

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**GIOVANNA HELENA AQUINO DE BARROS**

**UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITO DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ-MG**  
**COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE TELHAS DE CONCRETO**

**Varginha**

**2020**

**GIOVANNA HELENA AQUINO DE BARROS**

**UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITO DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ-MG  
COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE TELHAS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção de grau bacharel sob orientação do Prof. MSc. Ivan Francklin Junior.

**Varginha  
2020**

**GIOVANNA HELENA AQUINO DE BARROS**

**UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITO DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ-MG  
COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE TELHAS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção de grau bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. MSc. Ivan Francklin Junior

---

Membro da banca examinadora I

---

Membro da banca examinadora II

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais Cleber e Roseane por todo o encorajamento e incentivo aos estudos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora da Saúde por terem me concedido força e saúde para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Cleber Ribeiro Luz de Barros e Roseane Aparecida de Aquino Barros por acreditarem e me apoiarem na realização de um sonho e por terem me proporcionado o estudo durante esses anos.

A minha avó Maria Inês e ao meu padrinho Luiz Henrique por rezarem e me incentivarem todos esses anos.

Ao meu tio, Leandro (em memória), Geólogo, que desde o início da minha graduação me incentivou ao estudo e não mediu esforços para me ajudar no decorrer desses anos.

Aos meus amigos, companheiros dessa jornada nada fácil de cinco anos, pelo companheirismo nos estudos e trabalhos realizados nas madrugadas, pelo apoio e cada palavra amiga de conforto e pelos momentos divertidos vividos na graduação.

Ao meu parceiro de estudo, Eduardo, por toda a ajuda prestada para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Rodrigo Sebastião de Aguiar e a Mineração Ropedras pelas informações e materiais disponibilizados para a realização deste estudo.

Ao meu orientador, Ivan Francklin Junior, que não mediu esforços para me auxiliar na realização deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

“Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

(Josué 1:9)

## RESUMO

O município de Guapé-MG faz parte de um dos centros produtores de quartzito na região sul e sudoeste do estado de Minas Gerais. O quartzito é extraído em forma de placas e muito utilizado na construção civil como revestimento, porém, no seu processo de extração e corte há uma produção grande de resíduos que acaba sendo descartado em lugares inadequados. Este tipo de resíduo inserido na produção de concreto pode gerar inúmeros benefícios, desde ao meio ambiente até o produto final em pesquisa, uma vez que o transporte dos resíduos da pedreira até um local de descarte torna-se inviável, assim, utilizando-o como agregado, pode-se traçar um novo rumo para o rejeito de quartzito, gerar novos empregos e fabricar um produto sustentável e de baixo custo. O objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade da utilização dos rejeitos de quartzito como agregado na produção de telhas de concreto a partir de um estudo das propriedades físicas e mecânicas das mesmas. O trabalho compõe-se de uma revisão bibliográfica dando ênfase em telhas de concreto e nos rejeitos de quartzitos, uma descrição do local de onde foi tirado este rejeito e amostragem do mesmo, a caracterização dos materiais, produção das telhas e por fim, os ensaios normativos executados com as telhas de concreto os quais obtiveram tanto resultados satisfatórios quanto insatisfatórios. Todas as telhas atenderam o requisito normativo de carga a ruptura à flexão, porém sua absorção de água excederam o limite estabelecido por norma.

**Palavras-chave:** Rejeitos de quartzito. Agregado. Telhas de concreto.

## **ABSTRACT**

*The municipality of Guapé-MG is part of one of the quartzite producing centers in the south and southwest of the state of Minas Gerais. Quartzite is extracted in the form of plates and widely used in civil construction as a coating, however, in its extraction and cutting process there is a large production of waste that ends up being discarded in inappropriate places. This type of waste inserted in the production of concrete can generate numerous benefits, from the environment to the final product under research, since the transport of waste from the quarry to a disposal site becomes impracticable, thus, using it as aggregate, a new direction can be drawn for quartzite waste, generate new jobs and manufacture a sustainable and low-cost product. The objective of this work is to verify the possibility of using quartzite tailings as an aggregate in the production of concrete tiles from a study of their physical and mechanical properties. The work consists of a bibliographic review emphasizing concrete tiles and quartzite tailings, a description of the place where this tailing was taken and sampling, the characterization of the materials, production of the tiles and finally, the tests normative executed with concrete tiles which obtained both satisfactory and unsatisfactory results. All the tiles met the normative load requirement when flexing rupture, but their water absorption exceeded the limit established by the norm.*

**Keywords:** *Quartzite tailings. Aggregate. Concrete tiles.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – (a) dimensões das telhas de concreto (b) características das telhas de concreto.....	14
Figura 02 – Processo de produção das telhas de concreto.....	15
Figura 03 – Ensaio de empenamento.....	16
Figura 04 – (a) telha submersa na caixa submetida ao ensaio de impermeabilidade (b) telha inspecionada após 24 horas.....	18
Figura 05 – Ensaio de ruptura à flexão.....	19
Figura 06 – Centro produtor de quartzito de Alpinópolis-MG.....	22
Figura 07 – Peças de quartzito após o deslocamento.....	23
Figura 08 – Fluxograma do processo de extração de quartzito.....	23
Figura 09 – Deposição dos rejeitos de mineração de quartzito em Alpinópolis-MG.....	24
Figura 10 – (a) município de Guapé localizado no Estado de Minas Gerais (b) município de Guapé.....	27
Figura 11 – Jazidas de quartzito da Mineração Guapedras.....	28
Figura 12 – (a) rebarbas (b) pó de serra.....	28
Figura 13 – Série de peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	29
Figura 14 – Ensaio de massa específica do agregado miúdo.....	30
Figura 15 – Ensaio de massa específica do cimento.....	31
Figura 16 – Ensaio de massa específica do rejeito de quartzito.....	32
Figura 17 – (a) representação da telhas retangular e (b) molde utilizado para a produção das placas.....	33
Figura 18 – (a) placas retangulares moldadas e (b) mesa adensadora utilizada.....	34
Figura 19 – Ilustração do ensaio de ruptura à flexão.....	36
Figura 20 – Telhas moldadas.....	39
Figura 21 – Telhas após o desmolde.....	40
Figura 22 – Telhas em cura.....	40
Figura 23 – Ensaio de ruptura à flexão.....	42
Figura 24 – Telhas após o ensaio executado.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valores das propriedades das telhas de concreto estabelecidos por norma.....	16
Tabela 02 – Absorção de água das telhas de concreto.....	17
Tabela 03 – Determinação de manchas, vazamentos e gotejamentos para as amostras.....	19
Tabela 04 – Resultados da resistência à flexão dos corpos-de-prova.....	20
Tabela 05 – Concreto para pré-moldados com rejeito de quartzito como agregado.....	25
Tabela 06 – Argamassa com rejeito de quartzito como agregado – Resultados de ensaio de ruptura com diferentes diâmetros do agregado.....	26
Tabela 07 – Resumo da produção das telhas.....	34
Tabela 08 – Classe do perfil em função da profundidade da telha e da carga de ruptura à flexão.....	36
Tabela 09 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	37
Tabela 10 – Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo.....	37
Tabela 11 – Módulo de finura do agregado miúdo.....	38
Tabela 12 – Massa específicas dos materiais.....	39
Tabela 13 – Quantidade de materiais para a confecção das telhas.....	39
Tabela 14 – Absorção de água nas telhas.....	41
Tabela 15 – Peso seco das telhas de concreto.....	42
Tabela 16 – Resultado do ensaio de ruptura à flexão.....	43
Tabela 17 – Comparativo entre telhas de concreto.....	44

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
<b>3.JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
4.1 Telhas de concreto .....	14
4.1.1 Propriedades desejáveis das telhas de concreto.....	15
4.1.1.1 Empenamento .....	16
4.1.1.2 Absorção de água.....	17
4.1.1.3 Impermeabilidade .....	18
4.1.1.4 Ruptura à flexão.....	19
4.1.2 Utilização de materiais alternativos para a produção de telhas de concreto .....	20
4.2 Quartzito .....	21
4.2.1 Processo de produção .....	22
4.2.2 Resíduo de quartzito .....	23
4.2.3 Uso como agregado na construção civil .....	24
<b>5.MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
5.1 Descrição do local e rejeito em análise .....	27
5.2 Caracterização física dos materiais.....	29
5.2.1 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo.....	29
5.2.2 Determinação da massa específica dos materiais .....	30
5.2.2.1 Massa específica do agregado miúdo .....	30
5.2.2.2 Massa específica do cimento .....	31
5.2.2.3 Massa específica do rejeito de quartzito.....	32
5.3 Produção das telhas .....	33
5.4 Absorção de água e peso seco .....	35
5.5 Carga de ruptura à flexão.....	35
<b>6.RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
6.1 Composição granulométrica do agregado miúdo .....	37
6.2 Massa específica dos materiais.....	39
6.3 Produção das telhas .....	39
6.4 Absorção de água e peso seco .....	41
6.5 Carga de ruptura à flexão.....	42
6.6 Comparativos com estudos similares .....	44
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>46</b>
REFERÊNCIAS .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

O Sudoeste do Estado de Minas Gerais é nacionalmente conhecido pela produção de quartzitos – a chamada pedra mineira – em revestimentos na construção civil. No entanto, a extração destes ocasiona a grande geração de rejeitos aos quais são destinados em locais inadequados. De acordo com órgãos ambientais, estes rejeitos podem chegar a mais de 90% de todo o material extraído (RAMIRIO et al., 2008).

Segundo Alecrim e Fabbri (2004), o município de Guapé-MG fica localizado no centro produtor de Alpinópolis, dispondo-se de 20% do total de produção de quartzito. Esta, conta-se com apenas uma mineração de extração do minério, a Mineração Guapedras, a qual possui uma jazida de 1.000 hectares.

A exploração deste minério é destinada à construção civil, utilizando-o como revestimento e ornamentação de ambientes, e ao mesmo tempo, este setor busca alternativas para substituição de produtos com aplicação de novos insumos e novas tecnologias de reaproveitamento de resíduos. Como exemplo, o setor de telhas vem empregando, ao longo dos últimos anos, investimentos em pesquisas para novos materiais e novos processos industriais.

Desta forma, o presente trabalho sugere estudar a utilização de rejeitos de quartzito do município de Guapé-MG como agregado na produção de telhas de concreto, na qual torna-se o objetivo do mesmo, uma vez que contribui em questões sustentáveis e ambientais, juntamente com a inovação de um produto.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho foram definidos em geral e específicos.

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo principal verificar a possibilidade da utilização dos rejeitos de quartzito do município de Guapé-MG como agregado na produção de telhas de concreto, realizando um estudo das suas propriedades físicas e mecânicas.

