

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA CIVIL**  
**SAMUEL SOUZA REYS**

**UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE QUARTZITO COMO AGREGADO GRAÚDO NO**  
**CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

**VARGINHA - MG**

**2017**

**SAMUEL SOUZA REYS**

**UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE QUARTZITO COMO AGREGADO GRAÚDO NO  
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação da Prof. Yago Petrim Cruz.

**VARGINHA**

**2017**

**SAMUEL SOUZA REYS**

**UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE QUARTZITO COMO AGREGADO GRAÚDO NO  
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS-MG, como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em //

---

Prof. Yago Petrim Cruz

---

Membro da banca examinadora I

---

Membro da banca examinadora II

**OBS.:**

Dedico esse trabalho ao meu filho Matheus e a minha esposa Fernanda pelo apoio, amor e paciência neste período importante de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela força que me deu nas lutas diárias.

Agradeço especialmente aos meus pais, Vitor Nogueira Silveira Reys e Girlene de Souza Silveira que me incentivavam a cada passo durante esta jornada.

Agradeço aos professores que ao longo desse tempo me ajudaram a chegar até aqui.

Agradeço ao meu orientador Prof. Yago Petrim Cruz, pela ajuda e orientação ao longo deste trabalho.

Agradeço a empresa SA Indústria e Beneficiamento Mineral Ltda ME, pela contribuição na realização deste trabalho.

Por fim agradeço a todos os meus amigos e familiares.

“Portanto, quem ouve estas minhas palavras e as pratica é como um homem prudente que construiu a sua casa sobre a rocha.

Caiu a chuva, transbordaram os rios, sopraram os ventos e deram contra aquela casa, e ela não caiu, porque tinha seus alicerces na rocha.

Mas quem ouve minhas palavras e não as pratica é como um insensato que construiu a sua casa sobre a areia.

Caiu a chuva, transbordaram os rios, sopraram os ventos e deram contra aquela casa, e ela caiu. E foi grande a sua queda.”

Mateus cap.7, vers. 24 ao 27

## RESUMO

São Thomé das Letras possui o maior centro de extração de quartzito de Minas Gerais, chegando a 35% do total de extração em todo o estado. A região de estudo denominada Centro Produtor de São Thomé das Letras, devido as atividades minerárias vem gerando em larga escala a produção de resíduos, alcançando uma estimativa de 32,2 milhões de toneladas de rejeito acumulado no município desde a década de 50 até o fim deste ano (2017), conseqüentemente trazendo impactos ambientais negativos. O objetivo geral desta pesquisa é realizar estudos tecnológicos em concretos de cimento Portland, utilizando agregado graúdo de quartzito obtido por britagem dos rejeitos das mineradoras, verificando a possibilidade de aproveitamento deste material na construção civil. A pesquisa realizada circundou as seguintes etapas: coleta das amostras; caracterização tecnológica das amostras; confecção de concretos em laboratório e caracterização tecnológica dos concretos. Os resultados de caracterização tecnológicas no agregado graúdo de quartzito e nos concretos utilizando este material foram satisfatórios.

**Palavras-chave:** Quartzito. Concreto. Agregado graúdo.

## **ABSTRACT**

São Thomé das Letras has the largest quartzite extraction center in Minas Gerais, reaching 35% of the total extraction in the entire state. The study area known as the São Thomé das Letras Productive Center, due to mining activities, has generated a large scale of waste production, reaching an estimated 32.2 million tons of tailings accumulated in the municipality from the 50's to the end of this year (2017), consequently bringing negative environmental impacts. The general objective of this research is to carry out technological studies on concretes of Portland cement using a large aggregate of quartzite obtained by crushing of tailings from mining companies, verifying the possibility of using this material in civil construction. The research carried out included the following steps: sample collection; technological characterization of samples; preparation of concrete in the laboratory and technological characterization of concretes. The results of technological characterization in the aggregate of quartzite and concretes using this material were satisfactory

**Keywords:** Quartzite. Concrete. Largeaggregate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Mapa de localização das áreas de extração do Quartzito.....	16
Figura 2-Fluxograma simplificado da atividade de Lavra da Pedra São Thomé .....	17
Figura 3-Diagrama de influência dos agregados no concreto .....	19
Figura 4-Quartzito branco (São Thomé) .....	21
Figura 5-Gnaisse.....	22
Figura 6-Curva de Abrams .....	35
Figura 7-Tipos de rupturas.....	39
Figura 8-Compressor à diesel utilizado para perfuração .....	41
Figura 9-Desmonte do "pedrão" .....	40
Figura 10-"folheamento" da pedra .....	42
Figura 11-Monte de rejeito da mineração (material utilizável).....	43
Figura 12- Material de quartzito (quarteamento) .....	44
Figura 13-Medição por paquímetro .....	45
Figura 14-Pesagem do Agregado Quartzito.....	44
Figura 15-Peneiramento do agregado.....	46
Figura 16-Zonas Granulométricas (AGQ e AGG) .....	47
Figura 17-Material sendo colocado em estufa.....	48
Figura 18-Realização ensaio de massa unitária .....	50
Figura 19-Material pulverulento sendo retirado por lavagem .....	51
Figura 20-Comparativo de dados (AGQ e AGG).....	52
Figura 21-Betoneira estacionária utilizada .....	57
Figura 22-Moldagem dos corpos de prova.....	56
Figura 23-Desenforma e marcação .....	57
Figura 24-Tanque de cura.....	57
Figura 25-Ensaio de abatimento de tronco de cone.....	57
Figura 26-Ensaio de abatimento de tronco de cone .....	58
Figura 27-Prensa utilizada para ensaio de resistência a compressão.....	60
Figura 28-Gráfico de resistência à compressão fck 20 – fcd 26,6.....	61
Figura 29-Gráfico de resistência à compressão fck 25 – fcd 31,6.....	62
Figura 30-Gráfico de resistência à compressão fck 30 - fcd 36,6 .....	62
Figura 31-Tipos de rupturas .....	63

Figura 32-Ruptura à compressão TG 30.....	63
Figura 33-Ruptura à compressão TQ 30.....	63
Figura 34-Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....	64
Figura 35-Comparativo resistência à tração por compressão diametral.....	66
Figura 36-Ruptura à tração .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Estimativa dos Rejeitos Acumulados no Município de São Thomé das Letras .....	18
Tabela 2-Tabela de avaliação da qualidade do agregado .....	20
Tabela 3-Importância do conhecimento das propriedades .....	20
Tabela 4-Propriedades típicas dos gnaisses e quartzitos utilizados como agregado .....	21
Tabela 5-Valores médios dos ensaios de caracterização dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé.....	22
Tabela 6-Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária .....	29
Tabela 7-Valores de desvio padrão (sd).....	34
Tabela 8-Estimativa do consumo de água .....	35
Tabela 9-Consumo de agregado graúdo da mistura.....	36
Tabela 10-Estimativa dos Rejeitos Acumulados no Município de São Thomé das Letras (Atualizada) .....	42
Tabela 11-Resultado índice de forma do agregado graúdo quartzito .....	45
Tabela 12-Composição granulométrica do agregado de quartzito .....	46
Tabela 13-Composição granulométrica do agregado de gnaisse.....	47
Tabela 14-Determinação de massa específica seca, saturada e aparente .....	49
Tabela 15-Determinação da Absorção de Água .....	49
Tabela 16-Determinação da massa unitária e índice de vazios .....	50
Tabela 17-Determinação do Teor de Pulverulentos .....	51
Tabela 18-Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis.....	52
Tabela 19-Determinação do fc28 dos traços de concretos.....	54
Tabela 20-Determinação dos traços .....	58
Tabela 21-quantidade de materiais utilizados .....	59
Tabela 22-Resultados ensaio de compressão fck 20 .....	60
Tabela 23-Resultados ensaio de compressão fck 25 .....	60
Tabela 24-Resultados ensaio de compressão fck 30 .....	61
Tabela 25-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 20 .....	65
Tabela 26-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 25 .....	65
Tabela 27-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 30 .....	65

