

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FLÁVIA OLIVEIRA DO NASCIMENTO  
ITALA VIVAS FONTES VALLE MACHADO**

**APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO COMO  
CONSTITUINTE DE ARGAMASSA POLIMÉRICA**

**VOLTA REDONDA**

**2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**TRABALO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO COMO  
CONSTITUINTE DE ARGAMASSA POLIMÉRICA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito á obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos:

Flávia Oliveira do Nascimento  
Itala Vivas Fontes Valle Machado

Orientador:

Prof. Me. Marcus Vinícius Faria de Araujo

**VOLTA REDONDA**

**2019**



Fundação Oswaldo Aranha



## FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO COMO CONSTITUINTE DE ARGAMASSA POLIMÉRICA.**

Elaborado por Flávia Oliveira do Nascimento – Matrícula: 201510397 e Ítala Vivas Fontes Valle Machado – Matrícula: 201510410, foi apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Aprovado em 29 de Outubro de 2019

Banca Avaliadora:

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:

.....  
Professor Orientador  
Prof. Me. Marcus Vinícius de Faria Araújo, UniFOA

.....  
Professor Avaliador  
Prof. Dr. André Fernão Martins de Andrade, IFRJ

.....  
Professor Avaliador  
Prof. Me. José Marcos Rodrigues Filho, UniFOA

Dedicamos este trabalho às nossas famílias.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus por nos iluminar nessa jornada. As nossas famílias por todo apoio e incentivo e por acreditar em nós quando mais precisamos. Aos amigos por todas as boas vibrações. Aos mestres por toda a ajuda e conhecimento. Em especial o responsável técnico do laboratório Arthur Bitencourt, por toda paciência e compreensão, a Engenheira Marina Jardim por toda a ajuda e a Defesa Civil de Brumadinho por agir de modo solícito.

## RESUMO

A extração dos minérios é realizada em diversas minas em todo país, sendo que a produção de ferro é a que mais se destaca. Após o processamento, desde a extração até a fabricação de produtos, é gerada uma lama de rejeitos de minério. Essa geralmente é armazenada em barragens. No dia 25 de janeiro de 2019, a barragem I da mina do Córrego do Feijão localizada no município de Brumadinho/MG se rompeu liberando aproximadamente 14 milhões de toneladas de lama de rejeitos. O método utilizado na barragem era o de alteamento a montante, comum por ser barato e simples, porém com baixo nível de segurança. O rompimento ocorreu devido a problemas na drenagem, o que ocasionou uma alta pressão da água e a liquefação dos diques de contenção. O objetivo do trabalho é utilizar a lama de rejeitos como constituinte de argamassa polimérica. Dessa forma, foi realizada uma visita ao município de Brumadinho/MG no dia 18 de maio de 2019 para a coleta de amostras, essas foram recolhidas no bairro Parque Cachoeira localizado aproximadamente a 9km da mina do Córrego do Feijão. Com o auxílio da Defesa Civil local foram coletados 30kg de rejeitos. Esses foram armazenados em recipientes vedados e transportados até o laboratório da instituição UniFOA. Foram produzidas argamassas poliméricas com três diferentes porcentagens de lama de rejeitos, sendo essas 40%, 50% e 70%. As argamassas elaboradas em laboratório passaram por testes e seus resultados foram comparados com uma argamassa convencional de cimento e areia com o traço 1:3. Com os resultados obtidos nos testes observou-se que as argamassas poliméricas com porcentagens de rejeitos de minério, possui uma resistência maior comparada a argamassa convencional.

**Palavras-chave:** Argamassa para alvenaria; Lama de rejeitos; Córrego do Feijão - Brumadinho/MG.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Problemática.....	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivo Geral.....	16
1.3.1 Objetivo específico.....	16
1.4 Hipótese.....	17
1.5 Estratégias da pesquisa.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Argamassas na Construção Civil.....	18
2.2 Argamassas Poliméricas.....	20
2.3 Impactos Ambientais.....	21
2.4 Normatizações.....	23
3. METODOLOGIA.....	26
3.1 Materiais e Métodos Empregados.....	26
3.1.1 Granulometria.....	29
3.1.2 pH.....	32
3.1.3 Teor de umidade.....	33
3.1.4 Densidade de massa.....	34
3.1.5 Índice de consistência.....	35
3.1.6 Resistência à tração na flexão.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Trabalho de Campo.....	38
4.2 Ensaio de Bancada.....	42
4.2.1 Granulometria.....	42
4.2.2 pH.....	43
4.2.3 Teor de umidade.....	44

4.2.4 Densidade de massa.....	45
4.2.5 Índice de consistência .....	46
4.2.6 Resistência à tração na flexão .....	49
5. CONCLUSÃO .....	53
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção de Ferro Brasil x Mundo.....	12
Figura 2: Antes e depois do rompimento da barragem .....	13
Figura 3: Parque Cachoeira .....	14
Figura 4: Parque Cachoeira .....	15
Figura 5: Argamassa polimérica aplicada na alvenaria .....	21
Figura 6: Objetivo das Normas Técnicas .....	23
Figura 7: Lama de rejeitos.....	27
Figura 8: Blend de resina. ....	27
Figura 9: Espessante. ....	27
Figura 10: Pó de mineral. ....	28
Figura 11: Água.....	28
Figura 12: Mistura areia e cimento. ....	29
Figura 13: Amostra de lama de rejeitos.....	30
Figura 14: Destorroamento com almofariz e mão de grau. ....	30
Figura 15: Conjunto de peneiras e agitador. ....	31
Figura 16: Solução no agitador. ....	32
Figura 17: pHmetro. ....	32
Figura 18: Cápsulas metálicas com material.....	33
Figura 19: Estufa. ....	34
Figura 20: Preparo da argamassa polimérica.....	35
Figura 21: Teste de índice de consistência. ....	36
Figura 22: Corpos de prova.....	37
Figura 23: Esquema utilizado no teste. ....	37
Figura 24: Reconhecimento do local de coleta.....	38
Figura 25: Entrada para a mina Córrego do Feijão .....	39
Figura 26: Coleta das amostras.....	40
Figura 27: Coleta das amostras .....	40
Figura 28: Amostra da lama de rejeitos.....	40
Figura 29: Máquinas usadas para a retirada da lama. ....	41
Figura 30: Máquinas removendo a lama. ....	41
Figura 31: pHmetro. ....	44
Figura 32: Argamassa polimérica antes dos 30 golpes.....	47
Figura 33: Argamassa polimérica após os 30 golpes.....	48
Figura 34: Argamassa convencional antes dos 30 golpes. ....	48
Figura 35: Argamassa convencional após os 30 golpes. ....	49
Figura 36: Argamassa 40%.....	50
Figura 37: Argamassa 50%.....	50
Figura 38: Argamassa de 40% com o tijolo rompido. ....	50
Figura 39: Argamassa de 50% com o tijolo rompido. ....	51
Figura 40: Argamassa 70%.....	51
Figura 41: Argamassa convencional. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Traços de Argamassa .....	19
Tabela 2: Comparativo entre argamassa convencional e polimérica .....	20
Tabela 3: Proporções de materiais da argamassa polimérica.....	26
Tabela 4: Peso das peneiras.....	31
Tabela 5: Resultado do teste de granulometria.....	42
Tabela 6: Classificação do solo segundo sua granulometria.....	42
Tabela 7: Resultado final.....	43
Tabela 8: Resultados da pesagem.....	44
Tabela 9: Resultados finais .....	45
Tabela 10: Densidade de massa.....	45
Tabela 11: Resultados índice de consistência .....	46
Tabela 12: Resultado da resistência à tração na flexão.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normas Técnicas sobre Argamassa.....	24
Quadro 2: Relação entre leveza e densidade .....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva Granulométrica.....	43
Gráfico 2: Índices de consistência.....	47