### **2.2 Objetivos específicos**

No intuito de alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o local da área de pesquisa na qual será coletado os rejeitos de quartzito;
- Realizar uma amostragem dos rejeitos de quartzito;
- Caracterizar fisicamente o agregado miúdo e o cimento;
- Caracterizar fisicamente o rejeito de quartzito;
- Produzir as telhas de concreto com diferentes porcentagens de adição de quartzito;
- Executar ensaios laboratoriais de acordo com as especificações normativas nas telhas de concreto.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O tema proposto, torna-se importante em virtude da grande geração e acúmulo de rejeitos de quartzito do Centro Produtor de Alpinópolis, mais precisamente no município de Guapé-MG, uma vez que gera impactos nas questões ambientais e socioeconômicas.

Os estudos incluindo a tecnologia do concreto nos quais visam a redução de custos e a melhora em suas propriedades inovam a cada dia, uma vez que poupam as matérias-primas naturais e reutilizam resíduos descartados.

Assim sendo, a produção de telhas de concreto combinadas a rejeitos de quartzito, além de determinar um destino adequado para os rejeitos, traria também benefícios ao meio ambiente, à logística dentro da mineração, uma vez que trará um espaço melhor para o local e um produto novo e sustentável para o mercado.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Telhas de concreto

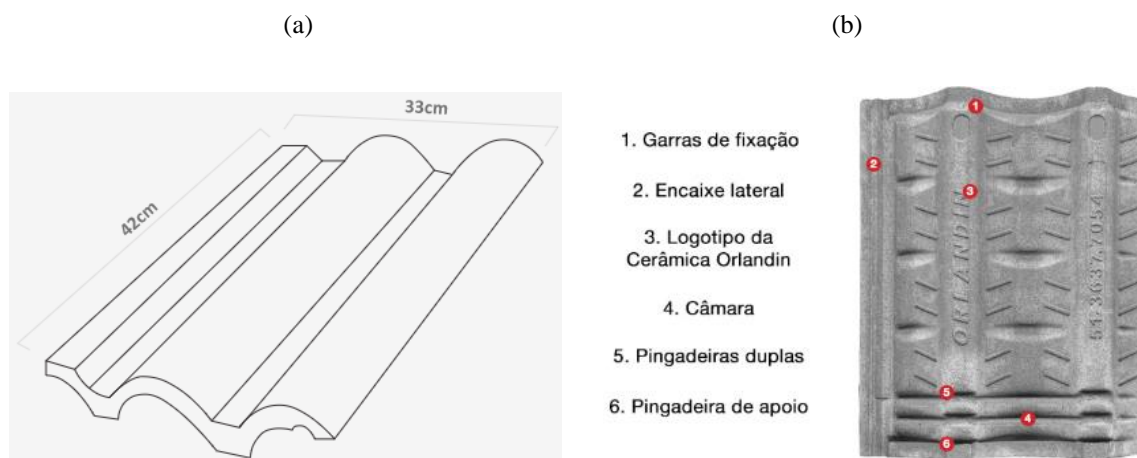
A primeira patente da telha de concreto foi registrada em 1844 por Adolf Kroher na Alemanha, aproximadamente vinte anos após a patente do cimento Portland, por Joseph Aspdin. Ou seja, criando-se também a primeira iniciativa para a produção de telhas à base de cimento. No Brasil, a produção de telhas de concreto deu início em 1976, com a implantação da fábrica em São Paulo, e desde então este setor registrou ser 7% do mercado nacional de cobertura e assim apontando um grande potencial de crescimento nos próximos anos (FERNANDES, 2012 apud BREJÃO, 2017).

Segundo Ziegel (2000), do início de sua criação até por volta de 1919, a fabricação de telhas de concreto era realizada em máquinas de prensagem manual, no qual limitava sua produtividade, e em 1919 a primeira máquina operada mecanicamente foi construída na Dinamarca, conhecida como Ringsted.

Por definição, as telhas de concreto são peças para a cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, fabricadas a partir do uso de cimento, agregado, água e aditivos ou adições, segundo a ABNT NBR 13858-2:2009.

De acordo com a Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto (apud TESKE, 2014), no país são fabricados seis tipos diferentes de telhas de concreto e em diferentes cores, sendo o modelo padrão a chamada “*Coppo Vêneto*”. A Figura 01 (a) e (b) ilustram as dimensões da telha de concreto e suas características, respectivamente.

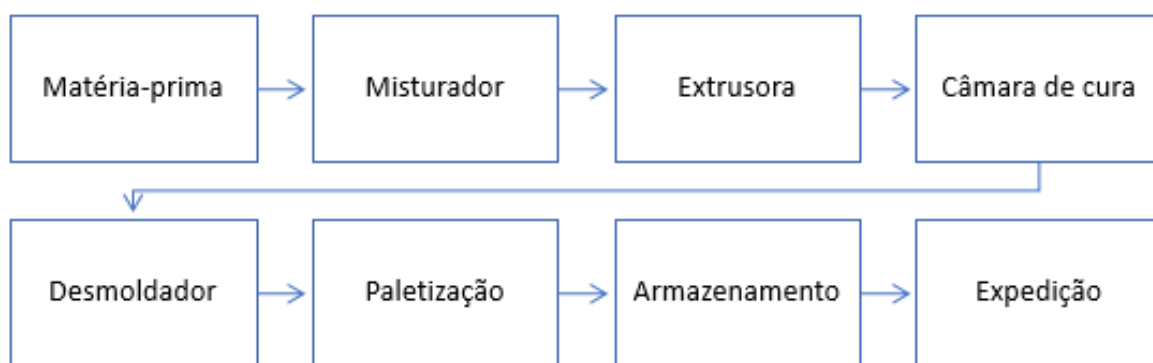
Figura 01: (a) dimensões das telhas de concreto (b) características das telhas de concreto.



Fonte: Orlandin – Tecnologia em cerâmica e concreto.

Mello (2010) diz que a produção de telhas de concreto inicia-se no armazenamento da areia que passa por peneiramento, garantindo assim a uniformidade da classificação granulométrica, a combinação de areia, cimento, pigmentos e água é levada ao misturador até formar uma massa homogênea e deste encaminhada à extrusora, no qual a mistura passa por um sistema de prensagem onde se dá o formato e dimensão às telhas. Seguidamente as telhas são transportadas até as secadoras para início do processo de cura, e por fim, quando ganham resistência, são encaminhadas para o desmolde. O fluxograma exibido na Figura 02 ilustra o processo de fabricação das telhas de concreto.

Figura 02: Processo de produção das telhas de concreto.



Fonte: (Licadiedoff e Queiroz, 2016), modificado pelo autor.

#### 4.1.1 Propriedades desejáveis das telhas de concreto

A ABNT NBR 13858-2:2009 determina padrões aos quais as telhas de concreto fabricadas e comercializadas devem seguir. No aspecto visual, as telhas não devem exibir fissuras na superfície, bolhas, esfoliações, desagregações, quebras e rebarbas. Independente de seus perfis, as telhas devem apresentar obrigatoriamente encaixe lateral a fim de impedir deslocamentos, garra de fixação que é necessário para garantir encaixe nos apoios e nervura que tem a finalidade de proporcionar uma circulação turbulenta de ar. A Tabela 01 mostra os valores limites de empenamento, absorção de água, permeabilidade, carga de ruptura à flexão e massa.



Tabela 01: Valores das propriedades das telhas de concreto estabelecidos por norma.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor Limite</b>
Empenamento	Apoiada sobre um plano horizontal, com sua face inferior voltada para baixo, não deve apresentar afastamento maior que 1,5mm.
Absorção de água	Não deve ser superior a 10%.
Impermeabilidade	Não deve apresentar: vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior. O aparecimento de manchas de umidade é tolerável.
Carga de ruptura à flexão	Classes A e B = 2400N; Classes C e D = 2000N e Classe Plana = 1200N
Massa	Massa da telha seca deve variar entre 4,3 kg e 5 kg.

Fonte: (ABNT NBR 13858-2:2009), modificado pelo autor.

#### 4.1.1.1 Empenamento

Em seu estudo, Muller (2018) analisou as telhas de concreto leve utilizando EPS (Poliestireno Expandido, conhecido como isopor) como agregado miúdo contendo quatro porcentagens distintas em sua produção e realizou os ensaios propostos. A verificação do empenamento, que consiste em apoiar a telha de concreto em uma superfície plana de forma nivelada garantindo o apoio em três pontos e, com auxílio de um pente de folga medir o valor limite da maior lâmina que passa entre o apoio da telha e a superfície. Os resultados para o ensaio de empenamento das telhas mostraram valores de afastamento inferiores a 1,5mm para seis amostras. A Figura 03 mostra a realização do ensaio.

Figura 03: Ensaio de empenamento.



Fonte: Muller, 2018.

#### 4.1.1.2 Absorção de água

A finalidade do ensaio de absorção de água é definir o quanto de água é absorvida em peso pelas telhas sob condições de secagem em estufa e saturação, segundo a ABNT NBR 13858-2:2009.

Muller (2018) dispôs seis corpos-de-prova submersos em um reservatório com água durante 24 horas e após este período certificou-se a massa dos mesmos. Em seguida, os corpos-de-prova foram deixados na estufa a uma temperatura de 105°C até que duas pesagens sucessivas com intervalos de 1 hora diferiram em 0,25%, certificando-se novamente as suas massas. Com auxílio da Equação 01 foi possível a determinação da absorção de água. Após os ensaios realizados, foi constatado que as telhas sem adição de EPS apresentaram o menor desvio padrão, e as telhas com 35% de EPS apresentaram o maior desvio padrão, entre os quatro grupos de telhas. A amostra com 25% de EPS mostrou a menor média de absorção de água, enquanto a maior média foram as telhas com 35% de EPS. Contudo, todos os corpos-de-prova mostraram valores de absorção de água inferiores ao máximo estabelecido por norma. A Tabela 02 ilustram os resultados do ensaio.

(Equação 01)

$$A = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100$$

Onde:

Mu = massa do corpo-de-prova inicial úmida;

Ms = massa do corpo-de-prova seca.

Tabela 02: Absorção de água das telhas de concreto.