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivo .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Aspectos geológicos do centro produtor de São Tomé .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Agregados para uso na construção civil .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Especificações dos materiais para agregado na construção civil .....	19
2.2.2 Características e propriedades do quartzito e gnaïsse .....	21
<b>2.3 Cimento Portland .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Tipos de cimento .....	23
<b>2.4 Concreto .....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Concreto no estado fresco.....	25
2.4.2 Concreto no estado endurecido.....	26
<b>2.5 Dosagem do concreto.....</b>	<b>26</b>
2.5.1. Método de dosagem ABCP/ACI .....	27
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Estudos e ensaios realizados em agregado graúdo .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Coleta do material em campo (ABNT NBR NM 27/2001).....	28
3.2.2 Índice de forma (ABNT NBR 7809/2006) .....	28
3.2.3 Granulometria (ABNT NBR NM 248/2003).....	28
3.2.4 Massa específica seca, aparente e absorção de água (ABNT NBR NM 53/2009).....	29
3.2.5 Massa unitária e índice de vazios (ABNT NBR NM 45/2006).....	31
3.2.6 Teor de materiais pulverulentos (ABNT NBR NM 46/2003) .....	32
3.2.7 Teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT NBR 7218/2010) .....	32
<b>3.3 Estudos e ensaios realizados em concretos .....</b>	<b>33</b>

3.3.1 Método de dosagem do concreto (ABCP/ACI).....	33
3.3.2 Produção de concreto em laboratório (ABNT NBR 12821/2009) .....	38
3.3.3 Resistência à compressão (ABNT NBR 5739/2007) .....	38
3.3.4 Resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222/2011) .....	39
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Processo de extração do quartzito.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Diagnósticos dos estudos realizados nos agregados.....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Coleta do agregado em campo .....	44
4.2.2 Índice de forma.....	44
4.2.3 Granulometria.....	45
4.2.4 Massa específica seca e massa específica aparente .....	48
4.2.5 Absorção de água.....	49
4.2.6 Massa unitária.....	49
4.2.7 Teor de materiais que passa através da peneira 75 µm .....	51
4.2.8 Teor de argila em torrões e materiais friáveis .....	52
4.2.9 Desfecho de caracterização do agregado graúdo.....	52
<b>4.3 Diagnósticos dos estudos e ensaios realizados nos concretos.....</b>	<b>53</b>
4.3.1 Dosagem dos concretos .....	53
4.3.2 Produção dos diferentes traços de concreto em laboratório .....	56
4.3.3 Correções e ajustes nos traços de concretos .....	58
<b>4.4. Resistência à compressão .....</b>	<b>59</b>
<b>4.5. Resistência à tração por compressão diametral .....</b>	<b>64</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE 1 - DATAS DE ROMPIMENTO DOS CONCRETOS .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE 2 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 20).....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE 3 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 20).....</b>	<b>74</b>

<b>APÊNDICE 4 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 25).....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE 5 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 25).</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE 6 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 30).....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE 5 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 30).</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cidade de São Thomé das Letras localizada na Microrregião de Varginha possui o mais importante centro de lavra de quartzitos folheados brasileiro, atinge cerca de 35% de toda extração de quartzito de Minas Gerais. Produz materiais de revestimento e ornamentação. A atividade minerária e beneficiamentos do material é a principal atividade econômica da cidade, a exploração para fins comerciais teve início na década de 50, teve uma intensificação na década de 70 quando se incorporou a utilização de explosivo no processo de extração, intensificando também a geração de resíduos que pode chegar a uma estimativa de 32,2 milhões de toneladas de rejeito acumulado no município até o fim deste ano.

O resíduo gerado pelas atividades mineraria vem causando impactos negativos ao meio ambiente, como: mudanças na formação do relevo natural; assoreamento nos corpos de água; alterações na paisagem dentre outros.

É com esteio a estas informações, que se observa a necessidade de estudos como o trabalho aqui apresentado, tendo como indicativo de solução o aproveitamento deste material como agregado graúdo para concreto na construção civil.

Assim, propõe-se nesta pesquisa, estudar o agregado graúdo de quartzito e verificar seu comportamento físico em concretos de cimento Portland, verificando as recomendações normativas, e fazer comparações com o agregado de gnaiss de uso habitual na região. Primeiramente será feito um levantamento teórico sobre o assunto, em seguida um estudo de caso que abordará a seguinte etapa: técnica de extração do quartzito com a geração do rejeito; coleta das amostras; caracterização tecnológica das amostras; confecção de concretos em laboratório; caracterização tecnológica dos concretos e finalmente verificar as conformidades normativas para emprego deste material na construção civil.

O aproveitamento do resíduo de quartzito pode trazer vários benefícios econômicos e ambientais, como: redução dos impactos ambientais já citados anteriormente; economia no processo de britagem de rocha, onde não seria necessária a abertura novas jazidas para exploração; liberação de frentes de lavras que estão soterradas pelos bota-foras; geração de emprego na região; dentre outros.

## 1.1 Justificativa

O tema escolhido torna-se relevante em razão do índice elevado do acúmulo de rejeitos gerados pela mineração de quartzito do Centro Produtor de São Thomé das Letras, causando preocupação dos possíveis impactos ambientais, onde Segundo FEAM (2009) somente no ano de 2008 foi extraído 400 mil toneladas de quartzito nas frentes de lavras, o que gerou cerca de 900 mil toneladas de rejeitos.

O Acúmulo de rejeito de quartzito em bota-foras nas proximidades da cidade causa impactos negativos ao meio ambiente, como: mudanças na formação do relevo natural; assoreamento nos corpos de água; alterações na paisagem dentre outros.

O aproveitamento do resíduo de quartzito pode trazer vários benefícios econômicos e ambientais, como: redução dos impactos ambientais; economia no processo de britagem de rocha; liberação de frentes de lavras que estão soterradas pelos bota-foras; geração de emprego; dentre outros.

## 1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo geral, verificar através de testes laboratoriais à conformidade do agregado graúdo obtido por britagem do rejeito de quartzito do Centro Produtor de São Thomé das Letras para produção de concreto de cimento Portland.

Como objetivos específicos citam-se:

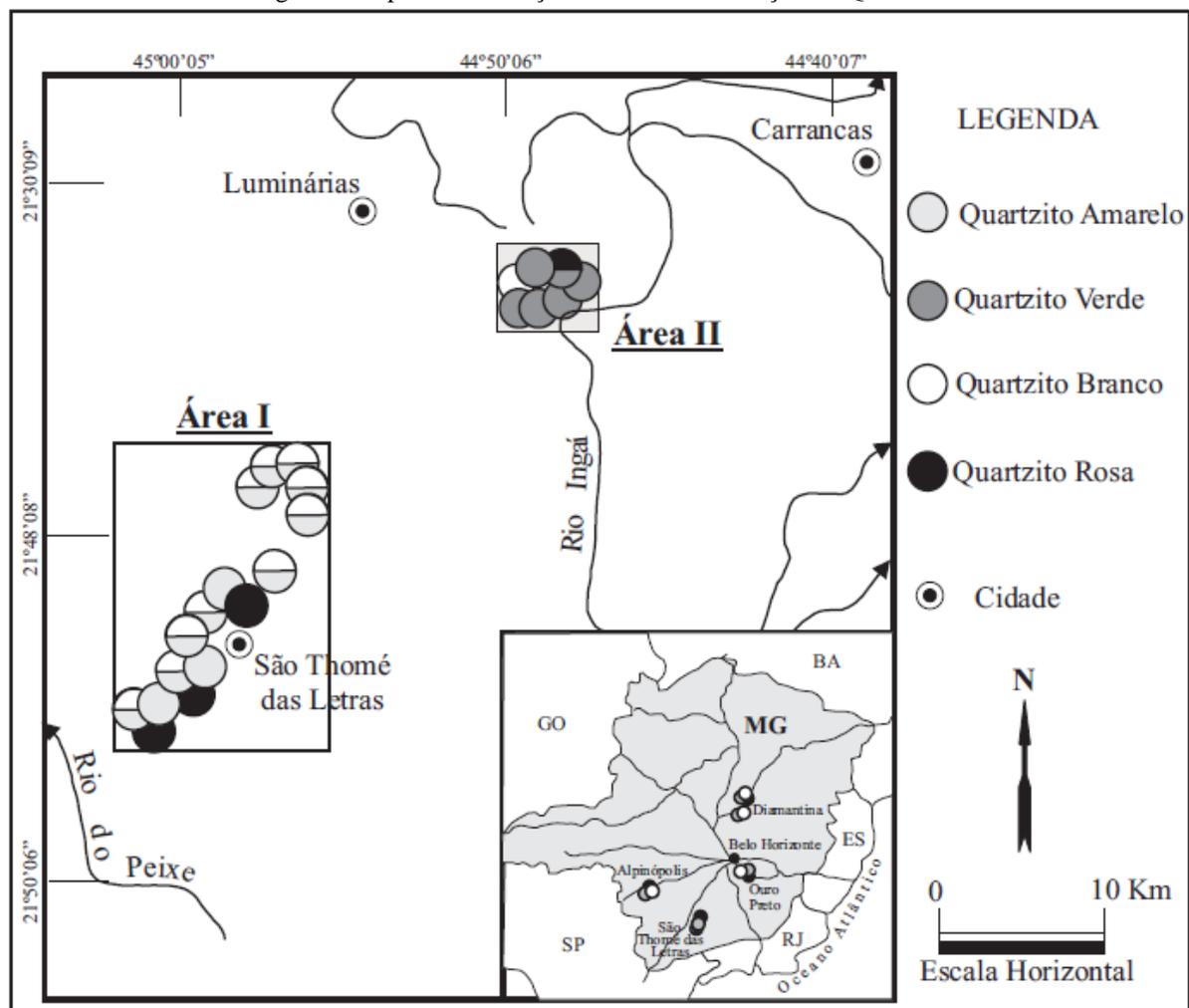
- Caracterizar fisicamente o agregado originado do rejeito de quartzito;
- Verificar as conformidades do agregado graúdo de quartzito quanto as normatizações;
- Produzir concreto com agregado graúdo de quartzito;
- Produzir concreto com agregado graúdo de gnaiss;
- Realizar ensaios de resistência à compressão;
- Realizar ensaios de resistência à tração por compressão diametral;
- Fazer comparações entre as características dos dois concretos;
- Verificar viabilidade técnica de aplicação e produção do agregado de quartzito considerando estudos elaborados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos geológicos do centro produtor de São Thomé