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade ainda muito presente no cenário econômico brasileiro, sendo responsável por quase 5% do PIB nacional. A extração dos minérios é realizada em diversas minas em todo país, sendo que a produção de ferro é a que mais se destaca. Em 2008 a produção superou 400 milhões de toneladas (Instituto Brasileiro de Mineração, 2010). Após sua extração, o ferro, juntamente com o carvão, dá origem ao aço utilizado no cotidiano e durante as etapas da fabricação são gerados os rejeitos de minérios. A figura 1 mostra a evolução de produção de ferro no Brasil e no mundo.



Figura 1: Produção de Ferro Brasil x Mundo

Fonte: IBRAM (2010)

Os rejeitos de minérios geralmente são armazenados na forma de barragens. No processamento do minério de ferro utiliza-se água no processo de separação de rejeito, o que gera a lama. A barragem I da Mina do Córrego do Feijão da Vale, em

Brumadinho – MG, é um modelo de barragem usando o alteamento à montante. Esse método consiste na construção de um dique para conter a lama de rejeitos e, de acordo com o aumento de volume do reservatório, são construídos novos degraus com o próprio rejeito. Esses ficam localizados no mesmo sentido do compartimento dos rejeitos. Essa técnica é a mais simples e mais barata, porém afeta a estabilidade da barragem comprometendo assim sua segurança.

No dia 25 de janeiro de 2019, o município de Brumadinho localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, sofreu com uma das maiores tragédias ambientais do Brasil. A barragem I da Mina Córrego do Feijão possuía uma altura de 86 metros, área de 249,5 mil m<sup>2</sup> e um volume de 12,7 milhões m<sup>3</sup>. Essa se rompeu devido a problemas na drenagem, um dos pontos mais importantes do sistema de funcionamento de uma barragem, o que ocasionou uma alta pressão da água e a liquefação dos diques de contenção. Dessa forma, foram liberadas 14 milhões de toneladas de rejeitos de minério de ferro que percorreram 9 km até alcançar o Rio Paraopeba. A figura 2 ilustra um antes e depois da região afetada pelo rompimento da barragem.



**Figura 2: Antes e depois do rompimento da barragem**

**Fonte: MapBiomias (2019)**

O rompimento da barragem trouxe danos irreparáveis para o meio ambiente. Segundo corpo de bombeiros local aproximadamente 125 hectares de floresta foram devastados, a água do Rio Paraopeba se tornou imprópria para o consumo, além disso, o solo afetado poderá sofrer alteração nas suas características tornando assim infértil.

No dia 18 de maio de 2019 foi feita uma visita à Brumadinho – Mg para coletar amostras da lama de rejeito de mineração gerada pelo rompimento da Barragem I do mina córrego do feijão. A lama de rejeito foi coletada no ponto chamado Parque Cachoeira (o local foi liberado pela Defesa Civil), localizado a 4,09km de distância da Barragem, com a finalidade de utilizar esse rejeito na produção de argamassa polimérica. As figuras 3 e 4 apresentam o ponto de coleta.



**Figura 3: Parque Cachoeira**



**Figura 4: Parque Cachoeira**

## **1.1 Problemática**

A problemática do presente trabalho baseia-se no fato ocorrido em Brumadinho – MG, a partir do rompimento da barragem e despejo de 12,7 milhões m<sup>3</sup> de rejeitos afetando mais de 3 mil quilômetros quadrados, depositando-se tanto no solo, como no leito do Rio Paraopeba, além de serem transportados pelo referido corpo de água para as outras regiões a jusante do acidente. Segundo a ONG SOS Mata Atlântica (2019), os rejeitos teriam alcançado a Hidrelétrica Retiro Baixo, ocasionando impactos sociais, econômicos e ambientais de grande importância e magnitude. Com base em tais fatos o problema motivador do presente trabalho consistiu em responder a seguinte pergunta: “Os rejeitos de mineração que vazaram poderiam ser aproveitados na Construção Civil e em especial, na composição de argamassas?”

## 1.2 Justificativa

A relevância do presente trabalho encontra-se na necessidade de recuperar a qualidade do solo e da água, da região de Brumadinho/MG, dada à degradação ocorrida e os danos provocados não apenas aos seres humanos, mas a todo o meio ambiente. Tal recuperação no caso proposto ao longo do presente trabalho reside no fato de se avaliar a viabilidade técnica de utilizar tais rejeitos para a fabricação de argamassas poliméricas para o uso na Construção Civil.

## 1.3 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica de uso dos rejeitos de mineração provenientes da barragem rompida em Brumadinho/MG, com vistas à utilização como constituinte de argamassa polimérica para assentamento de alvenaria.

### 1.3.1 Objetivo específico

O presente trabalho teve como objetivos específicos aqueles relacionados a seguir:

- Efetuar uma visita *in loco* para colher amostra dos rejeitos da barragem para fins de caracterização.
- Elaborar um estudo de bancada com a confecção de corpos de prova para verificação e testes de resistência mecânica dos mesmos, visando encontrar um percentual ideal de uso desses rejeitos na construção civil.
- Comparar os resultados obtidos com os resultados de uma amostra padrão (corpo de prova) para verificar o potencial uso da composição estudada.

## **1.4 Hipótese**

O presente trabalho teve como expectativa o aproveitamento dos rejeitos da mineradora Vale que provocou os danos ambientais no município de Brumadinho/MG, promovendo um estudo de viabilidade técnica sobre o uso de tal material na composição de argamassa polimérica para assentamento de alvenaria.