Corpo de Prova	Absorção de água (%)			
	0%	25%	35%	50%
1	5,13	4,33	4,83	6,34
2	4,52	3,70	6,73	5,12
3	4,71	5,08	3,36	4,40
4	4,29	3,20	8,92	4,81
5	4,11	4,34	5,88	4,32
6	4,72	3,70	5,13	6,01
Média	4,58	4,06	5,81	5,17
Desvio Padrão	0,36	0,66	1,90	0,84

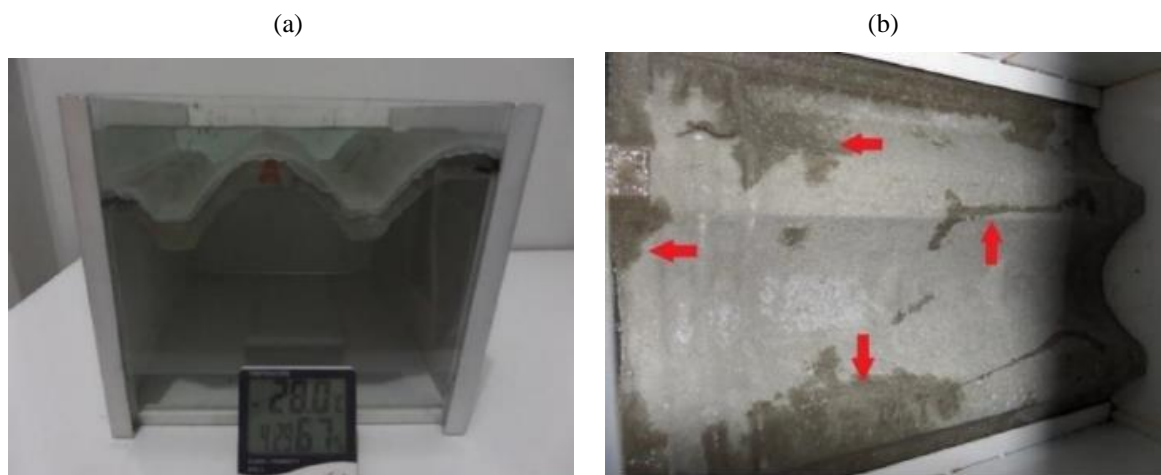
Fonte: (Muller, 2018), modificado pelo autor.

#### 4.1.1.3 Impermeabilidade

Na impermeabilidade é analisada mediante a uma pressão de coluna d'água no qual a telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, mas tolerando-se o aparecimento de manchas de umidade (FERNANDES, 2017).

Ainda de acordo com o estudo de Muller (2018), na realização deste ensaio, o autor construiu uma caixa de chapas metálicas e placa de vidro. As telhas ficaram submersas até o nível de 15mm de altura da crista da onda mais alta da face superior, em repouso por 24 horas em ambiente aberto e ventilado, com temperatura controlada entre 15°C e 30°C e umidade relativa do ar acima de 40%. Após as 24 horas as telhas foram retiradas da água e inspecionadas, resultando que nas amostras sem adição de EPS e com 25% de EPS apresentaram resultados satisfatórios, nas quais apareceram somente manchas (m), já nas amostras com 35% e 50% de adição de EPS ora apresentaram manchas (m), vazamentos (v) e gotejamento (g) nas faces inferiores dos corpos-de-prova. A Figura 04 (a) e (b) mostram a telha submersa na caixa de chapas metálicas e a mesma retirada após as 24 horas e a Tabela 03 ilustram os resultados obtidos.

Figura 04: (a) telha submersa na caixa submetida ao ensaio de impermeabilidade (b) telha inspecionada após as 24 horas.



Fonte: Muller, 2018.

Tabela 03: Determinação de manchas, vazamentos e gotejamentos para as amostras.

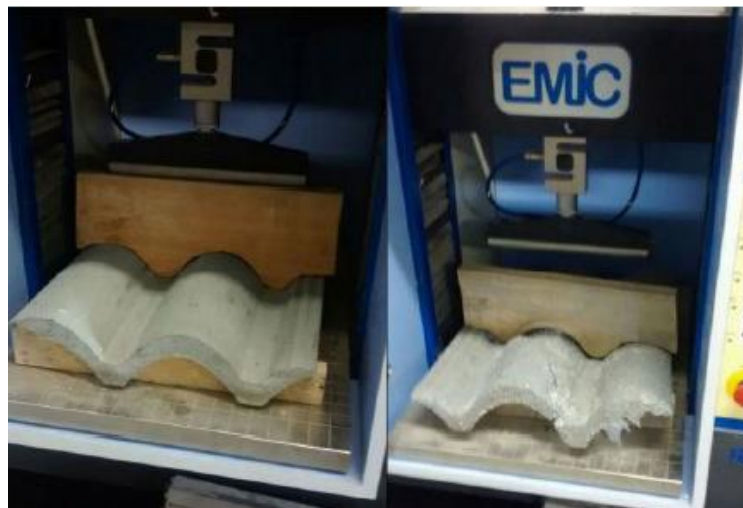
Corpo de Prova	Impermeabilidade			
	0%	25%	35%	50%
1	m	m	m, v	m, v, g
2	m	m	m, v, g	m, g
3	-	m	m, g	m, g
4	m	m	m, g	m, v, g
5	m	m	m, v, g	m, g
6	-	m	m, g	m, g

Fonte: Muller, 2018.

#### 4.1.1.4 Ruptura à flexão

No ensaio de ruptura à flexão do trabalho de Muller (2018), foram utilizados seis corpos-de-prova para cada amostra e os mesmos foram imergidos em água por 24 horas. Prontamente, cada telha foi posicionada a uma distância entre centros de  $2/3$  de seu comprimento e assim aplicando-se uma carga progressivamente com velocidade de carregamento igual a 100 N/s, como ilustra a Figura 05.

Figura 05: Ensaio de ruptura à flexão.



Fonte: Muller, 2018.

Em seu estudo, Muller (2018), nos ensaios de ruptura à flexão aos 28 dias de idade para cada corpo-de-prova de diferentes amostras, é possível observar que as telhas de concreto sem adição de EPS mostraram resistência mínima de 2400N, com exceção de um corpo-de-prova

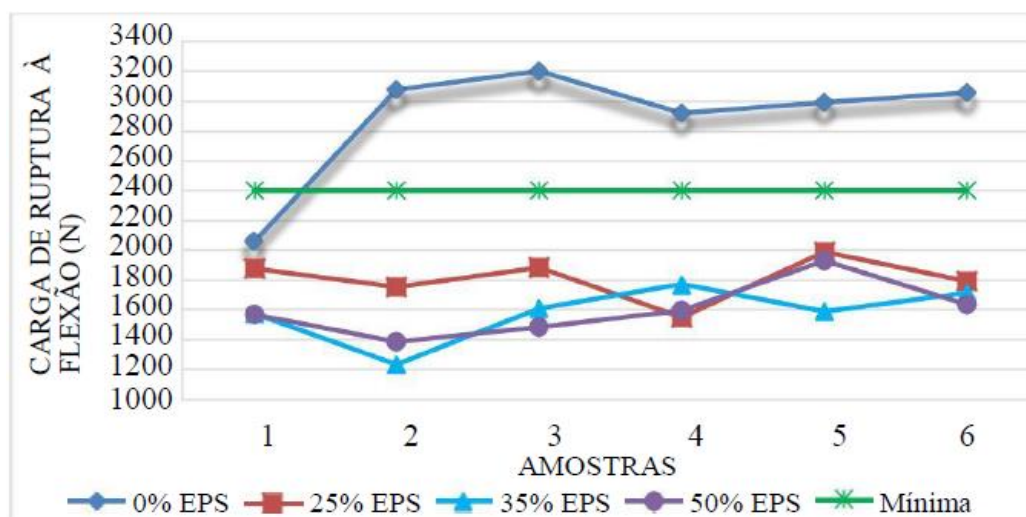
que ficou abaixo do mínimo estabelecido pela ABNT NBR 13858-2:2009. Apesar dos resultados insatisfatórios das amostras com adição de EPS, as telhas de concreto ainda apresentaram valores de resistência à flexão superiores quando comparadas as telhas cerâmicas, nas quais variam entre 1000N e 1300N de acordo com cada modelo, segundo a ABNT NBR 15310:2005. A Tabela 04 e o Gráfico 01 ilustram os resultados obtidos.

Tabela 04: Resultados da resistência à flexão dos corpos-de-prova.

Corpo de Prova	Carga de Ruptura à Flexão (N)			
	0%	25%	35%	50%
1	2057,23	1874,55	1574,93	1568,98
2	3077,11	1754,55	1237,07	1383,96
3	3200,57	1882,66	1610,60	1483,29
4	2922,17	1547,89	1769,04	1594,16
5	2995,26	1987,42	1586,47	1928,87
6	3056,47	1789,37	1715,53	1636,48
Média	2884,80	1806,07	1582,27	1599,29
Desvio Padrão	415,84	150,36	185,84	184,81

Fonte: (Muller, 2018), modificado pelo autor.

Gráfico 01: Resultados da resistência à flexão dos corpos-de-prova.



Fonte: Muller, 2018.

#### 4.1.2 Utilização de materiais alternativos para a produção de telhas de concreto

Assim como o estudo citado no tópico 4.1.1 o qual utilizou-se resíduos de EPS para a fabricação de telhas de concreto, existem inúmeros trabalhos que seguem essa linha de

raciocínio de reaproveitamento de resíduos de diversos materiais e os utilizam para a produção de artefatos usados na construção civil.

Fernandes (2017), em seu trabalho, que teve como objetivo o estudo da possibilidade de desenvolver telha de concreto com resíduo de mármore proveniente do tear de fio diamantado, concluiu que a reutilização desse resíduo é uma alternativa viável para a fabricação de telhas de concreto, uma vez que contribui para a sustentabilidade ambiental. O resíduo de mármore apresenta características física, química e mineralógica apropriada para utilização como filler na produção da telha. Aponta uma disposição de partículas com mais de 90% das partículas inferiores a 75  $\mu\text{m}$ , o que possibilita um melhor empacotamento e aumento da densidade seca na composição dos agregados.

No estudo desenvolvido por Teske (2014) verificou a possibilidade da utilização de resíduo de gesso associado a resíduo de PET na produção de telhas. Embora o alto custo, concluiu-se que é viável o desenvolvimento de uma telha sustentável e reciclável, uma vez que oferece durabilidade, leveza e desempenho térmico.

Outro estudo proposto por Caldeira (2017) analisou a viabilidade de utilização de resíduos da construção civil na fabricação de telhas de concreto fotovoltaico. De acordo com os ensaios realizados, constatou-se que relacionado ao peso, permeabilidade e resistência a ruptura à flexão as telhas atenderam aos requisitos normativos de uma telha convencional. Assim, o autor concluiu a possível utilização desses resíduos, uma vez que possui vantagens comerciais e ambientais no que diz respeito a reutilização de resíduos cerâmicos e concreto de construção civil.

## **4.2 Quartzito**

Quartzito é uma rocha classificada como metamórfica, oriunda do metamorfismo de rochas sedimentares, como por exemplo, o arenito (NASCIMENTO, 2018). É uma rocha formada quase por completo pelo quartzo, com cerca de 80% de sua formação composta por este minério, seguido de proporções variáveis de outros minerais, como feldspato, moscovita e biotita (VIERA, et. al, 2012).

Os quartzitos além de apresentarem uma grande variedade de cores, possuem alta resistência mecânica, química e ao desgaste, é antiderrapante e um bom isolante térmico (FERREIRA, 2017). Na construção civil, o uso de quartzitos como peças de revestimento é muito comum por serem porosos e de fácil transformação em placas com baixa variabilidade.

O Estado de Minas Gerais se sobressai pela grande produção de quartzitos, com quatro centros de lavras do minério, que é usufruído como rocha ornamental e de revestimento. O maior centro produtor é o de São Thomé das Letras, seguido de Alpinópolis, Ouro Preto e Diamantina (FERNANDES et al., 2003).