São Thomé das Letras (MG) está localizado na Serra da Boa Vista de onde afloram quartzitos de coloração esbranquiçada, amarelada e rosada. Aos arredores da cidade estão instaladas as frentes de lavras de quartzito do Centro Produtor Área I (figura 1) para fins ornamentais. Possuindo uma estrutura foliada/laminada e predominante, com intercalação heterogênea variando em espessuras centimétricas a métricas de maciço, as placas de espessuras maiores que 10 cm não são aproveitados para fins ornamentais (Fernandes G.; Godoy; Fernandes H, 2003).

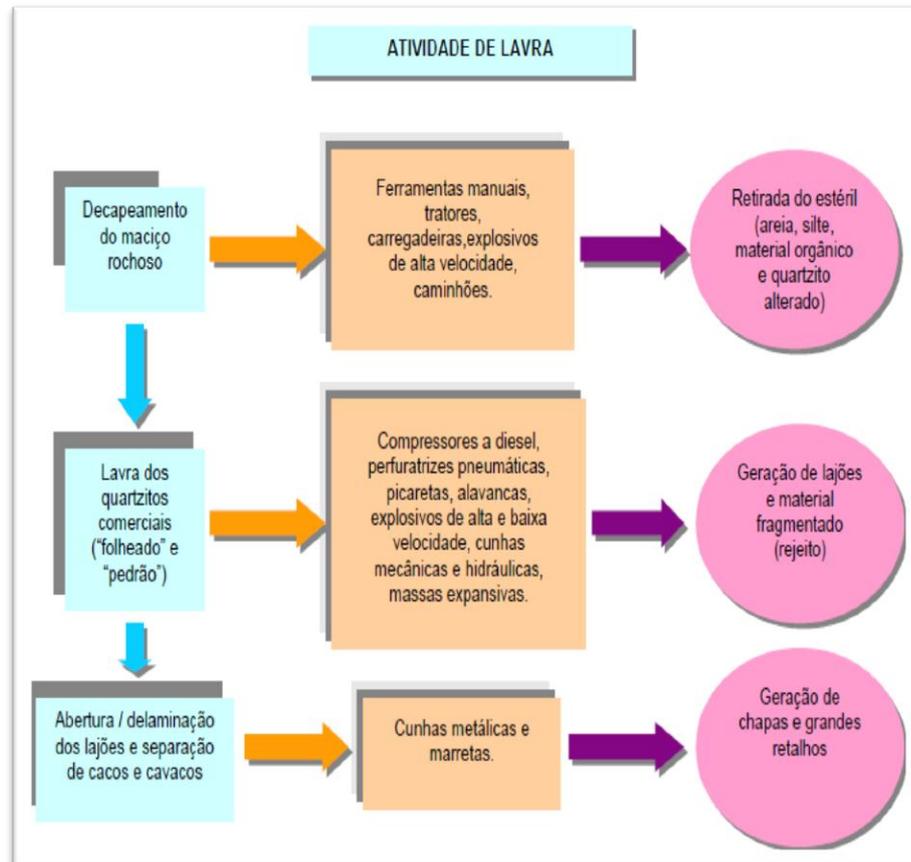
Figura 1-Mapa de localização das áreas de extração do Quartzito



Fonte: (Fernandes G.; Godoy; Fernandes H, 2003)

De acordo com (FEAM, 2009) a lavra é simples, basicamente efetuada em três estágios conforme apresentado no fluxograma abaixo (figura 2).

Figura 2-Fluxograma simplificado da atividade de Lavra da Pedra São Thomé



Fonte: (FEAM, 2009)

Segundo (FEAM, 2009) somente no ano de 2008, no Centro Produtor de São Thomé das Letras, obteve uma produção bruta total de lavra correspondente a 1,3 milhões de toneladas, totalizado de 400 mil toneladas de material utilizável e 900 mil toneladas de rejeitos.

Para cálculo estimado do volume de rejeitos acumulados no município pode-se considerar os dados históricos abaixo calculados, segundo as médias variante entre a década de 1950 para a década de 2000:

- Produção bruta com evolução média anual de 200 mil toneladas para 1,2 milhão;
- Uma taxa de recuperação da lavra de 10% para 30%;
- 80% como média histórica de geração de resíduo permanente na região de extração.

Estima-se cerca de 26,7 milhões de toneladas de rejeito acumulados no município desde 1950 até 2009 (tabela 1), Como apenas cerca de 70% deste total seja recuperável como matéria-prima de uso industrial na construção civil, teria 19 milhões de toneladas disponíveis (FEAM, 2009).

Tabela 1-Estimativa dos Rejeitos Acumulados no Município de São Thomé das Letras

<b>Período considerado</b>	<b>Produção Bruta Média Anual de Lavra (milhão t)</b>	<b>Taxa de Perda na Lavra (%)</b>	<b>Taxa de Acumulação Local (%)</b>	<b>Total Acumulado no Período (milhão t)*</b>
<b>1950-59</b>	0,2	90	80	1,5
<b>1960-69</b>	0,4	90	80	2,9
<b>1970-79</b>	0,6	90	80	4,1
<b>1980-89</b>	0,8	85	80	5,1
<b>1990-99</b>	1	80	80	6,4
<b>2000-09</b>	1,2	70	80	6,7
<b>Total</b>				26,7