## **1.5 Estratégias da pesquisa**

O trabalho em tela é classificado quanto a sua natureza, como uma pesquisa aplicada, pois proporciona o uso de conhecimentos teóricos existentes para desenvolvimento de novas técnicas para aproveitamento de rejeito de mineração na Construção Civil. Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa experimental comparando os resultados do aproveitamento de rejeitos de mineração em argamassas poliméricas àqueles obtidos com argamassas convencionais. Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se uma abordagem quantitativa, de modo a avaliar percentuais de uso de rejeitos na composição de argamassas poliméricas para fins de assentamentos de alvenaria, verificando sua resistência mecânica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A argamassa convencional é utilizada em grande demanda na Construção Civil, desde o assentamento de pisos e tijolos até o acabamento. Entretanto, devido os danos ambientais causados por sua fabricação, novas composições estão sendo inseridas no mercado, dentre elas a argamassa polimérica. O trabalho tem como objetivo a utilização dos rejeitos de mineração na composição da argamassa polimérica, dessa forma, foi feita uma visita a cidade de Brumadinho para a coleta de amostras. Os tópicos abaixo apresentaram os assuntos abordados anteriormente de forma aprofundada.

### **2.1 Argamassas na Construção Civil**

De acordo com a NBR 13281 a argamassa pode ser definida como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerante inorgânico e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias.

Existem registros de que as primeiras argamassas eram feitas de cal e que essas teriam sido empregues em Jericó, na Palestina (MALINOWISKY, 1982 e 1991 apud MARGALHA, 2011). Sua aplicação como revestimento se deu na Grécia, e assim como na Palestina a argamassa era feita de cal. Com a inovação e a construção de obras grandiosas foi necessário que houvesse uma mudança em sua composição, dessa forma, adicionou-se a areia e a pozolana. Apesar dos avanços os gregos continuaram a utilizar os métodos onde as pedras eram apenas organizadas sem a utilização de ligantes, com isso, a argamassa não foi tão utilizada. Os romanos com o seu vasto império desenvolveram a argamassa como método construtivo, porém, com a sua história conturbada muito do seu conhecimento se perdeu e não se sabe ao certo qual a composição era utilizada. No Brasil a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século da colonização, na época, a cal utilizada era obtida por meio da queima de conchas e mariscos. Atualmente a argamassa é composta por areia, cimento e cal, podendo ainda ser

utilizado apenas um aglomerante (cimento ou cal), além disso, com o avanço da tecnologia novas fórmulas estão sendo criadas com o objetivo de melhorar tanto a questão econômica quanto a ambiental.

Petrucci (1998) afirma que as argamassas são muito empregadas nas construções no assentamento, nos trabalhos de acabamento, nos reparos de obras de concreto, entre outras aplicações. É importante lembrar que para as diferentes aplicações da argamassa existem mudanças em sua fórmula, sejam essas em seu traço ou a utilização de aditivos. Além disso, as argamassas podem ser classificadas de acordo com o emprego, tipos de aglomerante utilizado, número de elementos ativos, dosagem e a sua consistência. A tabela 1 apresenta um exemplo de como o traço sofre alteração dependendo da aplicação.

**Tabela 1: Traços de Argamassa**

TIPO DE ARGAMASSA		TRAÇOS EM VOLUME		
		Cimento	Cal	Areia
Revestimento de paredes interno e fachada		1	2	9 A 11
Assentamento de alvenaria estrutural	Alvenaria em contato com o solo	1	0 – 1/4	2,25 a 3,0 x (Volume de cimento + cal)
	Alvenaria sujeita a esforço de flexão	1	1/2	
	Uso geral, sem contato com o solo	1	1	
	Uso restrito interno/baixa resistência	1	2	

Fonte: Adaptado de Carasek, cap. 26 (2007).

## 2.2 Argamassas Poliméricas

Devido à necessidade de inovação são criados produtos cada vez mais econômicos, práticos e sustentáveis beneficiando cada vez mais o setor da Construção Civil. Um destes produtos é a Argamassa Polimérica, publicada pela primeira vez em uma revista Norte Americana na década de 80, apesar de sua fórmula química já existir na década de 70. Sendo introduzida no mercado brasileiro em 2011.

A Argamassa Polimérica tem o intuito de substituir a argamassa convencional no processo de colocação de alvenaria de vedação. Esse tipo de argamassa possui algumas vantagens comparadas ao método tradicional, um deles é a praticidade de aplicação, visto que o produto já vem comercializado pronto para uso, aumentando assim a produtividade e diminuindo os gastos com a mão de obra, além de contribuir no rendimento e economia e sustentabilidade. A tabela 2 apresenta um comparativo entre uma argamassa convencional industrializada e uma argamassa polimérica de determinada marca, foi levado em consideração 1m<sup>2</sup> de construção.

**Tabela 2: Comparativo entre argamassa convencional e polimérica**

	Argamassa convencional		Argamassa polimérica	
	Quantidade	Valor total	Quantidade	Valor total
Argamassa convencional	40.9 kg	R\$ 9,82	-	-
Argamassa polimérica	-	-	1.5 kg	R\$ 8,93
Perdas e desperdícios	8,2 kg	R\$ 1,96	0,0 kg	R\$ 0.09
Pedreiro	0,3 h	R\$ 5,72	0,1 h	R\$ 2,60
Auxiliar 1	0,3 h	R\$ 3,27	0,1 h	R\$ 1,48
Auxiliar 2	0,3 h	R\$ 3,27	-	-
Custo Total	R\$ 24,05		R\$ 13,10	
Tempo Total	0,3 h		0,1 h	
Custo total por m <sup>2</sup>	R\$ 24,05		R\$ 13,10	

Fonte: Adaptado de Raymundo, Parsekian e Raymundo (2017).

Os polímeros utilizados na composição química deste tipo de argamassa podem ser divididos entre: os que possuem afinidade com água e aqueles com aversão a água.

Os polímeros emulsionados em água mais empregados como aglomerantes na Construção Civil são as resinas acrílicas, PVA, vinílicas, SBR. As resinas de maior rendimento com aglomerantes, tais como epóxi e poliéster, não são normalmente empregados onde houver a presença de umidade a menos que tenham sido formuladas para algum emprego específico (RECENA, 2012).

A figura 5 apresenta uma argamassa polimérica aplicada em um bloco cerâmico.