O centro produtor de Alpinópolis (Figura 06) está situado no sudoeste do Estado e é formado pelos municípios de São João Batista do Glória, São José da Barra, Alpinópolis, Capitólio e Guapé, nas quais com aproximadamente 50% da produção é na cidade de Alpinópolis, seguido de Guapé com cerca de 20%, e os demais municípios divididos em 30%. (ALECRIM e FABBRI, 2004).

Figura 06: Centro produtor de quartzito de Alpinópolis-MG.



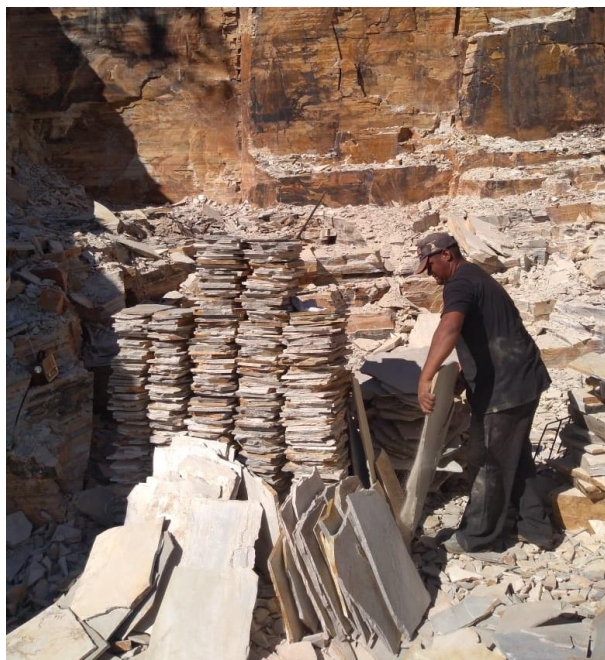
Fonte: (Google Earth Pro, 2020), modificado pelo autor.

#### 4.2.1 Processo de produção

Segundo FEAM (2015), a prática da lavra do quartzito é realizada a céu aberto, primeiramente é feito o decapeamento, ou seja, a retirada da camada fina de solo que fica sobre a rocha, também retira-se o quartzito alterado, o qual não possui valor comercial, chamado de material estéril, podendo ser necessária a utilização de explosivos. Ao chegar no material principal, o desmonte é feito em bancadas por meio de explosivos e acabada com o uso de picaretas, cunhas, pás mecânicas e alavancas. Logo após a detonação, as placas são retiradas com auxílios de cunhas e marretas. Ainda de acordo com o autor, são chamadas de “folheado” as peças que tem o melhor aproveitamento econômico, já as com menor capacidade de delaminação, são nomeadas de “pedrão”. As Figuras 07 e 08 ilustram as peças de quartzito após o deslocamento e o fluxograma do processo de extração, respectivamente.

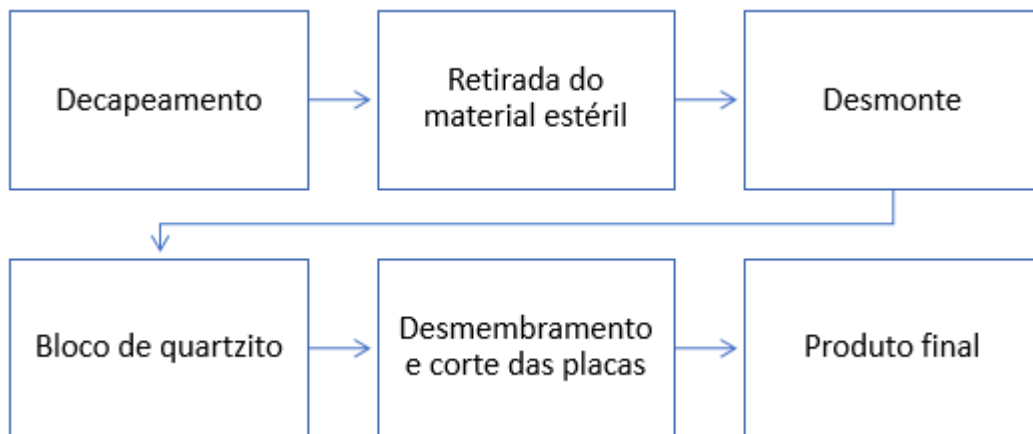


Figura 07: Peças de quartzito após o deslocamento.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 08: Fluxograma do processo de extração de quartzito.



Fonte: (Reis, 2019), modificado pelo autor.

#### 4.2.2 Resíduo de quartzito

A Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, no ano de 2002 revelou que cerca de 90% dos quartzitos extraídos das minerações em Minas Gerais viram resíduos. Os componentes que causam baixa serventia dos quartzitos são as técnicas inadequadas de desmontes (explosivos).



Segundo Alecrim (2009), de todo o material extraído nas minerações de quartzito apenas é possível aproveitar entre 8% e 10%, no qual gera um acúmulo de material estéril e ocasiona divergências quanto às questões ambiental e socioeconômica, uma vez que essas minerações geram empregos nos arredores e movimentam a economia local.

Para Dias (2017) e Silva (2000), a grande quantidade de resíduo gerado no processo de extração e beneficiamento do quartzito acarreta impactos tanto uma degradação visual quanto na dificuldade da retirada de mais minérios, em alguns casos, irreversíveis. O resultado negativo da degradação visual é o mais expressivo, já que a exposição do manto rochoso da cava de exploração e do bota-fora gera um cenário que contracenava com a paisagem natural (Figura 09).

Figura 09: Deposição dos rejeitos de mineração de quartzito em Alpinópolis-MG.



Fonte: Reis, 2019.

#### 4.2.3 Uso como agregado na construção civil

Estudos científicos têm sido feitos para se avaliar a viabilidade de uso dos quartzitos em outras redes produtivas e não só como rocha de revestimento. Verificou-se que estes rejeitos possuem particularidades, de acordo com a variabilidade textural e estrutural de quartzitos ocorrentes no sudoeste mineiro, no qual pode influenciar em suas propriedades geotécnicas para o uso específico como agregado (REIS, 2019).

As análises realizadas por Francklin Junior (2009) apontaram que os resíduos de quartzito dispõem de grande potencial para ser usado como agregado em concreto. Contudo, o autor aconselha um estudo mais aprofundado em relação a uma possível reação álcali-agregado

que pode dar-se no concreto, uma vez que o quartzito é considerado um agregado reativo aos álcalis presentes no cimento.

Ferreira (2017) averiguou o uso dos resíduos de quartzito da cidade de São Thomé das Letras, em substituição parcial ou total de agregados miúdos na produção de microconcreto utilizando o cimento Portland CPV-ARI. À medida que os ensaios físico-mecânicos realizados, o resíduo de quartzito mostrou-se capaz de ser usado como agregado no microconcreto em todas as faixas granulométricas analisadas, preferencialmente com a relação água/cimento de 0,55.

Russo (2011) estudou a aplicação de resíduos de extração de quartzito como agregado na construção civil e analisou a viabilidade técnica e econômica de fragmentar materiais grosseiros, resultando em um produto aplicável na produção de pré-moldados de concreto e argamassas industrializadas. Nos ensaios realizados as amostras foram analisadas quanto à trabalhabilidade, à resistência à compressão, degradação, abrasão, perda ao choque e índice de forma. Assim, concluiu-se que o rejeito pode ser aplicado como agregado para argamassas industrializadas e para produção de pré-moldados dentro de diversas faixas de resistência à compressão. Na Tabela 05 é mostrado os valores de resistência á compressão, tralhando-se com pedriscos na produção de pré-moldados. O traço (C) com um consumo baixo de cimento e alta relação de água/cimento alcançam resistência acima de 6 MPa em sete dias. Para produção de blocos, o concreto iria ser lançado em vibro-prensas para sua moldagem, assim, mantendo a mesma relação água/cimento, porém usando um traço pobre não haveria problema, uma vez que essa máquina consegue moldar concretos que apresentam uma menor trabalhabilidade.

Tabela 05: Concreto para pré-moldados com rejeito de quartzito como agregado.

Traço		Cimento (CP-32)	Agregado (Pedrisco)	Água		Resistência média à compressão (Mpa)	
				Volume (ml)	A/C (umid. agregado 2%)	7 dias	14 dias
A	Unitário	1	4,5	3900	0,80	13,30	17,80
	Consumo (kg)	5,5	24,8				
B1	Unitário	1	6,5	3700	0,95	9,90	12,50
	Consumo (kg)	4,5	29,3				
B2	Unitário	1	6,5	4150	1,05	9,00	11,90
	Consumo (kg)	4,5	29,3				
C	Unitário	1	8,5	3600	1,20	6,50	9,10
	Consumo (kg)	3,5	29,8				

Fonte: (Russo, 2011), modificado pelo autor.

Ainda segundo Russo (2011), no que diz respeito ao quartzito na produção de argamassa, mantendo-se fixo o índice de consistência (IC = 260cm) e faixa granulométrica mais grossa (# < 2,4mm), demandando uma relação água/cimento menor e produz argamassa de maior resistência, conforme mostrado na Tabela 06.

Tabela 06: Argamassa com rejeito de quartzito como agregado – Resultados de ensaio de ruptura com diferentes diâmetros do agregado.

CDP	# < 1,2 mm		# < 2,4 mm	
	Carga (ton)	Tensão (Mpa)	Carga (ton)	Tensão (Mpa)
1	0,86	4,40	0,98	5,00
2	0,76	3,90	1,04	5,30
3	0,81	4,10	1,01	5,10
4	0,90	4,60	0,97	4,90
Médias	0,83	4,24	1,00	5,09

Fonte: (Russo, 2011), modificado pelo autor.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico será abordada a metodologia aplicada para a realização deste trabalho, no qual consiste na descrição do local onde foram coletados os materiais para a pesquisa, a amostragem dos rejeitos de quartzito, o procedimento de caracterização dos materiais e da produção das telhas.

### 5.1 Descrição do local e rejeito em análise

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os rejeitos de quartzito do município de Guapé, cidade em que fica localizada na microrregião de Varginha, no Sul do Estado de Minas Gerais, com altitude de 829 metros e a uma distância de 296km da Capital Belo Horizonte. A Figura 10 (a) e (b) mostram o município de Guapé localizado no Estado de Minas Gerais.

Figura 10: (a) município de Guapé localizado no Estado de Minas Gerais (b) município de Guapé.



Fonte: IBGE, 2018.

Fonte: Goolge Earth Pro, 2020.

A extração de quartzitos é feita pela Mineração Guapedras (Figura 11) que atua neste segmento desde 2001, conta-se com uma jazida própria de 1.000 hectares de reservar de quartzito, a qual possibilita uma vida útil de 600 anos de extração, com uma produção anual de 600.000m<sup>2</sup>, segundo a Mineração Brasil Stones (2020).

Figura 11: Jazidas de quartzito da Mineração Guapedras.