(\*)  $E = B \times C \times D \times 10 \text{ anos}$

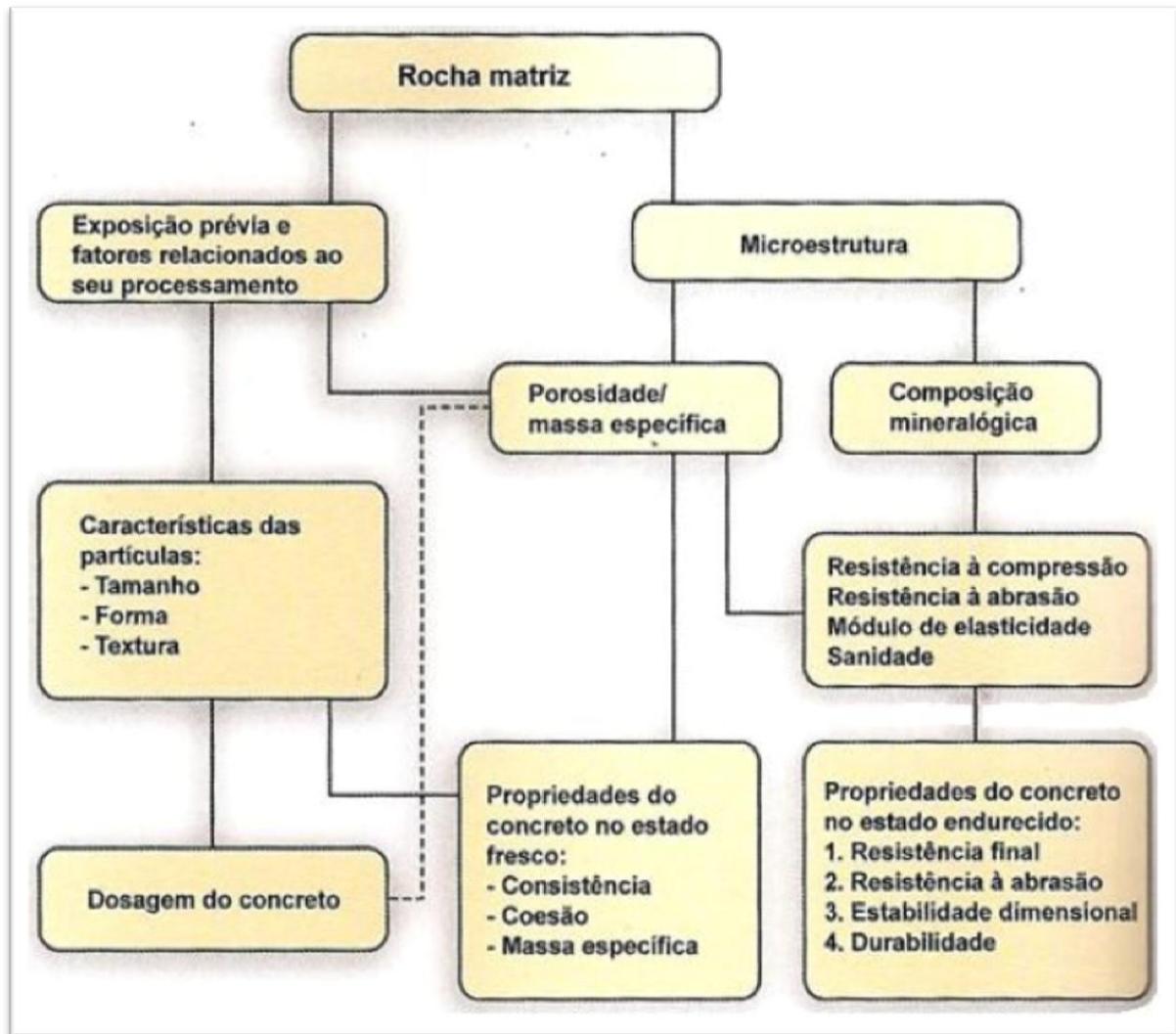
Fonte: (FEAM, 2009)

## 2.2 Agregados para uso na construção civil

"Agregado" é o termo generalizado na tecnologia do concreto, conhecido na construção civil como: fíler, pedra brita, bica corrida, rachão, areia etc. Constituído por material incoesivo, de atividade química praticamente nula. Pode-se classificar segundo a origem, dimensão das partículas e pelo peso específico aparente (BAUER, 2000).

De acordo com Metha e Monteiro (2008) os comportamentos do concreto tanto no estado fresco ou endurecido, estão diretamente influenciados pelos agregados. A (figura 3) apresenta como as características da rocha matriz dos agregados influenciam nas propriedades do concreto.

Figura 3-Diagrama de influência dos agregados no concreto



Fonte: (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

### 2.2.1 Especificações dos materiais para agregado na construção civil

ABNT NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação. Estabelece algumas discriminações para recepção e produção dos agregados destinados à produção de concretos de cimento Portland, atendendo aos requisitos de agregados encontrados já fragmentados ou de britagem de rochas. Definidos como: agregado miúdo ou graúdo segundo suas dimensões granulométricas. Estes devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos.

- **Agregado miúdo:** cujos grãos passam pela peneira de malha 4,75mm e ficam retidos na de malha 150 µm, (ABNT NBR NM 248/2003).

- **Agregado graúdo:** cujo grãos passam pela peneira de malha 75mm e ficam retidos na de malha 4,75mm (ABNT NBR NM 248/2003).

Os agregados ainda devem atender alguns limites e especificações, em relação aos aspectos físicos e mecânicos, estes limites segundo Verhoef e Van de Wall (1998 apud GOMES, 2001), encontrados através de parâmetros comparativos de resultados de ensaios laboratoriais, para avaliar a qualidade do agregado (Tabela 2).

Tabela 2-Tabela de avaliação da qualidade do agregado

<b>ENSAIO (ÍNDICE)</b>	<b>EXCELENTE</b>	<b>BOM</b>	<b>RAZOÁVEL</b>	<b>RUIM</b>
<b>Massa específica seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	> 2,9	2,6 - 2,9	2,3 - 2,6	< 2,3
<b>Absorção d`agua (%)</b>	< 0,5	0,5 - 2,0	2,0 - 6,0	> 6,0
<b>Porosidade (%)</b>	< 2	2	3	> 4
<b>Resistência a compressão simples (MPa)</b>	> 200	100 - 200	50 - 100	< 50

Fonte: Verhoef e Van de Wall (1998 apud GOMES, 2001)

Segundo Frazão (2002) a (Tabela 3) apresenta as descrições hierárquicas das propriedades e aplicação dos tipos rochosos na construção civil.

Tabela 3-Importância do conhecimento das propriedades

<b>Propriedades e Aplicações</b>	<b>Concretos</b>	<b>Concretos</b>	<b>Lastros</b>	<b>Revestim.de</b>
	<b>Hidráulicos</b>	<b>Betuminosos</b>	<b>Ferrovíarios</b>	<b>edificações</b>
<b>Características petrográficas</b>	1	1	1	1
<b>Índices físicos</b>	1	1	1	1
<b>Distribuição granulométrica</b>	1	1	1	Na
<b>Forma do agregado</b>	1	1	1	Na
<b>Resistência à compressão</b>	2	2	1	3
<b>Resistência flexão</b>	3	3	3	1

**3 = muito importante; 2 = importante; 1 = pouco importante; Na = não aplicável**

Fonte: (FRAZÃO, 2002). Adaptado pelo AUTOR

A (Tabela 4) está representado algumas especificações de propriedades típicas dos gnaisses e quartzitos utilizados na confecção de concreto (SBRIGHI NETO, 2005).

Tabela 4-Propriedades típicas dos gnaisses e quartzitos utilizados como agregado

Rocha	Resistência à compressão (MPa)			Absorção (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo Deformação (GPa)
	Média	Máxima	Mínimo			
<b>Gnaisse</b>	150	240	100	0,2 a 0,8	2,55 a 2,70	40 a 70
<b>Quartzito</b>	260	400	130	0,1 a 0,8	2,55 a 2,70	50 a 100

Fonte: (SBRIGHI NETO, 2005)

### 2.2.2 Características e propriedades do quartzito e gnaisse

- **Quartzitos** são rochas metamórficas, do metamorfismo dos arenitos, constituído basicamente por quartzo, quando quebrados a fratura é áspera (figura 4), apresentando variedade de cores. Utilizados como pedra de revestimento, mesmo apresentando elevada dureza, não são utilizados como pedra britada (POPP, 2010; FRAZÃO 2002).

Figura 4-Quartzito branco (São Thomé)



Fonte: AUTOR

- **Gnaisses** são rocha do tipo Metamórficas de granulação mais grosseiras e duras, apresentam faixas alternadas de tons claros e escuros (figura 5), constituído principalmente de quartzo e feldspatos. Utilizada na construção civil para revestimento e como pedra britada, sua resistência mecânica varia de acordo com

a direção da aplicação dos esforços, o fato de possuir fragmentos achatados e alongados pode ser minimizado por britagem (POPP, 2010; FRAZÃO 2002).

Figura 5-Gnaisse



Fonte: AUTOR

As características físicas e tecnológicas dos quartzitos de São Thomé das Letras, encontradas pelo estudo realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/ ICGE/ UNESP, estão sumarizadas na (Tabela 5).