**Figura 5: Argamassa polimérica aplicada na alvenaria**

### **2.3 Impactos Ambientais**

Com os avanços tecnológicos a exploração dos recursos naturais vem aumentando cada vez mais. Estima-se que entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  dos materiais extraídos da

natureza retornam como resíduo em um período de um ano (AGOPYAN e JOHN, 2011). A Construção Civil é uma das atividades que mais consome recursos e gera resíduos, sendo responsável por 25% dos resíduos da indústria no Brasil.

Na produção da argamassa são gerados resíduos sólidos e gases poluentes, isso ocorre devido à produção dos seus componentes: o cimento, a areia e a cal. Além disso, utiliza-se uma grande quantidade de água, o que muitas das vezes gera um desperdício. A indústria cimentícia durante a extração do cimento não gera uma quantidade significativa de resíduos sólidos, porém durante a produção do mesmo é liberado uma quantidade expressiva de gases poluentes, sendo esses o óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono. As cimenteiras são responsáveis por 5% da emissão global de dióxido de carbono (RUBENSTEIN, 2012).

A extração da areia pode ser feita tanto de encostas quanto dos leitos dos rios, a dragagem é a forma mais utilizada sendo também muito agressiva. De acordo com Luz e Almeida (2012), estima-se que 70% da extração ocorrem nos leitos dos rios e os 30% restantes em cavas secas e imersas. Com a extração da areia são causados impactos ambientais como aumento do processo erosivo do solo, redução da infiltração de água, aumento das partículas em suspensão no curso d'água e desajuste da vazão do rio.

A extração da rocha calcária pode ser feita a céu aberto ou em galeria, através da exploração de jazidas de calcário (COELHO et al., 2009). Após a remoção do calcário o mesmo sofre a calcinação, essa libera dióxido de carbono para o meio ambiente e tem como resultado a cal virgem. Apesar da emissão dos gases poluentes a produção da cal é menos agressiva do que a do cimento.

A argamassa convencional, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) é um material constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água. A produção da argamassa gera um grande desperdício e um alto índice de resíduos nas construções, pois a mesma além de utilizar uma quantidade de água considerável, possui um determinado período de utilização e após sua secagem se torna descartável. Levando em consideração a sustentabilidade é possível notar que a argamassa industrial é menos nociva ao meio ambiente do que a argamassa produzida na própria obra.

Um dos problemas relacionados aos resíduos gerados na construção é o descarte do mesmo, esse que na maioria das vezes ocorre de forma inadequada. É necessário que sua disposição seja feita por empresas licenciadas e em locais apropriados. A redução desses resíduos, além de contribuir para o meio ambiente auxilia na redução dos custos da obra.

## 2.4 Normatizações

As NBRs são normas criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essas são responsáveis por gerar uma padronização dentro da Construção Civil garantindo qualidade, segurança e eficiência para os produtos e serviços. A figura 7, apresenta quais são os objetivos das normas de acordo com a ABNT ISSO/IEC Guia 2:2006.



Figura 6: Objetivo das Normas Técnicas

Fonte: ABNT (2019)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas possui dois comitês relacionados ao tema deste trabalho o CB-02 Comitê Brasileiro de Construção Civil e o CB-18 Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, esses são responsáveis pela normatização da argamassa. As normas técnicas são usadas desde a produção da argamassa até a sua aplicação. O quadro 1 apresenta as principais normas técnicas sobre argamassas.

**Quadro 1: Normas Técnicas sobre Argamassa**

NBR	Nomeclatura
NBR 7200:1998	Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento
NBR 13528:2010	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência a tração
NBR 13529:2013	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia
NBR 13749:2013	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação
NBR 13276:2002	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
NBR 13277:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água – Método de ensaio
NBR 13278:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio
NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão - Método de ensaio
NBR 13280:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido - Método de ensaio
NBR 13281:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos

Além dessas normas citadas acima, em março de 2017 a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 16590 que se refere aos compostos poliméricos para assentamento de alvenaria de vedação.

### 3. METODOLOGIA

A abordagem metodológica teve por início o planejamento de uma visita *in loco* em Brumadinho/MG para coleta dos rejeitos que estão depositados na região rural da cidade. As amostras serão analisadas em bancadas de laboratório utilizando as normas técnicas para a sua caracterização e pertinentes à produção de argamassa. Na produção das argamassas poliméricas utilizou-se 3 percentuais de concentração de rejeitos diferentes (40%, 50% e 70%). Os corpos de prova com as porcentagens serão submetidos a testes. Confeccionou-se corpos de prova de argamassa convencional para efeito comparativo. Ao final do trabalho foram discutidos os resultados e apresentadas as conclusões, assim como as expectativas de trabalhos futuros nesse mesmo tema.

#### 3.1 Materiais e Métodos Empregados

No preparo da argamassa polimérica utilizou-se a lama de rejeitos de minério (figura 7), *blend* de resina (figura 8), espessante (figura 9), pó de mineral (figura 10) e água (figura 11). As quantidades de lama e de pó mineral variaram de acordo com a porcentagem adotada. Para a fabricação de 3kg de argamassa foram utilizadas as proporções apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Proporções de materiais da argamassa polimérica

Materiais	Porcentagem de lama de rejeitos		
	40%	50%	70%
Lama de rejeito	1200g	1500g	2100g
Pó de mineral	1800g	1500g	900g
Blend de resina	800g	800g	800g
Espessante	20mL	20mL	20mL
Água	450mL	450mL	450mL



**Figura 7: Lama de rejeitos.**



**Figura 8: Blend de resina.**



**Figura 9: Espessante.**



**Figura 10: Pó de mineral.**



**Figura 11: Água.**

Para a produção de argamassa convencional foi determinado o traço 1:3, sendo 1 de cimento, 3 de areia e 550ml de água. Foram confeccionados corpos de prova, para que o resultado dos mesmos fosse comparado com a argamassa polimérica. A figura 12 apresenta o processo de fabricação da argamassa convencional.



**Figura 12: Mistura areia e cimento.**

As amostras de lama coletadas em Brumadinho/MG foram submetidas a testes para a sua caracterização, sendo esses: granulometria, pH e teor de umidade.

### **3.1.1 Granulometria**

Esse teste é responsável pela definição do tamanho das partículas da lama de rejeitos. A amostra foi preparada de acordo com a NBR 7181 (Solo – Análise granulométrica), sendo essa seca em estufa por 24 horas. Após a secagem, 500g (figura 13) do material passou pelo processo de destorroamento (figura 14) e, em seguida, depositado nas peneiras (2mm; 0,825mm; 0,600m; 0,425mm; 0,300mm; 0,150mm; 0,075mm; fundo); essas são colocadas no agitador (figura 15) por 10 minutos.