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

O beneficiamento de quartzitos no município de Guapé-MG é realizado pela empresa Mineração Ropedras, nessa fase as placas de quartzito são serradas e transformadas em chapas quadradas ou retangulares com dimensões comerciais padronizadas, quando transformadas, uma grande parte desse material torna-se rejeitos, aos quais são denominados rebarbas e pó de serra – também conhecido como sílica – (Figura 12). Em Guapé-MG, uma porcentagem de rebarbas são destinadas a uso em estradas de terras, ajudando como revestimento, o pó de serra, por sua vez, é deixado em tanques de decantação e seguidamente exposto ao sol para sua secagem, tornando-se um pó.

Figura 12: (a) rebarbas (b) pó de serra.



Fonte: O autor, 2020.



## 5.2 Caracterização física dos materiais

As caracterizações físicas dos materiais são feitas a partir de ensaios laboratoriais perante normas técnicas.

### 5.2.1 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo

O estudo de composição granulométrica dos agregados é realizado seguindo as especificações da ABNT NBR NM 248:2003. Com a amostra em laboratório é realizado o ensaio de peneiramento, no qual consiste em grupos de peneiras com diferentes aberturas de modo que o arranjo dessas permita a passagem dos agregados de acordo com suas dimensões.

Para a realização do ensaio de granulometria do agregado miúdo, utilizou-se 500g de areia de rio seca, com a ajuda do equipamento de peneiramento, realizou o ensaio. A Figura 13 mostra o jogo de peneiras utilizados no referido ensaio.

Figura 13: Série de peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.



Fonte: O autor, 2020.

Ainda de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 é possível calcular o módulo de finura do agregado miúdo com os resultados obtidos da porcentagem retida acumulada das peneiras de série normal, como mostra a Equação 2.

$$MF = \frac{\sum \% R. A \text{ das peneiras de série normal}}{100}$$

### 5.2.2 Determinação da massa específica dos materiais

Outro ensaio de caracterização dos materiais que é muito importante, é a massa específica, nas quais foram ensaiados a areia, o cimento e o rejeito de quartzito.

#### 5.2.2.1 Massa específica do agregado miúdo

Para a realização deste ensaio foi utilizada a ABNT NBR 9776:1987 na qual faz necessário o uso do frasco de Chapman. Este ensaio consiste em um frasco de vidro composto por dois bulbos e um gargalo graduado, deve-se encher com água destilada na marca de 200cm<sup>3</sup> que fica localizado entre os dois bulbos, e em seguida colocados os 500g do agregado. Após os materiais inseridos, é feita a leitura do volume, conforme é mostrado na Figura 14, e assim calculada a massa específica de acordo com a Equação 3.

Figura 14: Ensaio de massa específica do agregado miúdo.



Fonte: O autor, 2020.

$$\rho = \frac{m}{V_f - V_i}$$

Onde:

$\rho$  = massa específica (g/cm<sup>3</sup>);

m = massa (g);

V<sub>f</sub> = volume final (cm<sup>3</sup>);

V<sub>i</sub> = volume inicial (cm<sup>3</sup>).

#### 5.2.2.2 Massa específica do cimento

Para o ensaio da massa específica do cimento foram utilizadas as instruções da ABNT NBR NM 23:2000, que consiste em um frasco volumétrico de Le Chatelier. Para o ensaio com o cimento, utiliza-se um líquido que não reaja quimicamente com ele, assim, optou-se por utilizar o querosene. Inicialmente completa-se com querosene até a marca de 0,5cm<sup>3</sup>, em seguida acrescenta-se 60g do material em estudo, no qual foi utilizado o cimento CPV-ARI, e por fim faz-se a medição do volume final. A Figura 15 ilustra o ensaio realizado e o resultado é expresso pela Equação 4.

Figura 15: Ensaio da massa específica do cimento.



Fonte: O autor, 2020.



$$\rho = \frac{m}{V_f - V_i}$$

Onde:

$\rho$  = massa específica (g/cm<sup>3</sup>);

m = massa (g);

V<sub>f</sub> = volume final (cm<sup>3</sup>);

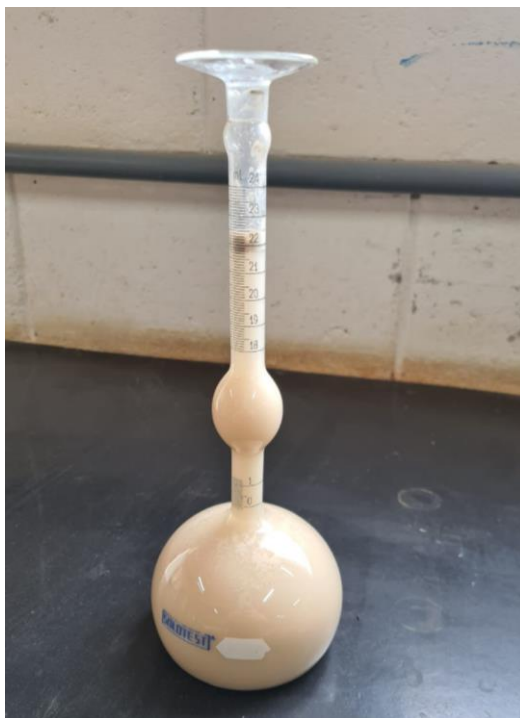
V<sub>i</sub> = volume inicial (cm<sup>3</sup>).

### 5.2.2.3 Massa específica do rejeito de quartzito

Afim de obter resultados seguros, preferiu-se utilizar o rejeito de quartzito em forma de pó, o qual é obtido por meio da serragem, no processo de beneficiamento.

O ensaio de massa específica do rejeito de quartzito foi realizado pelo método do frasco volumétrico de Le Chatelier, conforme a ABNT NBR NM 23:2000 (Figura 16). Assim como o cimento, este ensaio consiste no mesmo procedimento, porém, ao invés de utilizar o querosene, optou-se pela água destilada. A massa específica é calculada conforme a Equação 5.

Figura 16: Ensaio da massa específica do rejeito de quartzito.



Fonte: O autor, 2020.

$$\rho = \frac{m}{V_f - V_i}$$

Onde:

$\rho$  = massa específica (g/cm<sup>3</sup>);

m = massa (g);

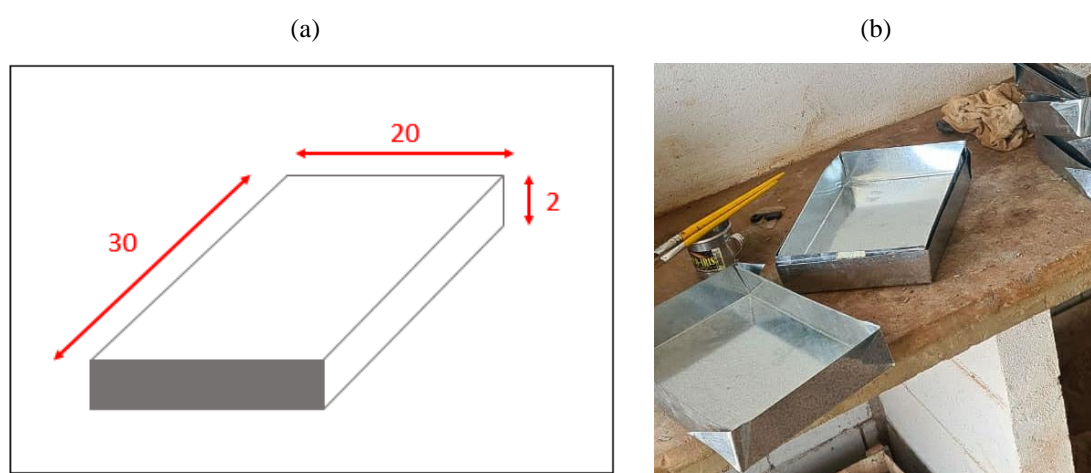
V<sub>f</sub> = volume final (cm<sup>3</sup>);

V<sub>i</sub> = volume inicial (cm<sup>3</sup>).

### 5.3 Produção das telhas

Por falta de equipamentos para a produção das telhas tradicionais, optou-se por fazer a representação de telhas em forma de placas retangulares, de dimensões 20x30x2cm, com o auxílio de moldes feitos em aço galvanizado. A Figura 17 (a) e (b) ilustram a placa retangular e seu molde, respectivamente.

Figura 17: (a) representação da telha retangular e (b) molde utilizado para a produção das placas.



Fonte: O autor, 2020.

Para a confecção das telhas e dosagem do concreto, foram utilizados os traços baseados em artigos científicos, nos quais os autores empregaram materiais similares ao deste trabalho. Muller (2018) utilizou o traço (1:3,2) cimento e areia, respectivamente, no qual o mesmo é recomendado por Fernandes (2012) no uso de areia média, uma vez que já é utilizado nas fábricas de telha. Fernandes (2017) aplicou a relação água/cimento de 0,4, e assim foi empregado na produção das placas retangulares, obtendo a quantidade de materiais. Foram produzidas 15 placas retangulares, às quais foram divididas em cinco diferentes tipos, mostrado na Tabela 07,

dos 15 corpos-de-prova, 10 foram selecionados para o ensaio de ruptura à flexão, e as outras 5 para a análise de absorção d'água.

Tabela 07: Resumo da produção das telhas.

Corpos-de-prova	
Quantidade	Material
3	Convencional - Sem adição de rejeito de quartzito
3	25% de adição de rejeito de quartzito
3	50% de adição de rejeito de quartzito
3	75% de adição de rejeito de quartzito
3	100% de adição de rejeito de quartzito

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 18 (a) e (b) ilustra as placas retangulares após moldadas e compactadas, respectivamente. Para a sua compactação, devido à escassez de equipamentos próprios, foi utilizada a mesa adensadora, sendo colocada três camadas de material e golpeando 25 vezes cada camada.

Figura 18: (a) placas retangulares moldadas e (b) mesa adensadora utilizada.



Fonte: O autor, 2020.

O desmolde das placas foi feito após 24 horas de sua moldagem, e, como foi utilizado o cimento CPV-ARI, as mesmas ficaram em cura úmida por 7 dias e logo após submetidas aos ensaios propostos por norma.

#### 5.4 Absorção de água e peso seco

A absorção de água das telhas foi determinada a partir das especificações do anexo B da ABNT NBR 13858-2:2009, a qual diz que é a quantidade em peso de água absorvida pelas telhas sob condições de secagem em estufa e saturação. As telhas ensaiadas estavam no sétimo dia de cura, e a estufa utilizada com temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . A absorção de água é calculada a partir da Equação 6.

Equação (6)

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA= absorção de água (%);

Mu = massa do corpo-de-prova inicial úmida (g);

Ms = massa do corpo-de-prova seca (g).

Para o cálculo do peso seco das telhas de concreto utiliza-se a Equação 7.