Tabela 5-Valores médios dos ensaios de caracterização dos Quartzitos do Centro Produtor de São Thomé

<b>Ensaio Tecnológico</b>		<b>Branco</b>	<b>Amarelo</b>	<b>Róseo</b>
<b>Massa Específica Ap. Seca</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	2.640	2.620	2.570
<b>Massa Esp. Ap. Saturada</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	2.640	2.630	2.600
<b>Porosidade Aparente</b>	(%)	0,5	0,9	2,5
<b>Absorção D`agua</b>	(%)	0,2	0,4	1,0

Fonte: (Fernandes G.; Godoy; Fernandes H.), Adap pelo AUTOR

O quartzito branco é uma variedade ocorrente principalmente no Centro Produtor de São Thomé das Letras, é predominante entre as demais variedades e sua composição é de (90-95%) de quartzo e (5-10%) de muscovita. O quartzo mineral predominante tem grãos de tamanhos variando entre (0,1 e 0,3 mm). Os contatos entre grãos são dos tipos serrilhados, misto, reto e lobular tendo como predominante o contato misto. A muscovita apresenta grãos de (0,1 a 0,3 mm) descontínuo entre si encontrados entre os contatos dos grãos de quartzo (FERNANDES G.; GODOY; FERNANDES H.).

## 2.3 Cimento Portland

Conforme Bauer (1995), cimento Portland é oriundo da pulverização do clínquer (calcário e argila), composto basicamente por silicatos de cálcio, além de uma pequena parte de sulfato de cálcio natural, em alguns casos são feitas adições de substâncias com o intuito de alterar suas propriedades e facilitar no manuseio.

### 2.3.1 Tipos de cimento

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), os cimentos são classificados conforme os tipos pelas nomenclaturas (CP) seguidas pelo número de classe e ainda se for o caso por iniciais de suas características específicas sendo:

- Cimento Portland comum CP I e CP I-S

O cimento Portland comum CP I não contém adição. Utilizado em obras de concreto em geral desde que não tenha contato com sulfatos existentes no solo e com águas subterrâneas. O cimento CP I-S se difere do primeiro pelo acréscimo de material pozzolânico, também utilizado em construções em geral.

- Cimento Portland composto CP II

Este Cimento se difere do CP I, pelo processo de liberação do calor ser mais lentamente o que favorece para uso em grandes volumes de concretagem, além de possuir algumas resistências a sulfatos. Dividido em três tipos de CP II sendo:

Cimento Portland CP II-Z → Contém adição de Pozolânia, propiciando um concreto mais impermeável, indicado para obras subterrâneas, marítimas e industriais.

Cimento Portland composto CP II-E → Contém adição de escória de alto-forno e material pozzolânico, indicado para obras que sofram ataques por sulfatos.

Cimento Portland composto CP II-F → Contém adição de material carbonático e filler, pode ser utilizado em obras em geral.

- Cimento Portland de Alto-Forno CP III - com escória

O cimento CP III possui uma alta impermeabilidade e durabilidade, é resistente à sulfatos e a expansão por reação álcali-agregado. Pode ser utilizado em obras em geral, sendo ainda indicado na produção de grandes peças em concreto e em ambientes agressivos.

➤ Cimento Portland CP IV - com pozolana

Além da boa durabilidade e impermeabilidade o cimento CP IV com pozolana apresenta resistência à compressão superior ao cimento Portland comum, favorecendo sua aplicação em obras de grande volume de concreto, por apresentar baixo calor de hidratação.

➤ Cimento Portland CPV ARI (Alta resistência inicial)

O Cimento Portland CPV ARI se destaca entre os demais por atingir uma resistência à compressão de aproximadamente 26 MPa em 24 horas de cura, vantagem devido à utilização de dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer e pela moagem mais refinada do cimento. Indicado para fabricação de tubos, postes, lajes e em obras que seja necessário uma desforma rápida.

➤ Cimento Portland CP- RS (Resistente a sulfatos)

CP-RS é o Cimento que apresenta uma maior resistência ao ataque de sulfato, sendo indicado para utilização em redes de esgotos, tubulações industriais, em obras de recuperação estrutural e em regiões litorâneas.

➤ Cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC)

O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é um cimento que apresenta retardantes da liberação de calor, indicado para peças de grande volume de concreto pela sua característica de retardo evita fissuras devido a variação de calor durante a hidratação do cimento.

➤ Cimento Portland Branco (CPB)

Para fins arquitetônicos o Cimento Portland Branco tem a vantagem de poder ser utilizado para obras estruturais proporcionando um concreto branco, com classe de resistências de 25, 32 e 40. Já o não estrutural é indicado para rejuntamento de pisos e azulejos.

## **2.4 Concreto**

O concreto, material em constante evolução é o resultado da mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Considerado como um sólido a partir da pega, em alguns casos é incorporado produtos químicos com a finalidade de aumentar a trabalhabilidade a resistência e retardar a pega. O planejamento e cuidados na execução do concreto são de suma importância para que se tenha um concreto que apresente as características desejadas, por tanto o conhecimento e a escolha dos materiais disponíveis são fundamentais na hora de definir o traço. O concreto é um fator de suma importância no orçamento da obra, devido ao fato do concreto estar diretamente vinculado à economia geral do projeto, onde à busca pela qualidade é incessante, podendo resultar em um elevado preço do empreendimento.

### **2.4.1 Concreto no estado fresco**

Quando em estado fresco, o concreto apresenta algumas propriedades importantes que estarão perpetuados a sua resistência após a cura, sendo elas: consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. Para obtenção de um concreto de qualidade, sólido com grande resistência e poucos espaços vazios, é necessária uma perfeita hidratação do cimento, de forma que a pasta (cimento + água) envolva totalmente os agregados expostos. Não menos significativo o adensamento e o processo de cura também interferem as características finais do concreto (BAUER, 2000; CARVALHO e FIQUEIREDO, 2014).

Conforme ABNT NBR 12655 (20015), que define como deve ser realizado o preparo, controle e recebimento do concreto, o concreto pode ser produzido na obra ou produzido em usinas. Ainda define como concreto fresco o concreto que está misturado e ainda se encontra em estado plástico.

De acordo com ABNT NBR NM 67 (1998), após a mistura dos materiais deve ser submetido a ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone, para determinar a

consistência do concreto no estado fresco através da medida de seu assentamento. Este método é aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresente um assentamento  $\geq 10$  mm, como resultado do ensaio.

#### 2.4.2 Concreto no estado endurecido

Conforme Neville e Brooks (2013), Depois de endurecido as características de interesse são as mecânicas, com destaque para resistência à compressão e tração, em outras situações praticas, a durabilidade, impermeabilidade e estabilidade de volume podem ser de maior interesse, porém, a resistência por estar atada à estrutura da pasta de cimento, pode dar uma noção geral da qualidade do concreto.

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2014), a resistência à compressão é a principal característica do concreto, utilizado de maneira a explorar sua boa resistência neste aspecto, à qual pode ser determinada por ensaio de corpos de prova submetidos à compressão centrada.

Conforme ABNT NBR 5739 (2007), para determinar a resistência à compressão do concreto endurecido, os corpos-de-prova devem ser moldados conforme a NBR 5738, que determina como deve ser a moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

### 2.5 Dosagem do concreto

Entende-se segundo Recena (2011) por dosagem de concreto o processo de escolha dos materiais disponíveis com preços adequados, determinando a proporção entre cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água, aditivos e adições. Nem sempre a melhor economia se aplica à melhor trabalhabilidade, maior durabilidade e resistência mecânica. A dosagem vem contrabalançar estes aspectos, encontrando um traço de concreto viável economicamente e que atenda as solicitações desejadas.

Ainda conforme Recena (2011) existe uma grande quantidade de roteiros conhecidos como método de dosagem. Podendo ser divididos em métodos empíricos e métodos experimentais. Empíricos são aqueles realizados sem ensaiar o material, utilizando de bases arbitrárias, experiências anteriores ou por tradição, tal método só é permitido em obras de pequeno vulto. O método experimental é aquele realizado em laboratórios, onde os componentes e a mistura ideal são encontrados através de ensaios.

### 2.5.1. Método de dosagem ABCP/ACI

Método publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, baseado na Norma ACI 211.1-81 Standard Practice For Selections For Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, adaptação do método americano para as especificações brasileiras regidas pela norma NBR 7211 - Agregados para concreto.