**Figura 13: Amostra de lama de rejeitos.**



**Figura 14: Destorroamento com almofariz e mão de grau.**



**Figura 15: Conjunto de peneiras e agitador.**

Ao final do processo as peneiras e o fundo são pesados. A tabela 4 apresenta os pesos das peneiras vazias e com material.

**Tabela 4: Peso das peneiras.**

<b>PENEIRAS (mm)</b>	<b>PESO VAZIO (g)</b>	<b>APÓS O AGITADOR (g)</b>
<b>2,0</b>	442	532
<b>0,825</b>	388	590
<b>0,600</b>	406	520
<b>0,425</b>	362	422
<b>0,300</b>	348	362
<b>0,150</b>	342	356
<b>0,075</b>	314	322
<b>Fundo</b>	342	344

### 3.1.2 pH

Utilizando a NBR 7353 (Solução aquosa – Determinação do pH com eletrodos de vidro) como base, foram realizados os seguintes passos para a obtenção do pH da solução. O pHmetro foi calibrado e limpo com água destilada; a solução composta por 200 ml de água destilada e 40g de lama de rejeitos foi colocada no agitador (figura 16) até sua homogeneização; em seguida a mesma foi levada até o pHmetro (figura 17).



Figura 16: Solução no agitador.



Figura 17: pHmetro.

### 3.1.3 Teor de umidade

O ensaio de teor de umidade é responsável por determinar a porcentagem de água presente na amostra da lama de rejeitos de minério. O teste foi realizado com base na NBR 6457 (Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização). Para a execução é necessário pesar as cápsulas metálicas (figura 18) secas e limpas (P), em seguida colocar a amostra no recipiente metálico e pesar novamente (Pu) e logo após colocar os recipientes contendo a amostra na estufa (figura 19) por 24 horas. Ao retirar as amostras da estufa, pesar o conjunto (Ps). Para obter a porcentagem do teor de umidade, utiliza-se a equação 1:

$$h = \frac{Pu - Ps}{Ps - P} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h – Teor de umidade, em %

Pu – Massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g

P – Massa do recipiente (cápsula metálica com tampa), em g

Ps – Massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g

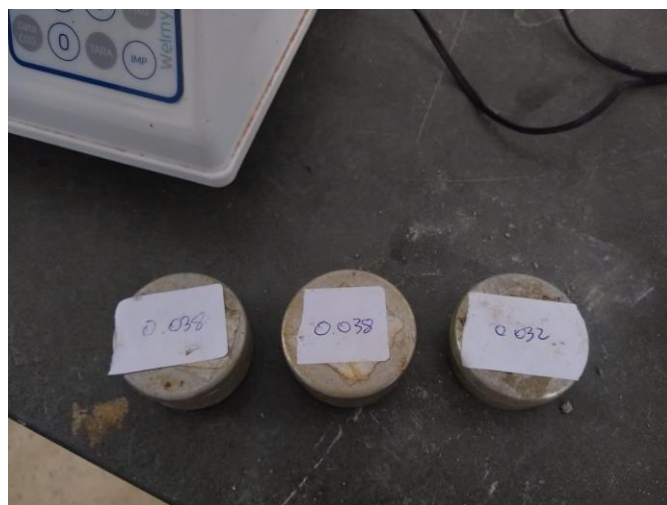


Figura 18: Cápsulas metálicas com material.



**Figura 19: Estufa.**

Os testes realizados para a argamassa polimérica são densidade de massa; índice de consistência e resistência a tração na flexão, sendo os dois últimos comparados com os resultados de uma argamassa convencional.

### **3.1.4 Densidade de massa**

A densidade de uma argamassa está relacionada à sua trabalhabilidade ao longo do tempo, quanto mais leve, melhor. O teste foi realizado de acordo com a NBR 13278 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado) para as 3 diferentes porcentagens adotadas. Os recipientes secos e limpos foram pesados (Ps), colocou-se 100 cm<sup>3</sup> (V) de argamassa pesando-os novamente (Pa). Após a obtenção dos pesos, utilizou-se a equação 2:

$$D = \frac{Pa - Ps}{V} \quad (2)$$

Onde:

D – Densidade de massa, em g/cm<sup>3</sup>

Pa – Massa do recipiente contendo a argamassa, em g

Ps – Massa do recipiente vazio, em g

V – Volume utilizado, em cm<sup>3</sup>.

### 3.1.5 Índice de consistência

A determinação do índice de consistência foi realizado de acordo com a NBR 13276 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência), dessa forma foram produzidas argamassas frescas com diferentes porcentagens de rejeito e argamassa convencional com traço 1:3, sendo que essa ficou em descanso por um período de 15 minutos antes da realização do teste. A figura 20 mostra o preparo da argamassa polimérica.



Figura 20: Preparo da argamassa polimérica.

Em seguida ao preparo, as argamassas foram colocadas no molde cônico centralizado na *flowtable*, sendo o mesmo preenchido com três camadas, sendo aplicado 15, 10 e 5 golpes respectivamente. Após o processo de moldagem, retirou-se o cone e durante 30 s bater a *flowtable* por 30 vezes, medindo assim o quanto o diâmetro de argamassa abriu. O teste foi feito três vezes para cada amostra. A figura 21 apresenta o teste de índice de consistência.



Figura 21: Teste de índice de consistência.

### 3.1.6 Resistência à tração na flexão

O teste de resistência à tração na flexão foi realizado com base na NBR 13279 (Argamassa para assentamento e revestimento de tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão) e devido às condições algumas adaptações foram feitas. Com as argamassas foram produzidos corpos de prova utilizando blocos cerâmicos (figura 22), esses foram colocados sobre apoios. Foram colocados sobre o bloco cerâmico suportes e apoiada nos mesmos uma placa de madeira onde os pesos eram colocados. A figura 23 apresenta o esquema utilizado para a realização do teste.



**Figura 22: Corpos de prova.**



**Figura 23: Esquema utilizado no teste.**

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em laboratório e suas discussões, além de abordar a visita *in loco* na cidade de Brumadinho/MG realizada no dia 18 de maio de 2019.

### 4.1 Trabalho de Campo

Quatro meses após o rompimento da Barragem I da mina Córrego do Feijão foi realizada uma visita na cidade de Brumadinho/MG com intuito de coletar amostras da lama de rejeitos diretamente do local do rompimento, contudo não foi possível o acesso a barragem, pois o mesmo estava interditado. Sendo assim, foi feito contato com a Defesa Civil e essa liberou e fez um acompanhamento até um ponto de coleta localizado no Bairro Parque Cachoeira. A figura 24 apresenta o reconhecimento do local de coleta, e a figura 25 indica a entrada para a mina Córrego do Feijão.



