., W. R.; GUIMARÃES, J. T. F.; COSTA, M. F. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; SIQUEIRA, J. O. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation, **Plos one**, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211095>, 2019.

SOUZA Lucas Teixeira de. **Petrografia e Mineralogia do Protominério de Manganês da Região de Maraú, Sul da Bahia, Brasil**. 2017. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

THORNEYCROFT, J.; ORR, J.; SAVOIKAR, P.; BALL, R. J. Performace of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 63-69, 2018.

UPANDHYAYA, S.; NANDA, B.; PANIGRAHI, R. Experimental Analysis on Partial Replacement of Fine Aggregate by Granite Dust in Concrete. **Construction and Building Materials**, p. 335-344, 2019.

VISHALAKSHI, K. P.; REVATHI, V.; REDDY, S. S.; Effect of type of coarse aggregate on the strength properties and fracture energy of normal and high strength concrete. **Construction and Building Materials**, v. 194, p. 52-60, 2018.

VIVEIROS, Danielle de Cássia Santos de. **Rejeito do minério de manganês como material de construção civil**. 2017. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

WEIDMMAN. Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

- Ensaio de reatividade álcali-agregado

Tabela A.1 – Resultado ensaio álcali-agregado

<b>Data</b>	<b>Idade</b>	<b>Amostra</b>	<b>Leitura (mm)</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>Média (%)</b>
10/01/2018		-	Moldagem	-	-
11/01/2018	1	-	Desmoldagem	-	-
12/01/2018	2	Barra 1	6,05	0	0
		Barra 2	4,25	0	
		Barra 3	3,48	0	
14/01/2018	4	Barra 1	6,09	0,01	0,03
		Barra 2	4,32	0,02	
		Barra 3	3,60	0,04	
16/01/2018	6	Barra 1	6,10	0,02	0,03
		Barra 2	4,33	0,03	
		Barra 3	3,60	0,04	
18/01/2018	8	Barra 1	6,17	0,04	0,04
		Barra 2	4,35	0,03	
		Barra 3	3,60	0,04	
22/01/2018	12	Barra 1	6,17	0,04	0,04
		Barra 2	4,35	0,03	
		Barra 3	3,60	0,04	
26/01/2018	16	Barra 1	6,22	0,06	0,05
		Barra 2	4,40	0,05	
		Barra 3	3,60	0,04	
30/01/2018	20	Barra 1	6,28	0,08	0,07
		Barra 2	4,44	0,07	
		Barra 3	3,66	0,06	
01/02/2018	22	Barra 1	6,30	0,09	0,07
		Barra 2	4,44	0,07	

<b>Data</b>	<b>Idade</b>	<b>Amostra</b>	<b>Leitura (mm)</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>Média (%)</b>
		Barra 3	3,66	0,06	
05/02/2018	26	Barra 1	6,35	0,10	0,07
		Barra 2	4,46	0,07	
		Barra 3	3,71	0,08	
07/02/2018	28	Barra 1	6,35	0,10	0,09
		Barra 2	4,46	0,07	
		Barra 3	3,71	0,08	
09/02/2018	30	Barra 1	6,28	0,08	0,07
		Barra 2	4,42	0,06	
		Barra 3	3,67	0,07	

- Composição granulométrica para areia natural

Tabela A.2 – composição granulométrica para areia natural

<b>Abertura das peneiras (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>% Retido acumulado</b>
4,75	15,80	2	2
2,36	28,20	3	5
1,18	55,35	6	11
0,6	515,34	52	63
0,3	279,20	28	91
0,15	16,00	2	93
0,075	65,75	7	100
Fundo	6,84	0	100
	981,84	100	

- Composição granulométrica do rejeito de manganês

Tabela A.3 – Composição granulométrica para o rejeito de manganês

<b>Abertura das peneiras (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>% Retido acumulado</b>
4,75	34,10	4	4

<b>Abertura das peneiras (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>% Retido acumulado</b>
2,36	58,93	6	10
1,18	88,70	10	20
0,6	127,37	14	34
0,3	185,40	20	54
0,15	183,91	20	74
0,075	197,00	22	96
Fundo	33,70	4	100
	909,11	100	