Este método fornece uma aproximação do quantitativo de materiais, devendo-se ainda realizar misturas experimentais. Para encontrar o a dosagem experimental, o método pode ser dividido em 4 etapas simplificadas sendo:

1) Deve-se entrar com dados de caracterização dos materiais:

- Cimento → Tipo, massa específica e resistência do cimento aos 28 dias;
- Agregado miúdo → Módulo de finura, massa específica e massa unitária;
- Agregado graúdo → Massa específica e massa unitária compactada;
- Concreto desejado → Consistência desejada no estado fresco, condições de exposição, resistência característica do concreto e resistência de dosagem do concreto.

2) Encontrar através da curva de Abrams a relação água/cimento, relacionando a resistência à compressão do concreto desejada aos 28 dias e a resistência normal do cimento aos 28 dias;

3) Determinar o consumo de materiais → Cimento, agregados e água. O consumo de cimento depende diretamente do consumo de água. O consumo de agregado graúdo depende do módulo de finura da areia e da dimensão máxima do agregado graúdo. O consumo de areia depende do teor de pasta e do consumo de agregado graúdo, com o critério de alcançar um menor volume de vazios possível.

4) Apresentar a dosagem (traço do concreto) → A apresentação do traço segue a seguinte ordem: Cimento; Areia; Brita; A/C. Onde todos consumos em massa são divididos pelo consumo de cimento com o intuito de encontrar um traço unitário pelo peso de cimento.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para obtenção dos resultados foi necessário a realização de ensaios laboratoriais e aplicação de equações normatizadas conforme segue abaixo.

#### **3.2 Estudos e ensaios realizados em agregado graúdo**

Conforme recomendações da ABNT NBR 7211/2009, norma matriz para aceitação do agregado graúdo, foi analisado as seguintes normas:

##### **3.2.1 Coleta do material em campo (ABNT NBR NM 27/2001)**

Conforme indicado pela NM 27, que rege a metodologia para obtenção das amostras no item 4.3 explica que no caso de agregado graúdo pode-se utilizar de dois métodos (A e B), para coleta de amostras, que consiste em “estabelecer a redução das grandes amostras de campo a um tamanho adequado para ensaios de laboratório, de maneira que a amostra para ensaio seja a mais representativa possível”.

##### **3.2.2 Índice de forma (ABNT NBR 7809/2006)**

A forma dos agregados tem um destaque quanto as qualidades do concreto, podendo interferir em diversas características, tais como a trabalhabilidade e a resistência final do concreto. Os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 7809/2006 para determinar o índice de forma pelo método do paquímetro estabelece 3,0 como relação máxima aceitável quanto a relação C/E (comprimento/espessura). Devendo efetuar as medidas de C/E em grãos de agregados graúdos com a utilização de um paquímetro.

##### **3.2.3 Granulometria (ABNT NBR NM 248/2003)**

A NBR NM 248/2003 classifica como agregado graúdo, o agregado cujos grãos passam pela peneira de malha de 75 mm e ficam retidos na malha de 4,75 mm, e agregados miúdos o que passa pela abertura de 4,75mm. Estabelecendo uma série normal de malhas e uma série intermediária de peneiras (Tabela 6) para caracterização dos agregados. Para

determinar o diâmetro máximo do agregado, segundo a ABNT NBR NM 248 no item 3.2 determina como diâmetro máximo a malha que obter um percentual retido imediatamente menor ou igual a 0,5% retido na peneira de maior malha.

Tabela 6-Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária

<b>Série normal</b>	<b>Série intermediária</b>
72 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: (NBR 248, 2003)

### 3.2.4 Massa específica seca, aparente e absorção de água (ABNT NBR NM 53/2009)

A ABNT NBR NM 53/2009 determina os ensaios e equações para determinação da massa específica seca e massa específica aparente de Determinando ainda a porosidade e o nível de absorção de água do agregado.

Primeiramente o agregado é colocado em uma estufa à 105°C para secagem, até que alcance uma estabilidade de massa, este material é pesado e então colocado em um tanque submerso em água por 24 horas para total saturação do agregado, o agregado saturado é pesado em uma balança hidrostática e finalmente são aplicadas as equações para cada caso conforme abaixo (Equações 1, 2 e 3).

Equação 1: Massa específica do agregado seco

(EQ.1)

$$d = \frac{m}{m_s - m_a}$$

Onde:

$d$  = é a massa específica do agregado seco ( $\text{g/cm}^3$ )

$m$  = é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g)

$m_s$  = é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca (g)

$m_a$  = é a massa em água da amostra (g)

Equação 2: Massa específica do agregado na condição saturada superfície seca

(EQ.2)

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

Onde:

$d_s$  = é a massa específica saturada superfície seca ( $\text{g/cm}^3$ )

$m_s$  = é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca (g)

$m_a$  = é a massa em água da amostra (g)

Equação 3: Massa específica aparente

(EQ.3)

$$d_a = \frac{m_a}{m - m_a}$$

Onde:

$d_a$  = é a massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

$m$  = é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g)

$m_a$  = é a massa em água da amostra saturada (g)

Para determinação do percentual de absorção de água do agregado graúdo de quartzito seguiu se conforme estabelecido pela NBR NM 53/2009 com aplicação da (Equação 4).

Equação 4: Absorção de água

(EQ.4)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100$$

Onde:

A= é a absorção de água, em porcentagem;

$m_s$ = é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca (g);

$m$ = é a massa ao ar da amostra seca (g).

### 3.2.5 Massa unitária e índice de vazios (ABNT NBR NM 45/2006)

Conforme ABNT NBR NM 45/2006, a massa unitária no estado solto, conhecida como massa específica aparente, é o valor da massa pela unidade de volume do agregado no estado solto, uma das principais atribuições deste fator é para o cálculo de dosagem do concreto. Para determinação da massa unitária segue conforme (Equação 5).

Equação 5: Massa unitária e índice de vazios

(EQ.5)

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Onde:

$\rho_{ap}$ = é a massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)

$m_{ar}$ = é a massa do recipiente + agregado (g)

$m_r$ = é a massa do recipiente vazio (g)

V= é o volume do recipiente (cm<sup>3</sup>)

Para determinação do índice de vazios no agregado graúdo segue-se conforme estabelecido pela NBR NM 45/2006 com aplicação da (Equação 6).

Equação 6: índice de vazios

(EQ.6)

$$E_v = \frac{100((d_1 * \rho_w) - \rho_{ap})}{d_1 * \rho_w}$$

Onde:

$E_v$  = é o índice de vazios no agregado (%)

$d_1$  = é a massa específica relativa do agregado seco (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = é a massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{ap}$  = é a massa unitária do agregado (g/cm<sup>3</sup>)

### 3.2.6 Teor de materiais pulverulentos (ABNT NBR NM 46/2003)

Conforme a ABNT NBR 7211/2005, a quantidade máxima para materiais pulverulentos contidos no agregado graúdo é 1,0%, o teor de material pulverulento é determinado pela (Equação 7) onde os valores são obtidos pelo método de lavagem do agregado, onde o material que passa através da peneira de 75 µm por lavagem pode provocar alterações de porosidade e reduzir a resistência do concreto.

Equação 7: Teor de pulverulento

(EQ.7)

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

$m$  = pulverulentos em porcentagem (%)

$m_i$  = é a massa original da amostra seca (g)

$m_f$  = é a massa seca após a lavagem (g)

### 3.2.7 Teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT NBR 7218/2010)

Conforme a ABNT NBR 7218/2010 que determina os procedimentos para obtenção do teor de argila em torrões e materiais friáveis o agregado deve conter no máximo 1% de

substâncias nocivas, para determinação do teor de argila em torrões o método utilizado é por lavagem do agregado e pelo cálculo seguinte (Equação 8).

Equação 8: Teor de argila em torrões e materiais friáveis

(EQ.8)

$$m_t = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

$m_t$  = teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)

$m_i$  = é a massa inicial do intervalo granulométrico (g)

$m_f$  = é a massa após peneiramento via úmida (g)

### 3.3 Estudos e ensaios realizados em concretos

Para verificação das características dos concretos, foram realizados ensaios e estudos conforme as recomendações normativas seguintes.