Figura 24: Reconhecimento do local de coleta.



**Figura 25: Entrada para a mina Córrego do Feijão**

Após o reconhecimento do local notou-se a existência de vegetação na lama e essa estava mais rígida, além disso, foi observado que lama apresentava um aspecto oleoso, sendo essa composta basicamente por minério de ferro, aminas e sílica. Foi coletado o equivalente a 30kg de lama e essa foi armazenada em recipientes fechados para que não houvesse contaminação. Estima-se que acima do solo original exista mais de 2 metros de lama. As figuras 26, 27 e 28 apresentam como foi feita a coleta de amostras.



**Figura 26: Coleta das amostras**



**Figura 27: Coleta das amostras**



**Figura 28: Amostra da lama de rejeitos.**

O município de Brumadinho ainda sofre com o rompimento da barragem, a parte mais afetada foi a área rural a cidade vem tentando se reestruturar visto que ainda é possível ver um fluxo intenso de máquinas trafegando pela cidade. Em algumas áreas é possível ver um amontoado de lama sendo removida.



**Figura 29: Máquinas usadas para a retirada da lama.**



**Figura 30: Máquinas removendo a lama.**

## 4.2 Ensaio de Bancada

Foram realizados alguns testes em laboratório que serão detalhados nos itens a seguir.

### 4.2.1 Granulometria

Os dados obtidos durante o teste de granulometria foram organizados na tabela 5.

**Tabela 5: Resultado do teste de granulometria.**

Peneiras(mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Massa retida acumulada	%passada
2,0	90	18	18	82
0,825	201	40,2	58,2	41,8
0,6	113	22,6	80,8	19,2
0,425	60	12	92,8	7,2
0,3	13	2,6	95,4	4,6
0,15	13	2,6	98	2
0,075	8	1,6	99,6	0,4
Fundo	2	0,4	100	0

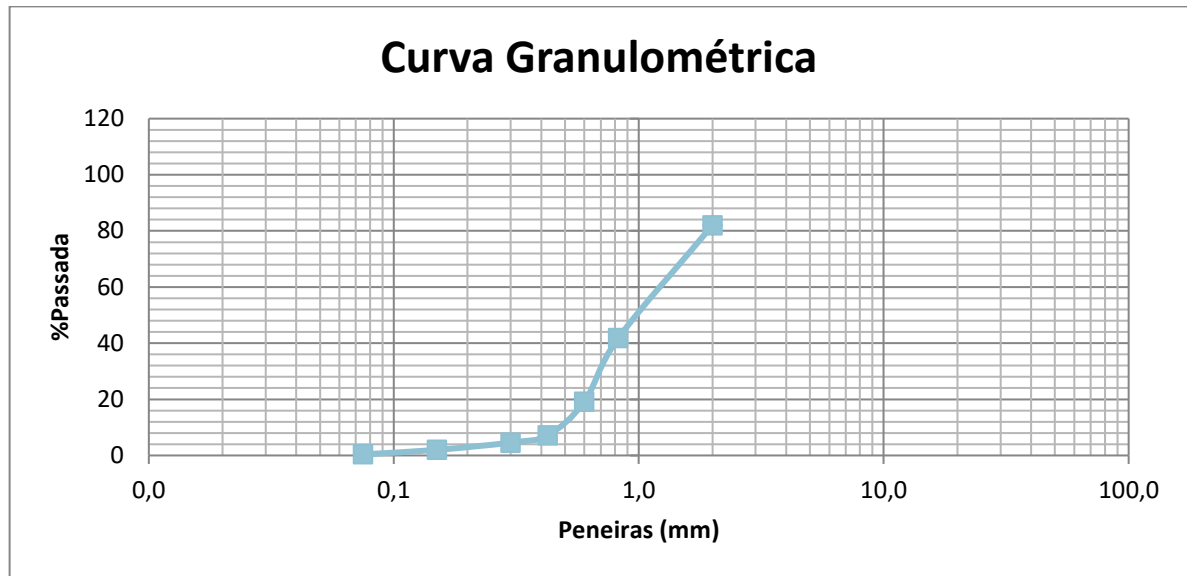
De acordo com a NBR 6502 (Rochas e solos) o solo pode ser classificado com base no diâmetro de suas partículas, como mostra a tabela 6.

**Tabela 6: Classificação do solo segundo sua granulometria. Fonte: NBR 6502**

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro da partícula</b>
Pedregulho	2,0 mm a 60 mm
Areia	0,06 mm a 2,0 mm
Silte	0,002 mm a 0,06 mm
Argila	menor que 0,002 mm

Fonte: NBR 6502

Com os resultados foi possível construir uma curva granulométrica representada no gráfico 1.



**Gráfico 1: Curva Granulométrica.**

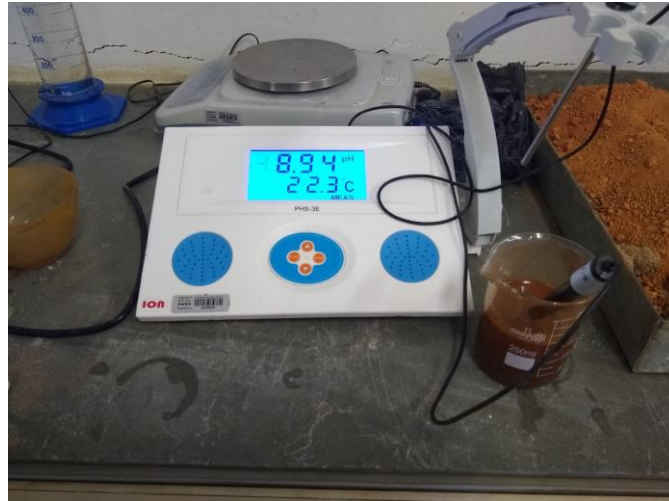
Utilizando a NBR 6502 e a curva granulométrica, observou-se que a lama de rejeitos de minério é constituída principalmente por areia, sendo observado na tabela 7.

**Tabela 7: Resultado final.**

<b>Pedregulho</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
18%	81,6%	0,4%	0

#### 4.2.2 pH

A solução aquosa composta por água destilada e a lama de rejeitos apresentou um pH de 8,94 e uma temperatura de 22,3 °C. A grande concentração de metais provavelmente é a responsável por esse pH básico. A figura apresenta os resultados obtidos com o pHmetro.



**Figura 31: pHmetro.**

#### 4.2.3 Teor de umidade

O teor de umidade é necessário para a correção do peso e da quantidade de água utilizada na dosagem. Nas três amostras coletadas foram observados os resultados presentes na tabela 8.