## APÊNDICE B – ETAPA 2

## 1) Resultados do ensaio de abatimento por tronco cônico

Tabela B.1 – Slump teste para confecção dos traços de concreto

<b>Concreto</b>	<b>%RMN</b>	<b>a/c</b>	<b>Slump (mm)</b>
CREF	0	0,63	70
C15RMN	15	0,69	60
C20RMN	20	0,74	65
C25RMN	25	0,84	65
C30RMN	30	0,89	70

## 2) Resultado do ensaio de resistência à compressão axial

Tabela B.2 – Resultados individuais de resistência à compressão axial

<b>Concreto</b>	<b>28 dias</b>			<b>90 dias</b>		
	<b>Resistencia individual (Mpa)</b>	<b>Média (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão (Mpa)</b>	<b>Resistencia individual (Mpa)</b>	<b>Média (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão (Mpa)</b>
CREF	32,35	31,84	0,45	34,49	34,16	0,63
	31,91			33,27		
	31,26			34,71		
C15RMN	13,19	13,33	0,23	24,01	21,28	2,95
	13,15			22,65		
	13,66			17,18		
C20RMN	15,29	12,60	2,07	21,79	20,27	2,18
	12,26			21,83		
	10,25			17,18		
C25RMN	12,74	12,78	0,75	17,18	17,47	1,45
	11,88			15,85		
	13,71			19,37		
C30RMN	11,23	12,23	0,72	18,29	18,24	0,20
	12,58			18,45		
	12,88			17,98		

- Análise descritiva, teste de homocedasticidade pelo método de Levene

Tabela B.3 – Teste de Levene

<b>Comparação</b>	<b>G.L</b>	<b>P. valor</b>	<b>Amostra</b>
Resistencia à compressão aos 28 dias	4	0,26	Homogênea
Resistencia à compressão aos 91 dias	4	0,65	Homogênea
Comparação CREF (28 X 91)	1	0,80	Homogênea
Comparação C15RMN (28 X 91)	1	0,27	Homogênea
Comparação C20RMN (28 X 91)	1	0,94	Homogênea
Comparação C25RMN (28 X 91)	1	0,47	Homogênea
Comparação C30RMN (28 X 91)	1	0,40	Homogênea

- Análise estatística para resistência à compressão aos 28 e 91 dias

Tabela B.4 – Anova de uma via para resistência à compressão aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	877,90	219,48	130,19	0,000
Resíduos	10	16,86	1,69		

Tabela B.5 – Anova de uma via para resistência à compressão aos 91 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	556,80	139,20	28,96	0,000
Resíduos	10	48,07	4,81		

- Teste de comparação múltipla - ANOVA

Tabela B.6 – Comparação múltipla para resistência à compressão aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREF-C30RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,95	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,98	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,83	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,98	Significativo estatisticamente

Tabela B.7– Comparação múltipla para resistência à compressão aos 91 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,00	Não significativo estatisticamente



<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C30RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,97	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,28	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,48	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,55	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,79	Significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente

Tabela B.8– Agrupamentos

<b>Amostra</b>	<b>Grupos aos 28 dias</b>	<b>Grupos aos 91 dias</b>
CREF	A	A
C15RMN	B	B
C20RMN	B	B
C25RMN	B	B
C30RMN	B	B

- Comparação entre resistência à compressão entre idades (28 x 91 dias)  
Tabela B.9 – Teste T Student para comparação entre idades

<b>Amostra</b>	<b>P valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF	0,013	Não significativo estatisticamente
C15RMN	0,019	Não significativo estatisticamente
C20RMN	0,022	Não significativo estatisticamente
C25RMN	0,015	Não significativo estatisticamente
C30RMN	0,000	Não significativo estatisticamente