Equação (7)

$$Ps = ms \times g$$

Onde:

Ps = peso seco das telhas (daN/m<sup>2</sup>);

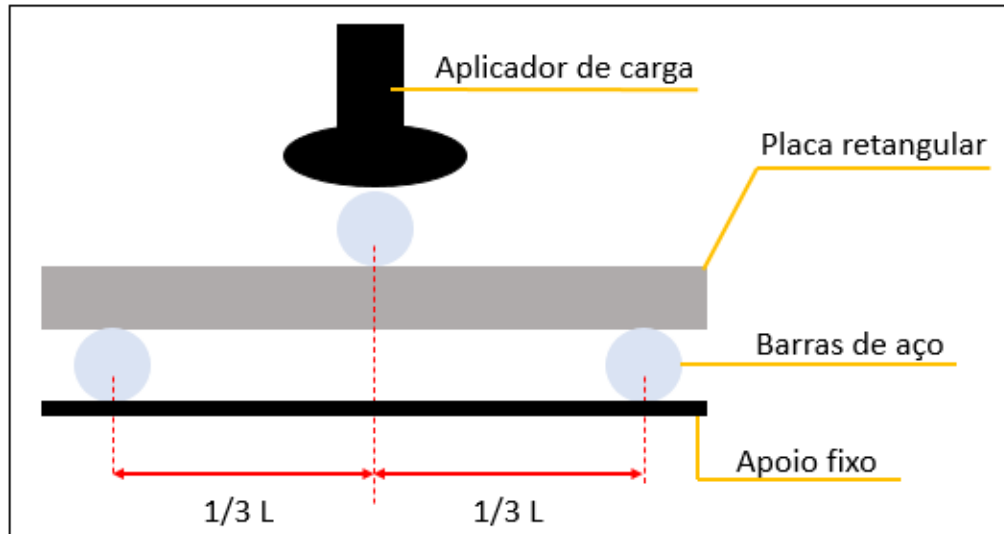
ms = massa seca (kg);

g = aceleração da gravidade (10m/s<sup>2</sup>).

#### 5.5 Carga de ruptura à flexão

De acordo com a ABNT NBR 13858-2:2009, o ensaio de ruptura à flexão de uma telha é dado pela aplicação de uma força uniformemente distribuída, em velocidade constante, aplicada transversalmente no centro da telha, com ponto de aplicação em contato com a face superior da telha, o mesmo é feito de acordo com o anexo D da referida norma. Neste ensaio é utilizado a prensa para o rompimento, barras de aço e o corpo-de-prova, as barras de aço inferiores são posicionadas a 1/3 de comprimento da telha a partir do seu centro, e a barra de aço superior, no centro, e então é aplicada a carga. A Figura 19 é uma ilustração de como funciona o ensaio.

Figura 19: Ilustração do ensaio de ruptura à flexão.



Fonte: O autor, 2020.

De acordo com a ABNT NBR 13858-2:2009, há diferentes classes de perfil para as telhas de concreto, como mostra a Tabela 08, portanto, como neste trabalho foi confeccionadas telhas planas, tem-se a carga mínima de ruptura à flexão como 1200N.

Tabela 08: Classe do perfil em função da profundidade da telha e da carga de ruptura à flexão.

Classe do perfil	Profundidade do perfil (d) - mm	Carga de ruptura à flexão - N
A	$d \geq 50$	2400
B	$40 \leq d < 50$	
C	$30 \leq d < 40$	2000
D	$20 \leq d < 30$	
Plana	$d < 20$	1200

Fonte: (ABNT NBR 13858-2:2009), modificado pelo autor.

## 6. RESULTADOS

Neste tópico serão abordados e discutidos os resultados da caracterização dos materiais, assim como os ensaios realizados com as telhas.

### 6.1 Composição granulométrica do agregado miúdo

De acordo com a ABNT NBR 7211:2009, a distribuição granulométrica do agregado deve atender os limites estabelecidos para assim serem utilizados como agregado miúdo para concreto, a Tabela 09 expressa o limite das diferentes zonas estabelecidas.

Realizado o peneiramento com 500g do agregado miúdo, obteve-se a quantidade – em massa – retida em cada peneira, no qual foi possível realizar os cálculos das porcentagens retida e acumulada em cada uma delas, como mostram a Tabela 10 e o Gráfico 02.

Tabela 09: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
6,30	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

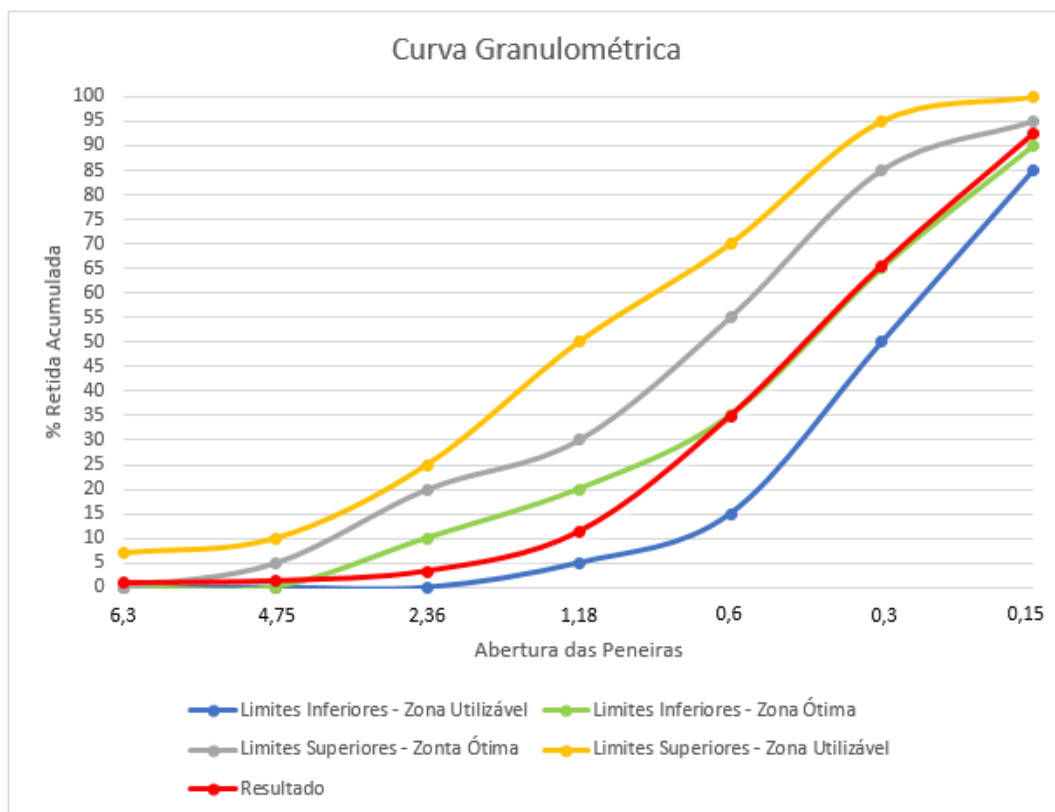
Fonte: (ABNT NBR 7211:2009), modificado pelo autor.

Tabela 10: Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo.

Ensaio Granulométrico			
Peneira	Massa (kg)	% Retida	% R.A.
6,30	0,004	0,80	0,80
4,75	0,002	0,40	1,20
2,36	0,010	2,00	3,20
1,18	0,040	8,00	11,20
0,60	0,118	23,60	34,80
0,30	0,154	30,80	65,60
0,15	0,134	26,80	92,40
Fundo	0,038	7,60	100,00
Total	0,500	100,0	

Fonte: O autor, 2020.

Gráfico 02: Curva granulométrica com os limites previstos em norma.



Fonte: O autor, 2020.

Com a porcentagem retida acumulada das peneiras de série normal, foi possível calcular o módulo de finura do agregado miúdo. A Tabela 11 expressa o resultado do módulo de finura da areia.

Tabela 11: Módulo de finura do agregado miúdo.

<b>Módulo de finura</b>	<b>2,084</b>
Peneiras de série normal	% R.A.
4,75	1,20
2,36	3,20
1,18	11,20
0,60	34,80
0,30	65,60
0,15	92,40

Fonte: O autor, 2020.

## 6.2 Massa específica dos materiais

Feitos os ensaios de massa específica dos materiais utilizados na produção das telhas, foi possível observar os resultados obtidos a partir da Tabela 12.

Tabela 12: Massas específicas dos materiais.

Massa específica dos materiais				
Materiais	Massa (g)	V inicial (cm <sup>3</sup> )	V final (cm <sup>3</sup> )	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
Agregado miúdo	500	200	390	2,63
Cimento	60	0,5	20,8	2,95
Rejeito de quartzito	60	0,5	21,7	2,84

Fonte: O autor, 2020.

## 6.3 Produção das telhas

Na produção das placas retangulares foram utilizados traços de autores com trabalhos similares a este, como foi citado no tópico 5.3 deste trabalho. A partir deles foi possível calcular a quantidade de material empregado em cada leva de telhas, como mostra na Tabela 13.

Tabela 13: Quantidade de materiais para a confecção das telhas.

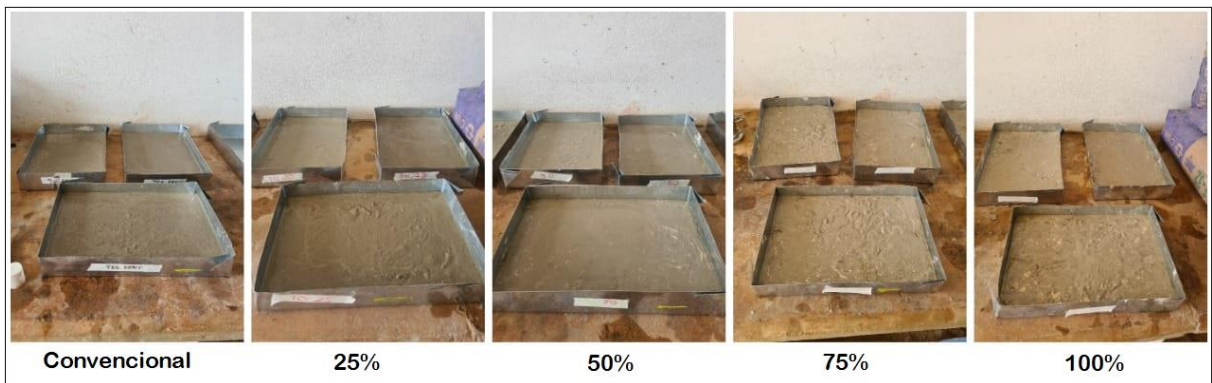
Traço	Quantidade de material				
	Cimento (g)	Areia (g)	Rejeito (g)	Água (cm <sup>3</sup> )	Correção de água (cm <sup>3</sup> )
Convencional	1840,76	5890,43	0	736,30	800
25%	1840,76	4417,82	1472,61	736,30	800
50%	1840,76	2945,22	2945,22	736,30	1200
75%	1840,76	1472,61	4417,82	736,30	1500
100%	1840,76	0	5890,43	736,30	1900

Fonte: O autor, 2020.