#### 3.3.1 Método de dosagem do concreto (ABCP/ACI)

Método publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, baseado na Norma ACI 211.1-81 Standard Practice For Selections For Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, adaptação do método americano para as especificações brasileiras regidas pela norma NBR 7211 - Agregados para concreto. Este método fornece uma aproximação do quantitativo de materiais, devendo-se ainda realizar misturas experimentais. Para encontrar o a dosagem experimental, o método pode ser subdividido nas seguintes etapas:

- Resistência de dosagem do concreto ( $f_{c28}$ )

A resistência de dosagem do concreto é encontrada com um acréscimo devido ao desvio padrão segundo as condições de preparo do concreto aplicando a (Equação 9).

(EQ.9)

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times sd$$

Onde:

$f_{c28}$ = Resistência de dosagem do concreto

$f_{ck}$ = Resistência do concreto

$sd$ = Desvio padrão

Conforme a NBR 12655 o concreto com desvio padrão desconhecido deve ser adotado para cálculo da resistência de dosagem o valor apresentado conforme (Tabela 7), de acordo com a condição de preparo.

Tabela 7–Valores de desvio padrão (sd)

<b>CONDIÇÃO DE PREPARO</b>	<b>DESVIO PADRÃO (Mpa)</b>
<b>A</b>	4,0
<b>B</b>	5,5
<b>C</b>	7,0

Fonte: (ABNT NBR 12655)

Sendo:

A= O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.

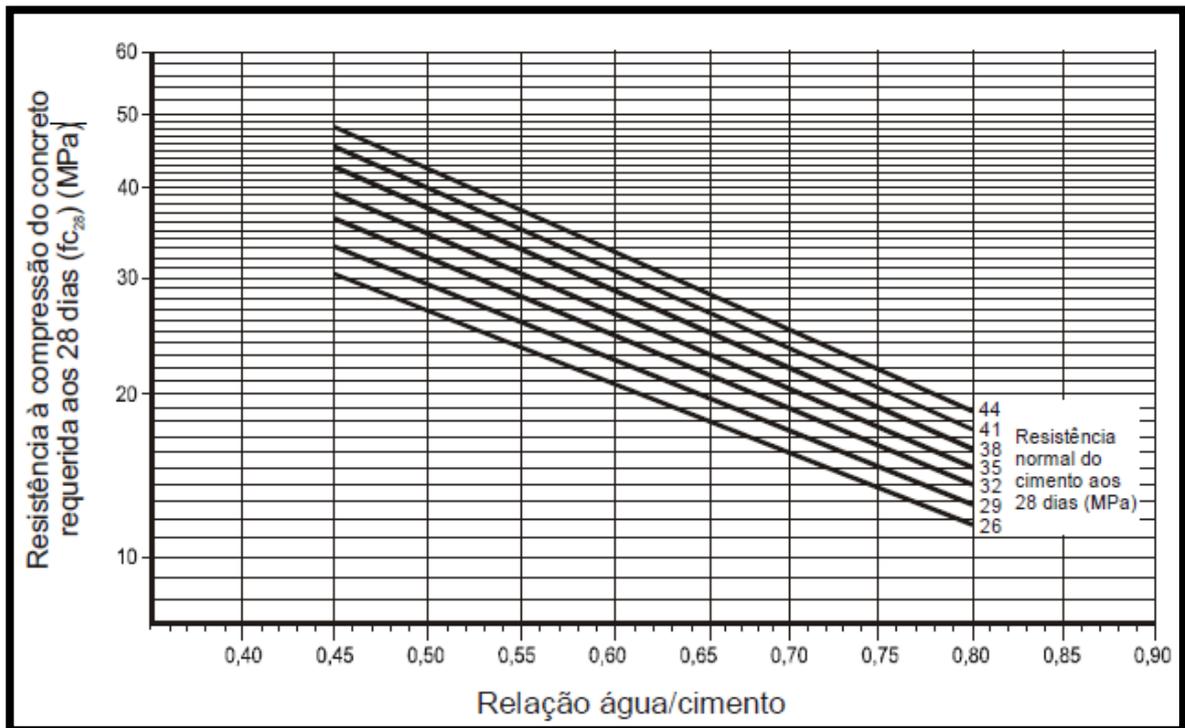
B= Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento.

C= O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto.

➤ Fixação da relação água/cimento (a/c)

A relação água/cimento é estimada pela curva de Abrams (Figura 6), onde em função do tipo de cimento e da resistência do concreto a ser produzido encontrasse a relação (a/c) para a produção do concreto.

Figura 6-Curva de Abrams



Fonte: (BUCHER, 1989).

➤ Estimativa do consumo de água ( $C_{ag}$ )

A estimativa do consumo de água necessária para a produção do concreto estabelecendo uma determinada consistência, medida pelo abatimento de tronco de cone. Conforme Rodrigues (1998), o volume de água depende da granulometria, da forma e textura dos grãos do agregado da mistura. Devido à dificuldade em encontrar a quantidade de água para a mistura por lei matemática, este autor estima o consumo de água por metro cúbico de concreto utilizando os valores expressos na (Tabela 8).

Tabela 8–Estimativa do consumo de água

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO GRAÚDO				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
<b>40 a 60mm</b>	220 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>	180 l/m <sup>3</sup>
<b>60 a 80mm</b>	225 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>
<b>80 a 100mm</b>	230 l/m <sup>3</sup>	205 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>

Fonte: RODRIGUES 1998

- Estimativa do consumo de cimento ( $C_c$ )

Apos determinada o consumo de água por metro cúbico de concreto, o consumo de cimento pode ser estimado pela aplicação da (Equação 10).

(EQ.10)

$$C_c = \frac{C_{ag}}{a/c}$$

Onde:

$C_c$ = Consumo de cimento por metro cúbico de concreto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_{ag}$ = Consumo de água por metro cúbico de concreto ( $\text{l}/\text{m}^3$ )

$a/c$ = Relação água/cimento ( $\text{kg}/\text{kg}$ )

- Estimativa do consumo de agregados

Para estimativa do consumo de agregado graúdo da mistura, propondo o menor volume de vazios inter-grãos possíveis, encontrando um teor ótimo da relação agregado graúdo/agregado miúdo, utilizasse a (Tabela 9) determinada pela (ABCP) que apresenta os volumes de agregado graúdo seco compactado por metro cúbico de concreto, utilizando do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo.

Tabela 9–Consumo de agregado graúdo da mistura

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁX. CAR. DO AGREGADO GRAÚDO				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
<b>1,8</b>	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
<b>2,0</b>	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
<b>2,2</b>	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
<b>2,4</b>	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
<b>2,6</b>	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
<b>2,8</b>	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
<b>3,0</b>	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
<b>3,2</b>	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
<b>3,4</b>	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
<b>3,6</b>	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: ABCP/ACI

Com aplicação da (Equação 11) é possível determinar o consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ) por metro cúbico de concreto.

(EQ.11)

$$C_b = V_b \times Y_b$$

Onde:

$C_b$ = Consumo de brita por metro cúbico de concreto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_b$ = Volume compacto seco do agregado graúdo por  $\text{m}^3$  de concreto

$Y_b$ = Massa unitária compactada do agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

O volume de agregado miúdo ( $V_a$ ), é encontrado por 1,0 metro cúbico de concreto aplicando a (Equação 12)

(EQ.12)

$$V_a = 1 - \frac{C_c + C_b + C_{ag}}{Y_c + Y_b + Y_{ag}}$$

Onde:

$V_a$ = Volume de agregado miúdo por metro cúbico de concreto ( $\text{m}^3$ )

$Y_c, Y_b, Y_{ag}$ = Massa específica do cimento, agregado graúdo e da água respectivamente

Aplicando a Equação 13 é determinado o consumo de areia por metro cúbico de concreto.

(EQ.13)

$$C_a = Y_a \times V_a$$

Onde:

$C_a$ = Consumo de agregado miúdo por metro cúbico de concreto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_a$ = Volume de agregado miúdo por metro cúbico de concreto ( $\text{m}^3$ )

$Y_a$ = Massa específica do agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

➤ Apresentação do traço de concreto

O traço de concreto em relação ao unitário de cimento, é demonstrado conforme a (Expressão 1) onde apresenta a quantidade de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e a relação água cimento respectivamente.