- 3) Resultado absorção de água por imersão e índice de vazios

Tabela B.10 - Resultados de absorção por imersão e índices de vazios

<b>Concreto</b>	<b>Massa seca – Ms (g)</b>	<b>Massa saturada – Msat (g)</b>	<b>Massa imersa – Mime (g)</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Desvio padrão (%)</b>	<b>Índice de vazios (%)</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Desvio padrão (%)</b>
Cref	3372,33	3625,18	2074,54	7,50	7,08	0,33	16,31	15,53	0,57
	3369,97	3595,18	2087,26	6,68					
	3425,84	3667,24	2094,85	7,05					
C15RMN	3245,34	3474,34	2115,31	7,06	7,04	0,06	16,85	15,81	0,80
	3335,42	3567,55	2010,27	6,96					
	3261,15	3493,04	2013,49	7,11					
C20RMN	3298,41	3552,03	1998,55	7,69	7,11	0,52	16,33	15,15	1,04
	3377,88	3595,26	2018,72	6,44					
	3328,28	3568,4	2001,39	7,21					
C25RMN	3337,88	3593,77	2004,19	7,67	7,70	1,28	16,10	16,28	2,50
	3250,64	3552,49	1998,68	9,29					
	3328,21	3532,56	1998,29	6,14					
C30RMN	3220,7	3432,2	1927,3	6,57	7,44	0,62	14,05	15,58	1,08
	3178,4	3428,9	1892,1	7,88					
	3199,5	3451,4	1912,7	7,87					

- Análise descritiva, teste de homocedasticidade pelo método de Levene

Tabela B.11 – Teste de homocedasticidade para índice de vazios e absorção de água

<b>Comparação</b>	<b>G.L</b>	<b>P. valor</b>	<b>Amostra</b>
Absorção de água	4	0,87	Homogênea
Índice de vazios	4	0,46	Homogênea

- Análise estatística para absorção de água por imersão e índice de vazios

Tabela B.12 – Anova de uma via para absorção de água aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	0,977	0,244	0,338	0,847
Resíduos	10	7,24	0,72		

Tabela B.13 – Anova de uma via para índice de vazios aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	2,08	0,522	0,184	0,941
Resíduos	10	28,35	2,835		

Tabela B.14– Comparação múltipla para absorção de água aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,99	Significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	0,99	Significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,89	Significativo estatisticamente
CREF-C30RMN	0,98	Significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,87	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,98	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,91	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente

Tabela B.15– Comparação múltipla para o índice de vazios aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,99	Significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	0,99	Significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,98	Significativo estatisticamente
CREF-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,92	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente

Comparação	P. Valor	Parecer
C25RMN-C30RMN	0,98	Significativo estatisticamente

## 4) Resultado de resistência à tração por compressão

Tabela B.16 – Resultados individuais de resistência à compressão transversal

Concreto	7 dias				28 dias			
	Força (KN)	Resistencia individual (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Força (KN)	Resistencia individual (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
CREF	59,8	1,90	1,95	0,087	104,88	3,34	2,78	0,620
	58,7	1,87			96,72	3,08		
	65	2,07			60,11	1,91		
C15RMN	62,35	1,98	1,88	0,097	77,65	2,47	2,41	0,109
	54,95	1,75			78,7	2,51		
	59,6	1,90			71	2,26		
C20RMN	70,58	2,25	1,95	0,283	66,65	2,12	2,15	0,022
	49,3	1,57			67,45	2,15		
	60,8	2,04			68,34	2,18		
C25RMN	49,3	1,57	1,56	0,048	51,6	1,64	1,61	0,022
	50,9	1,62			50,15	1,60		
	47,25	1,50			50,1	1,59		
C30RMN	47,05	1,50	1,52	0,061	48,5	1,54	1,54	0,110
	49,15	1,56			44,3	1,41		
	44,45	1,41			52,7	1,68		

- Análise descritiva, teste de homocedasticidade pelo método de Levene

Tabela B.17 – Teste de homocedasticidade

Comparação	G.L	P. valor	Amostra
Resistencia à tração aos 7 dias	4	0,36	Homogênea
Resistencia à tração aos 28 dias	4	0,30	Homogênea
Comparação CREF (7 X 28)	1	0,32	Homogênea
Comparação C15RMN (7 X 28)	1	0,97	Homogênea
Comparação C20RMN (7 X 28)	1	0,20	Homogênea
Comparação C25RMN (7 X 28)	1	0,41	Homogênea
Comparação C30RMN (7 X 28)	1	0,48	Homogênea

- Análise estatística para resistência à tração por compressão aos 7 e 28 dias

Tabela B.18 – Anova de uma via para resistência à tração por compressão aos 7 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	0,584	0,146	4,72	0,021*
Resíduos	10	0,310	0,031		