**Tabela 8: Resultados da pesagem.**

<b>Amostras</b>	<b>Peso da cápsula (g)</b>	<b>Peso úmido (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>
<b>A</b>	10	38	34
<b>B</b>	10	38	36
<b>C</b>	10	32	28

Substituindo os dados da tabela na equação 1 foram obtidos os valores de teor de umidade de cada amostra e o valor médio entre elas. A tabela 9 apresenta os resultados finais do teste.

Tabela 9: Resultados finais.

<b>Amostras</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>	<b>Média(%)</b>
<b>A</b>	16,7	15,5
<b>B</b>	7,7	
<b>C</b>	22,2	

#### 4.2.4 Densidade de massa

Com a substituição dos pesos na equação 2, foram observados os resultados apresentados na tabela 10 para o teste de obtenção da densidade.

Tabela 10: Densidade de massa.

<b>Argamassa polimérica</b>	<b>Peso do recipiente (g)</b>	<b>Peso do recipiente + argamassa</b>	<b>Volume do recipiente (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>40%</b>	134	328	100	1,94
<b>50%</b>	130	314	100	1,84
<b>70%</b>	130	316	100	1,86

Segundo Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas como leve, normal e pesada de acordo com o valor da sua densidade de massa. A tabela 11 apresenta a relação entre leveza e densidade.

**Quadro 2: Relação entre leveza e densidade**

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm <sup>3</sup> )	Usos
Leve	< 1,40	Isolamento térmico e acústico
Normal	2,30 ≤ A ≤ 1,40	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2008)

De acordo com os resultados obtidos e a relação de Carasek, concluiu-se que as argamassas com porcentagens de rejeitos de minério são classificadas como normal, sendo utilizadas em aplicações convencionais.

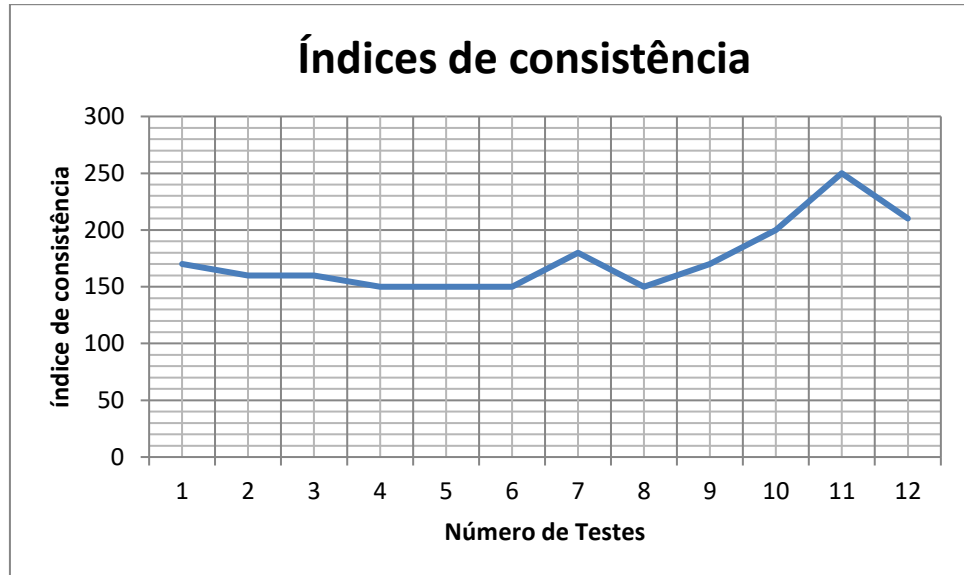
#### 4.2.5 Índice de consistência

No teste de índice de consistência foi possível observar que as argamassas poliméricas apresentam um índice inferior ao da argamassa convencional, sendo isso relacionado ao tempo de pega, quanto menor o índice de consistência mais rápido a argamassa atinge sua resistência final. A tabela 12 apresenta os resultados obtidos após os testes.

**Tabela 11: Resultados índice de consistência.**

Argamassas	Índice de consistência (mm)	Média (mm)
<b>40%</b>	170	160
	160	
	160	
<b>50%</b>	150	150
	150	
	150	
<b>70%</b>	180	170
	150	
	170	
<b>Convencional</b>	200	220
	250	
	210	

O gráfico 2 mostra a comparação entre a argamassa polimérica e a argamassa convencional, observou-se que a polimérica se manteve dentro de uma mesma faixa e a convencional atingiu uma faixa mais elevada.



**Gráfico 2: Índices de consistência.**

De acordo com a relação índice de consistência e tempo de pega, observou-se que a argamassa polimérica com porcentagem de rejeitos de minério (figura 32) possui um índice menor e uma secagem de 72 horas, já a argamassa convencional necessita de 28 dias para alcançar sua resistência final e possui um índice maior. A figura 33 apresenta a argamassa polimérica após os 30 golpes.



**Figura 32: Argamassa polimérica antes dos 30 golpes.**



**Figura 33: Argamassa polimérica após os 30 golpes.**

Observou-se que após os 30 golpes houve uma variação significativa na altura da argamassa convencional (figura 34), onde as amostras reduziram em média 4 cm, enquanto a argamassa polimérica não teve uma variação considerável em sua altura. A figura 35 apresenta a argamassa convencional após os 30 golpes.



**Figura 34: Argamassa convencional antes dos 30 golpes.**

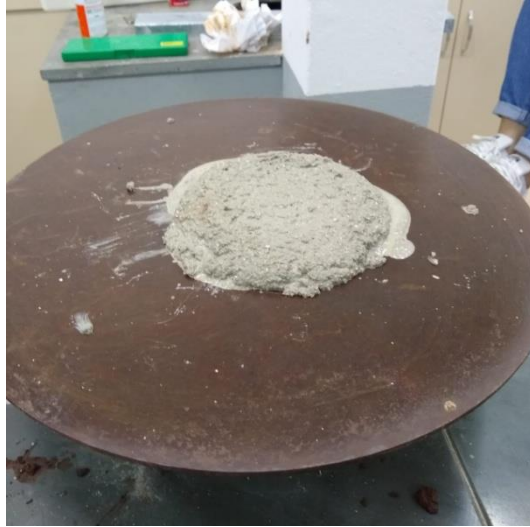


Figura 35: Argamassa convencional após os 30 golpes.

#### 4.2.6 Resistência à tração na flexão

No teste de resistência à tração na flexão foi avaliada a força que as argamassas suportariam antes de romper, fazendo um comparativo entre a argamassa polimérica com adição de rejeitos de minério e argamassa convencional. A tabela 13 apresenta os dados obtidos no teste.

Tabela 12: Resultado da resistência à tração na flexão.