Com o auxílio da betoneira fez-se a argamassa, e assim moldadas as telhas em formas feitas de aço galvanizado. Ao todo foram feitas 15 telhas, sendo divididas três para cada percentagem de dosagem, na Figura 20 é mostrada as telhas moldadas.



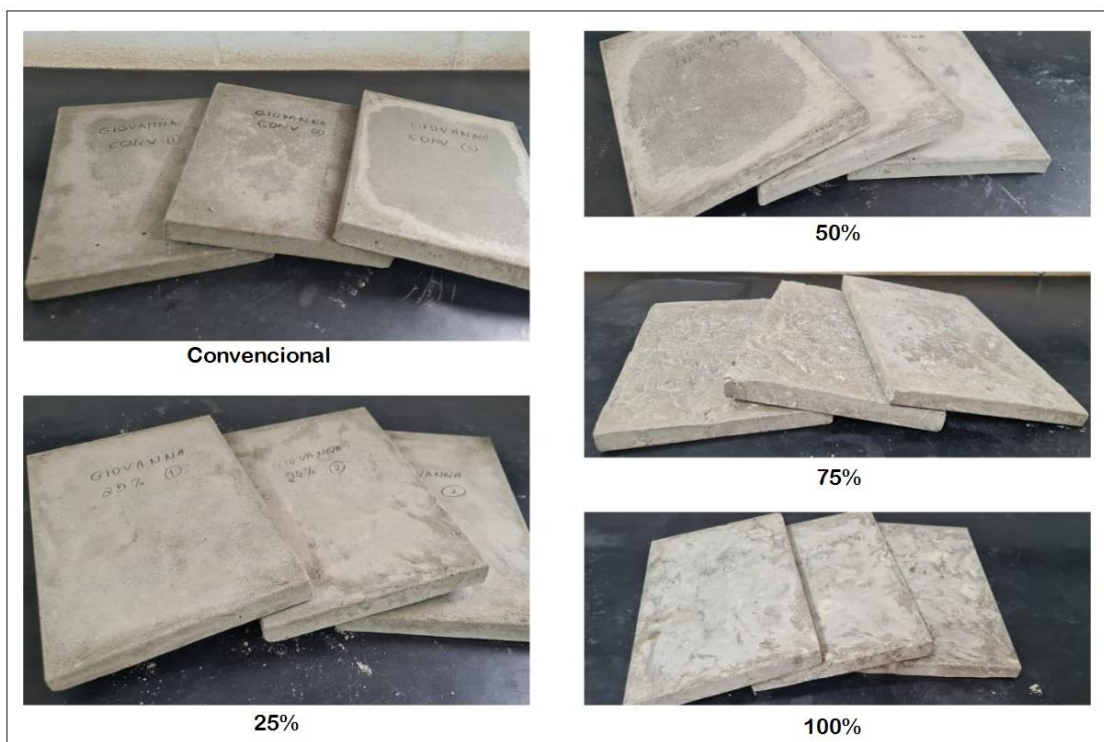
Figura 20: Telhas moldadas.



Fonte: O autor, 2020.

Após 24 horas da sua produção, as telhas foram desmoldadas e inseridas em um tanque por 7 dias afim de fazer sua cura úmida. As Figuras 21 e 22 ilustram as telhas após o desmolde e no tanque de água para a cura, respectivamente.

Figura 21: Telhas após o desmolde.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 22: Telhas em cura.



Fonte: O autor.

#### 6.4 Absorção de água e peso seco

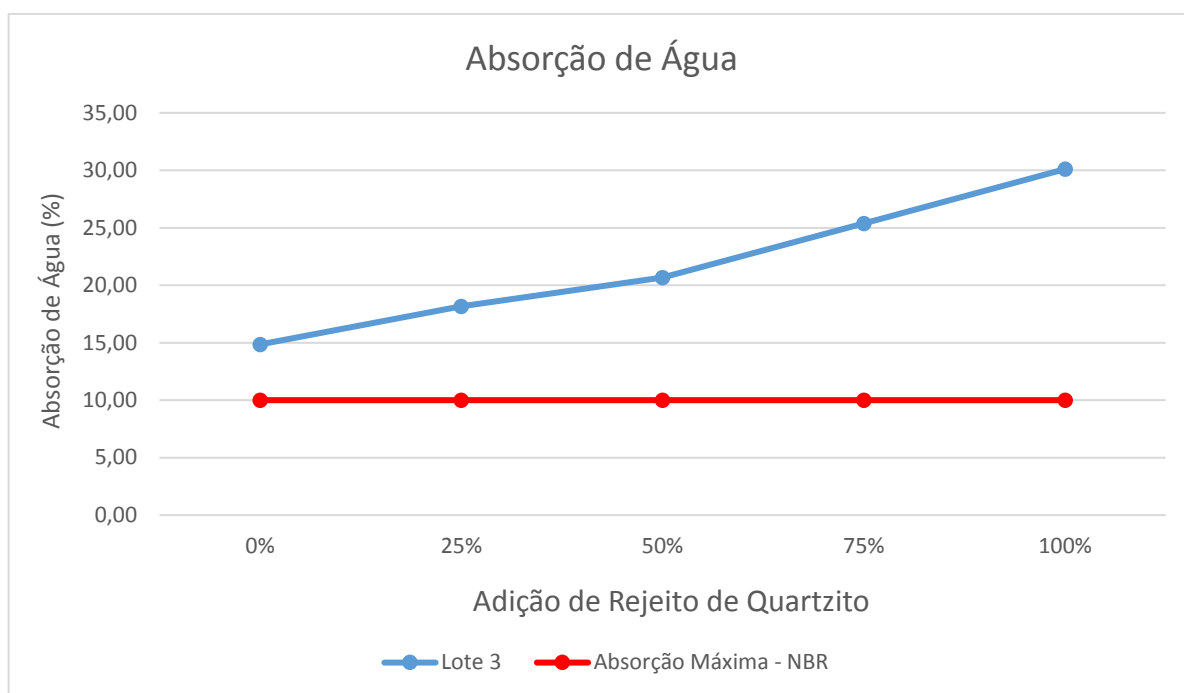
No ensaio de absorção de água foram utilizados 5 corpos-de-prova, sendo um de cada traço. Após os 7 dias de cura, cada telha foi pesada e levada à estufa calibrada em  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , e por fim, quando secas, foram pesadas novamente. Com os dados obtidos foi calculada cada porcentagem, as quais estão expressas na Tabela 14 e no Gráfico 03.

Tabela 14: Absorção de água das telhas.

<b>Absorção de água das telhas</b>			
<b>Telhas – Lote 3</b>	<b>Massa saturada (g)</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>A (%)</b>
Convencional	2166	1886	14,85
25%	2432	2058	18,17
50%	2510	2080	20,67
75%	2292	1828	25,38
100%	2360	1814	30,10

Fonte: O autor, 2020.

Gráfico 03: Absorção de água das telhas em comparação com a norma.



Fonte: O autor, 2020.

Junto a absorção de água, calculou-se também o peso seco das telhas de concreto, cujos resultados encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15: Peso seco das telhas de concreto.

Peso seco das telhas		
Telhas - Lote 3	Massa seca (kg)	Peso seco (daN/m <sup>2</sup> )
Convencional	1,886	18,86
25%	2,058	20,58
50%	2,080	20,80
75%	1,828	18,28
100%	1,814	18,14

Fonte: O autor, 2020.

### 6.5 Carga de ruptura à flexão

A Figura do item 5.5 é uma representação de como ocorreu o ensaio de ruptura à flexão das telhas de concreto, e na Figura 23 é possível visualizar o mesmo sendo executado conforme as especificações normativas.

Figura 23: Ensaio de ruptura à flexão.



Fonte: O autor, 2020.

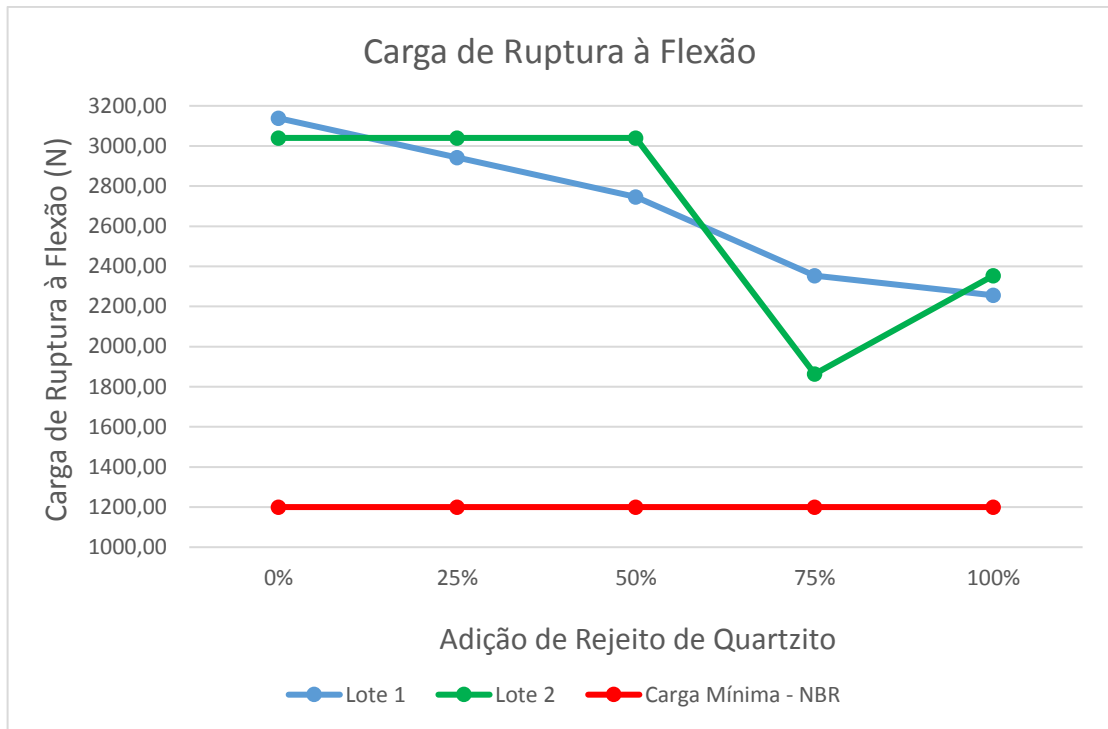
O equipamento de aplicação carga utilizado neste ensaio é do laboratório da instituição de ensino, e o mesmo expressa a carga aplicada em tonelada força, assim, sendo que 1 tonelada força é igual e 9806,65 Newtons, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 16 e no Gráfico 04.

Tabela 16: Resultado do ensaio de ruptura à flexão.

Carga de ruptura à flexão					
Telhas		Carga (tf)	Carga (N)	Média	Desvio Padrão
Convencional	1	0,32	3138,22	3089,19	69,35
	2	0,31	3040,15		
25%	1	0,30	2942,09	2991,12	69,35
	2	0,31	3040,15		
50%	1	0,28	2745,95	2893,05	208,04
	2	0,31	3040,15		
75%	1	0,24	2353,67	2108,49	346,73
	2	0,19	1863,32		
100%	1	0,23	2255,60	2304,63	69,35
	2	0,24	2353,67		

Fonte: O autor, 2020.