Tabela B.19 – Anova de uma via para resistência à tração por compressão aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	3,320	0,830	6,76	0,007*
Resíduos	10	1,227	0,123		

- Teste de comparação múltipla - ANOVA

Tabela B.20 – Comparação múltipla para resistência à tração por compressão aos 7 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,98	Significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	1,00	Significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,13	Significativo estatisticamente
CREF-C30RMN	0,06	Significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,98	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,26	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,13	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,13	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,06	Significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente

Tabela B.21 – Comparação múltipla para resistência à tração por compressão aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF-C15RMN	0,71	Significativo estatisticamente
CREF-C20RMN	0,25	Significativo estatisticamente
CREF-C25RMN	0,02	Não significativo estatisticamente
CREF-C30RMN	0,01	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,88	Significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,11	Significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,07	Significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,39	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,29	Significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,99	Significativo estatisticamente

Tabela B.22 – Teste de Dunnett para resistência à tração aos 7 dias

<b>Amostra</b>	<b>P. valor</b>	<b>Condição</b>
CREF- C15RMN	0,96	Significativo estatisticamente
CREF- C20RMN	1,00	Significativo estatisticamente
CREF- C25RMN	0,07	Significativo estatisticamente
CREF- C30RMN	0,03	Não Significativo estatisticamente

Tabela B.23 – Agrupamentos para resistência à tração aos 7 dias e aos 28 dias

<b>Amostra</b>	<b>Grupos 7 dias</b>	<b>Grupos 28 dias</b>
CREF	A	A
C15RMN	AB	A
C20RMN	AB	A
C25RMN	B	A
C30RMN	B	A

- Comparação entre resistência à tração por compressão entre idades (7 x 28 dias)

Tabela B.24 – Teste T-Student para comparação entre idades

<b>Amostra</b>	<b>P valor</b>	<b>Parecer</b>
CREF	0,13	Significativo estatisticamente
C15RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C20RMN	0,38	Significativo estatisticamente
C25RMN	0,28	Significativo estatisticamente
C30RMN	0,60	Significativo estatisticamente

## 5) Resultados módulo de elasticidade

Tabela B.25 – Módulo de elasticidade individual

<b>Concreto</b>	<b>Módulo de elasticidade individual (GPa)</b>	<b>Média (GPa)</b>	<b>Desvio Padrão (GPa)</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
CREF	19,26	18,61	0,65	3,5
	17,73			
	18,84			
C15RMN	17,81	17,53	0,69	3,9
	16,58			
	18,20			
C20RMN	15,04	14,58	0,46	3,2
	13,95			
	14,76			
C25RMN	13,10	13,09	0,25	1,9
	13,40			
	12,79			
C30RMN	12,58	12,78	0,37	2,9
	13,30			
	12,47			

- Análise descritiva, teste de homocedasticidade pelo método de Levene

Tabela B.26 – Teste de homocedasticidade para o ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>G.L</b>	<b>P. valor</b>	<b>Amostra</b>
Módulo elasticidade aos 28 dias	4	0,87	Homogênea

- Análise estatística para o ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias

Tabela B.27 – Anova de uma via para o módulo de elasticidade aos 28 dias

	<b>G.L.</b>	<b>Soma de Quadrados</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Estat..F</b>	<b>P.valor</b>
Fator	4	82,87	20,72	52,96	0,00
Resíduos	10	3,93	0,39		

Tabela B.28 – Comparação múltipla para o módulo de elasticidade aos 28 dias

<b>Comparação</b>	<b>P. Valor</b>	<b>Parecer</b>
CREf-C15RMN	0,29	Significativo estatisticamente
CREf-C20RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREf-C25RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
CREf-C30RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C20RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C25RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C15RMN-C30RMN	0,00	Não significativo estatisticamente
C20RMN-C25RMN	0,09	Significativo estatisticamente
C20RMN-C30RMN	0,03	Não significativo estatisticamente
C25RMN-C30RMN	0,96	Significativo estatisticamente

Tabela B.29 – Agrupamentos para o módulo de elasticidade aos 28 dias

<b>Amostra</b>	<b>Grupos 28 dias</b>
CREf	A
C15RMN	A
C20RMN	B
C25RMN	BC
C30RMN	C