Argamassas	Pesos (Kg)	Força (KN)
40%	70	0,7
50%	93	0,9
70%	60	0,6
Convencional	16	0,16

É importante ressaltar que nos testes para a argamassa de 40% (figura 36) e 50% (figura 37) o rompimento ocorreu nos blocos cerâmicos, dessa forma, é possível estimar que ambas as argamassas aguentariam uma força superior a que foi aplicada. As figuras 38 e 39 apresentam os blocos cerâmicos rompidos.



**Figura 36: Argamassa 40%.**



**Figura 37: Argamassa 50%.**



**Figura 38: Argamassa de 40% com o tijolo rompido.**



**Figura 39: Argamassa de 50% com o tijolo rompido.**

As figuras 40 e 41 mostram as argamassas de 70% e a convencional no momento do rompimento.



**Figura 40: Argamassa 70%.**



**Figura 41: Argamassa convencional.**

## 5. CONCLUSÃO

A partir dos experimentos e resultados obtidos conclui-se que os rejeitos de mineração pesquisados podem ser utilizados na Construção Civil, especificamente na composição de argamassa polimérica para alvenaria de vedação, podendo chegar a um percentual de até 70% com resistência superior a argamassa convencional. Tal utilização pode contribuir significativamente tanto para a recuperação da área degradada pelo rompimento da barragem I da mina do Córrego do Feijão como também para a redução de volumes de rejeitos de mineração que atualmente encontram-se armazenados em outras barragens. Como limitações do presente trabalho entende-se que a amostragem de rejeitos realizada foi feita em um único ponto na região afetada, porém é provável que outros pontos apresentem composição química diferente podendo levar a outros resultados.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tem-se a expectativa de desenvolver futuros trabalhos visando novos testes e fazendo as análises químicas e as correções necessárias, além de realizar ensaios em rejeitos depositados em outras regiões daquele município e em locais onde não ocorreu acidente de modo a contribuir para um meio ambiente mais equilibrado, economicamente viável e socialmente justo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M.; GOLDEMBERG, José, coordenador. **O desafio da sustentabilidade na construção civil: volume 5**. São Paulo: Blucher, 2011.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimento de argamassa**. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**. 2005.

\_\_\_\_\_;**NBR 16590 - Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação**. 2017.

\_\_\_\_\_;**Objetivo das normas técnicas**. Disponível em:

<<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/objetivos>> Acesso: 25 jun. 2019.

\_\_\_\_\_;**NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**.2018.

\_\_\_\_\_;**NBR 7353: Solução aquosa – Determinação do pH com eletrodo de vidro**. 2014.

\_\_\_\_\_;**NBR 6457: Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**.2016.

\_\_\_\_\_;**NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**.2005.

\_\_\_\_\_;**NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**.2016.

\_\_\_\_\_;**NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**.2005.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Arte Interativa, 2007. Cap. 26, p. 863-904.

CARNEIRO, Gustavo Severino Guimarães et al. **Estudo de causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana-MG**. 2018. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. 2018.

COELHO, Ana Zulmira Gomes; TORRAL F. Pacheco; JALALI, Said. **A cal na construção**. Portugal: Publidisa, 2009.

DA LUZ, Adão Benvindo; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; SAMPAIO, João Alves. **Tratamento de Minérios** – 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2010.

\_\_\_\_\_; DE ALMEIDA, Salvador Luiz Matos. **Operações de Lavra de Areia**. Manual de Agregados para Construção Civil, 2ª Edição – CETEM. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2052/1/Cap%2010%20Op.%20de%20Lavras.pdf>> Acesso em: 24 jun. 2019.

DE FREITAS MUNIZ, Daphne Heloisa; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente**. 2008. Universitas: Ciências da saúde, v. 4, n. 1, p. 83-100, 2008.

ECYCLE. **Como ocorre o processo de produção do cimento e quais são seus impactos ambientais**. Disponível em:

<<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1569-processo-de-producao-do-cimento-gera-emissoes-e-pode-diminuir-biodiversidade.html>> Acesso: 24 jun. 2019.

GREEN DOMUS. A Construção Civil e seu impacto no meio ambiente. Disponível em: <<https://greendomus.com.br/a-construcao-civil-e-seu-impacto-no-meio-ambiente/>> Acesso: 25 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Produção de ferro**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000039.pdf>>. Acesso: 26 mar. 2019.

JORNAL HOJE. **Edição do dia 6 de fevereiro de 2019**. 2019. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/7359622/>>. Acesso: 26 mar. 2019.

MACHADO, Mayare de Souza Moura Maciel. **Blocos para construção civil feitos com rejeitos depositados na Barragem de Candonga**. 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.

MAPA DA OBRA. **Ecoeficiência mede impacto ambiental de produtos e serviços**. 2016. Disponível em:

<<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/eficiencia-mede-impacto-ambiental-de-produtos-e-servicos/>> Acesso: 24 jun. 2019.

MARGALHA, Maria Goreti. **Argamassas**. Universidade de Évora: Engenharia Civil. 2011. Disponível em:

<<http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>> Acesso: 25 jun. 2019.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. **Lama da barragem de Brumadinho já matou mais da metade do Rio Paraopeba**. 2019. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/02/lama-barragem-brumadinho-minas-gerais-vale-mineracao-paraopeba-poluicao>>. Acesso: 19 mar. 2019.

NOGUEIRA, Geovane Rangel Ferreira. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Materiais de Construção** – 11 ed. São Paulo: Globo, 1998.

RAYMUNDO, Carolina A.; PARSEKIAN, Guilherme Aris; RAYMUNDO, Henrique.

**Utilização da argamassa polimérica com junta fina em alvenarias.** 2017.  
TECSIC 2017.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo a argamassa** [recurso eletrônico]  
- 2 ed. Porto Alegre. EDIPUCRS, 2012.

REDE MAPBIOMAS. **Mudança de cobertura e uso.** Disponível em:

< <http://mapbiomas.org/>> Acesso: 13 nov. 2019.

RUBENSTEIN, Madeleine. **Emissions from the Cement Industry** (Emissões da indústria do cimento). 2012. *Earth Institute, Columbia University*. Disponível em:  
<<https://blogs.ei.columbia.edu/2012/05/09/emissions-from-the-cement-industry/>>  
Acesso: 25 jun. 2019.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** Cortez editora, 2017.

VALE. **Esclarecimento sobre a Barragem I da Mina de Córrego do Feijão.** 2019.  
Disponível em:

<<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Esclarecimentos-sobre-a-barragem-I-da-Mina-de-Corrego-do-feijao.aspx>>. Acesso: 19 mar. 2019.