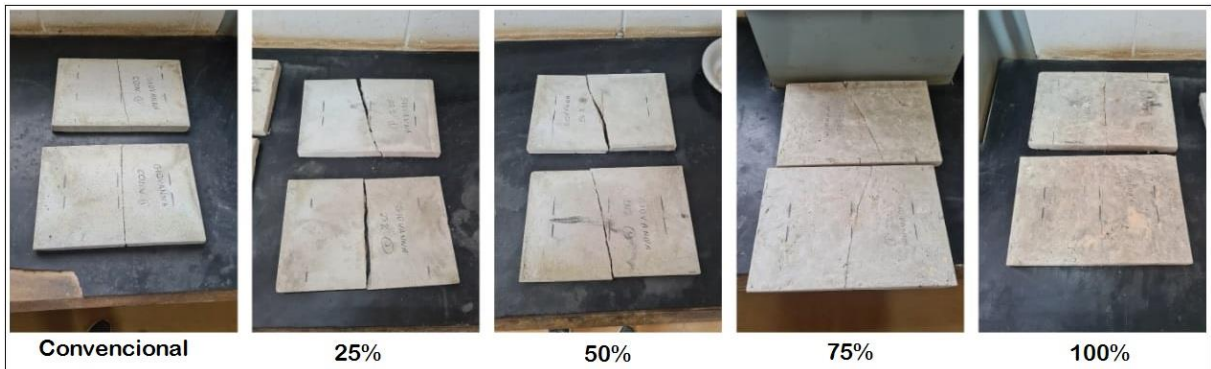
Gráfico 04: Carga de ruptura à flexão das telhas em comparação com a norma.



Fonte: O autor, 2020.

A Figura 24 mostra a linha de rompimento de todas as peças ensaiadas.

Figura 24: Telhas após o ensaio executado.



Fonte: O autor, 2020.

## 6.6 Comparativos com estudos similares

Afim de analisar os resultados de trabalhos de telhas de concreto similares, fez-se um comparativo entre dois autores de acordo com os valores de consumo de cimento, absorção de água e carga de ruptura à flexão, conforme é mostrado na Tabela 17.

Fernandes (2017) produziu telhas de concreto utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado, tendo a sua forma ondulada, já Muller (2018) confeccionou telhas de concreto leve com adição de EPS.

Tabela 17: Comparativo entre telhas de concreto.

<b>Comparativo de resultados</b>			
<b>Telhas</b>	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Δ Absorção de água (%)</b>	<b>Δ Carga de ruptura à flexão (N)</b>
O autor, 2020	511,32	14,85 a 30,10	1863,32 a 3138,22
Fernandes, 2017	400 a 500	7,60 a 8,90	2405 a 2500
Muller, 2018	800	3,20 a 8,92	1237,07 a 3200,57

Fonte: O autor, 2020.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta os resultados obtidos, conclui-se que:

- O agregado miúdo, em seu ensaio de granulometria, atendeu aos limites de distribuição granulométrico estabelecidos por norma, sendo viável sua utilização em concretos;
- Pelo fato de o rejeito de quartzito ser um material muito fino não foi possível executar o ensaio granulométrico por peneiramento. Houve tentativas de fazer pelo método de sedimentação, porém não foram obtidos resultados, uma vez que o densímetro disponível não era o correto por norma;
- Na produção das telhas convencionais, há equipamentos como misturador, de moldagem e compactação, e por isso pode-se dizer que é admissível uma relação água/cimento menor. Neste trabalho viu-se que na dosagem foi preciso a correção da água para tornar-se possível sua compactação, a qual se deu numa mesa adensadora;
- Devido ao cimento utilizado o CPV-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), o qual tem como característica sua alta resistência inicial, as telhas puderam permanecer em cura úmida por 7 dias e realizados os ensaios;
- Segundo a norma, a absorção de água numa telha de concreto não deve ser superior à 10%. No ensaio com as telhas produzidas, nenhuma atendeu ao requisito normativo, a telha convencional foi a que chegou mais perto do permitido, tendo sua absorção de água de 14,85% mas mesmo assim foi superior à 10%. Analisando os demais resultados é notável que quanto mais adiciona-se o rejeito de quartzito no concreto, mais o produto absorve água. No exemplar cujo a areia foi 100% substituída por rejeito de quartzito, obteve-se uma absorção de água de 30,10%;
- Levando em consideração as telhas tradicionais, segundo norma, a carga de ruptura à flexão para as telhas de Classe Plana não deve ser inferior à 1200N, e conforme foram mostrados nos resultados, as telhas atenderam a este requisito normativo, porém contendo um alto desvio padrão, o qual sugere que refaçam os ensaios com uma quantidade maior de corpos-de-prova;
- Analisando o comparativo de resultados deste trabalho com dois autores aos quais produziram telhas com materiais similares é possível levantar alguns pontos:
  - 1) Os dois autores utilizaram o modelo de telhas onduladas, enquanto neste trabalho foi produzida a telha de classe plana, para a porcentagem de absorção de água para ambas as telhas, de acordo com a norma, o máximo é 10%. As telhas dos trabalhos



similares conseguiram cumprir este requisito normativo, uma vez que sua absorção de água resultou menor que 10%. Já neste trabalho, todas apresentaram um valor maior que o normativo, portanto não cumprindo o requisito normativo;

- 2) Para as telhas onduladas, a carga mínima de ruptura à flexão é de no mínimo 2400N, as telhas produzidas por Fernandes (2017) atenderam os requisitos de carga, tendo a mínima de 2405N, porém não foram todas as telhas de Muller (2018) que ficaram acima da carga mínima. Para as telhas planas, a carga de ruptura à flexão mínima é de 1200N, e conforme os resultados, todas atenderam este requisito normativo, uma vez que a carga mínima ensaiada foi de 1863,32N.

Com este trabalho foi possível produzir e realizar os ensaios, no qual as telhas foram caracterizadas de acordo com sua absorção de água e sua resistência a partir de sua carga de ruptura à flexão, na qual o resultado de absorção de água não foi satisfatória, mas em contrapartida, todos os exemplares atenderam à carga de ruptura à flexão. Para comprovar de fato o comportamento do rejeito de quartzito na produção das telhas de concreto, seria interessante e, assim deixar como uma sugestão de estudo futuro, em parceria com uma fábrica própria de telhas de concreto, produzi-las em grande escala e realizar os ensaios normativos, podendo assim comparar os resultados.



## REFERÊNCIAS

- ALECRIM, A. V.; FABBRI, G. T. P. (2004). **Aproveitamento de rejeitos da mineração de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis**. In: 1º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 1. São Carlos, 2004. 23 e 24 de agosto de 2004. São Carlos-SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858-2: Telhas de concreto parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.
- BREJÃO, A. S. **Reaproveitamento de resíduos da área de semicondutores na indústria de telhas de concreto**. Universidade Paulista. São Paulo, 2017.
- CALDEIRA, A. C. V. **Reutilização de resíduo da construção civil para produção de telha de concreto fotovoltaico**. CONIC - SEMESP: 17º Congresso Nacional de Iniciação Científica. São Paulo, 2017.
- DIAS, L. S. **Rejeito de mineração de quartzito como agregado para produção de argamassa colante**. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.
- FERNANDES, I. **Telhas de Concreto- produção e controle de qualidade**, 1ª ed. São Paulo: ABCP, 2012.
- FERNANDES, T. M. G. Aspectos geológicos e tecnológicos dos quartzitos do centro produtor de São Thomé das Letras (MG). São Paulo, UNESP. **Geociências**, v.22, n.2, p. 129-141, 2003.
- FERNANDES, D. G. **Desenvolvimento de telha de concreto eco-eficiente utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado**. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campo dos Goytacazes, 2017.

FERREIRA, F. B. S. **Avaliação da utilização de resíduos de quartzito como agregado em microconcretos**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Materiais e Processos de Fabricação, Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2017.

FRANCKLIN JUNIOR, I. **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto**. 142 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais**. Belo Horizonte: FEAM, 2015.

GOOGLE. Google Earth Pro. Versão 7.3.3. [Mountain View]: Google, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados: Guapé. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/guape.html>>. Acessado em: 30 jun 2020.

LICADIEDOFF, S. S. B.; QUEIROZ, V. P. **Fabricação de telhas de concreto**. Centro Estadual de Educação Profissional. Curitiba, 2016.

MELLO, M. **Telhas de concreto**. 2010. Disponível: < <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/telhas-de-concreto/>>. Acessado em: 04 jul 2020.

MINERAÇÃO Brasil Stones – Quartzitos para pisos e revestimentos, 2020. Disponível em: <[http://www.mineracaobrasilstones.com.br/v1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1&Itemid=3](http://www.mineracaobrasilstones.com.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=3)>. Acessado em: 30 jun 2020.

MULLER, H. M. B. Análise de viabilidade técnica da utilização de telhas de concreto leve com adição de EPS como agregado miúdo em Sinop-MT. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 10, n. 2, p. 76-103, jul-dez, 2018.

NASCIMENTO, I. E. **Estudo da utilização de resíduo de quartzito como agregado miúdo em concreto convencional**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Angicos, 2018.  
PEDRONI, G. C.; SANTOS, S. **Utilização de cinza de casca de arroz e borracha de pneu na produção de concreto de alto desempenho**. Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia. Foz do Iguaçu, 2016.

ORLANDIN, Tecnologia em cerâmica e concreto. **Telhas de Concreto Coppo Vêneto**. Disponível em: < <https://www.ceramicaorlandin.com.br/web/produto/telhas-de-concreto/coppo-veneto>> Acessado em: 06 jul 2020.

RAMIRIO, R. F. et al. Estudo comparativo de rejeitos de quartzito com outros agregados comercialmente utilizados como materiais de construção no Sudoeste de Minas Gerais. **Ciência et Praxis**, v. 1, n.1, 2008.

REIS, F. M. D. **Estudo do comportamento físico-mecânico de tijolos de solo-cimento com adição de rejeitos de minerações de quartzito**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. São Carlos, 2019.

**RUSSO, M. L. C. Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

**SILVA, P.A.D. Estudos geotécnicos na recuperação ambiental da pedreira municipal de Pirenópolis.** Dissertação de Mestrado em Geotecnia. (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental). Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2000.

**TESKE, S. Desenvolvimento de telha ecológica a partir de resíduo de gesso da construção.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

**VIERA, E. V. et al. Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó visando a produção de cerâmica para porcelanato.** Anais do IV Congresso Brasileiro de rochas ornamentais. VIII Simpósio de rochas ornamentais do Nordeste. Campina Grande, 2012.

**ZIEGEL:** História da telha de concreto, 2000. Disponível em: <<https://ziegel.com.br/historia-da-telha-de-concreto/>>. Acessado em: 05 jul 2020.