(EX.1)

$$1,0 : C_a : C_b : C_{ag}$$

### 3.3.2 Produção de concreto em laboratório (ABNT NBR 12821/2009)

Os concretos devem ser produzidos conforme recomendações da ABNT NBR 12821/2009, que estabelece os procedimentos para produção de concretos em laboratórios. Para moldagem e cura dos corpos de provas a norma ABNT NBR 5738/2003 determina os procedimentos necessários.

### 3.3.3 Resistência à compressão (ABNT NBR 5739/2007)

O ensaio de resistência à compressão deve ser realizado em conformidade a ABNT NBR 5739/2007.

Após a cura dos corpos de provas estes devem ser submetidos aos ensaios de rompimentos em intervalos diferentes de cura. Para cada lote e tempo de cura deve ser ensaiados 2 corpos de provas para encontrar uma média entre os dois.

Para determinação da resistência à compressão, a carga de maior valor obtida pelos dois corpos de provas ensaiados pelo deve ser dividida pela área da seção transversal do corpo de prova aplicando a equação a seguir (Equação 14).

(EQ.14)

$$\delta = (CP * 10000)/A$$

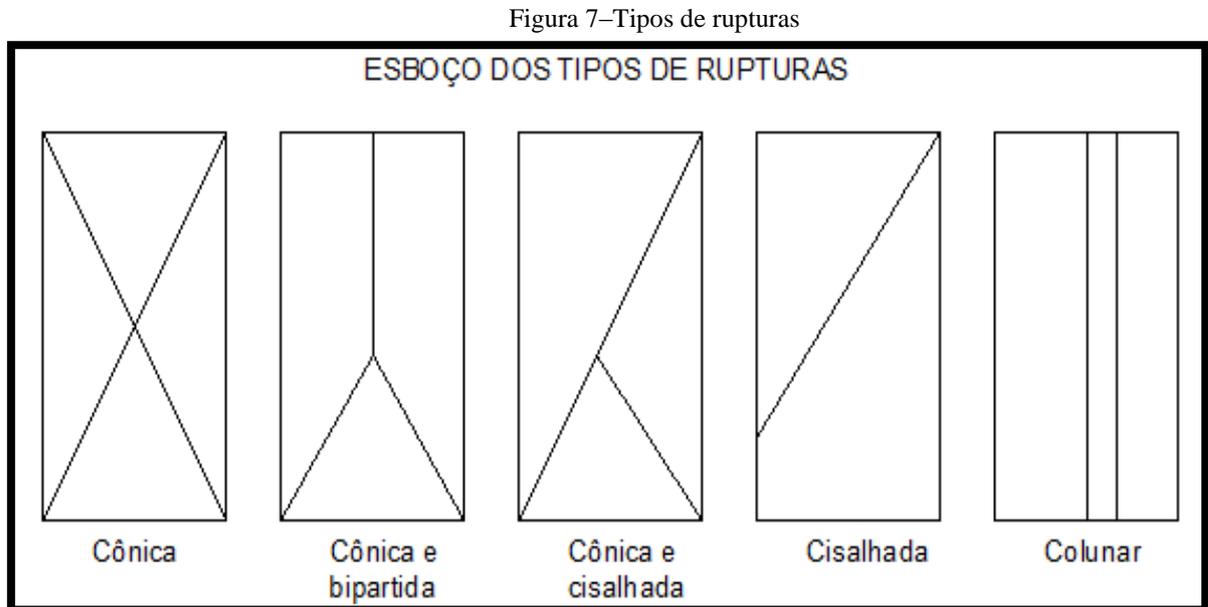
Onde:

$\delta$ = Resistência suportada (MPa)

CP= Carga suportada ensaio compressão, maior valor encontrado (tnf)

A= Área corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

De acordo com a NBR 5739/1994 existem cinco tipos de rupturas possíveis sendo elas conforme demonstrado abaixo (Figura 7).



Fonte: ABNT NBR 5739/1994

### 3.3.4 Resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222/2011)

Os corpos de provas submetidos a ensaio de resistência à tração por compressão diametral devem seguir as recomendações da ABNT NBR 7222/2011.

Este ensaio consiste na utilização dos mesmos aparelhos utilizados em ensaios de resistência à compressão. Os corpos de prova devem ter relação entre 1 e 2 quanto ao comprimento/diâmetro. O contato entre corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio, se dá com utilização de duas geratrizes opostas ao diâmetro do corpo de prova. É permitido adaptações na máquina uma vez que o corpo de prova deve ficar em repouso ao longo das geratrizes.

Para determinação da resistência à tração por compressão diametral o cálculo é feito pela expressão abaixo (Equação 15), conforme recomendações NBR 7222/2011.

(EQ.15)

$$V_{t,D} = \frac{2 * F}{\pi * d * L}$$

Onde:

$V_{t,D}$  = Resistência à tração por compressão diametral (MPa)

F = Carga média suportada de ensaio (kN)

d = Diâmetro do corpo-de-prova (mm)

L = Altura do corpo-de-prova (mm)

A resistência à tração também pode ser encontrada de forma direta a partir de cálculos utilizando os resultados de resistência à compressão ( $f_{ck}$ ), encontrando valores que conforme a NBR 6118/2014 estabelece o limite superior e inferior de resistência à tração (Equação 16).

(EQ.16)

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctk, inf} = 0,7 f_{ctm}$$

$$f_{ctk, sup} = 1,3 f_{ctm}$$

Onde: Nessas equações, as resistências são expressas em Mpa.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 Processo de extração do quartzito

Efetuada a céu aberto, as bancadas sucessivas de lavra com alturas variáveis, inicia-se posteriormente à retirada do material de capeamento e do quartzito alterado. O quartzito alterado é um material bastante quebradiço e friável de coloração escura; A retirada deste material é efetuada por meio de ferramentas manuais ou por carregadeiras e caminhões, ainda se necessário utiliza-se de explosivos.

Ao atingir o material de interesse o desmonte da rocha é feito com a utilização de explosivos, os furos são realizados por perfuratrizes pneumáticas ou compressores à diesel (Figuras 8), com brocas de ponta diamantada de alta resistência.

Figura 8-Compressor à diesel utilizado para perfuração



Fonte: AUTOR

Após a detonação iniciam-se os processos de limpeza "pesada", realizada por maquinários como retro escavadeira, carregadeiras e caminhões. O material rejeitado é descartado em montes de entulhos próximo às bancadas.

Finalizada a limpeza iniciam-se os trabalhos para desagregação das placas de quartzito, com a utilização de cunhas metálicas e marretas de até 10 kg, os mineradores separam os "maços de pedras" contendo cerca de 20 a 30 cm de espessura com várias placas juntas (figura 9).

Em seguida com marretas e cunhas menores os mineradores isolam "folheamento" as placas do "maço" (figura 10), para então com a utilização de esquadros de diferentes

tamanhos, riscar os tamanhos de cortes e munidos de talhadeira e martelo realizam os cortes com os tamanhos desejados.

Figura 9-Desmonte do "pedrão"



Fonte: AUTOR

Figura 10-"folheamento" da pedra



Fonte: AUTOR

Atualizando a tabela 1 apresentada na página 18 acrescentando o período de 2010 a 2017, adotando a mesma taxa de perda da década de 2000 a 2009 que foi de 70%. Pode-se chegar a um valor de 32,2 milhões de toneladas de rejeito bruto acumulado, com a taxa de materiais recuperáveis em 70%, teria acumulado um total de 22,54 milhões de toneladas de material com valor econômico potencial disponível no território referido (Tabela 10).

Tabela 10-Estimativa dos Rejeitos Acumulados no Município de São Thomé das Letras (Atualizada)

<b>Período considerado</b>	<b>Produção Bruta Média Anual de Lavra (milhão t)</b>	<b>Taxa de Perda na Lavra (%)</b>	<b>Taxa de Acumulação Local (%)</b>	<b>Total Acumulado no Período (milhão t)</b>
<b>1950-59</b>	0,2	90	80	1,5
<b>1960-69</b>	0,4	90	80	2,9
<b>1970-79</b>	0,6	90	80	4,1
<b>1980-89</b>	0,8	85	80	5,1
<b>1990-99</b>	1	80	80	6,4
<b>2000-09</b>	1,2	70	80	6,7
<b>2010-17</b>	1,4	70	80	5,5
<b>Total</b>				32,2
<b>Material Recuperável*</b>				22,53

(\*) **Material Recuperável = Total Acumulado x 70%**

Fonte: (FEAM, 2009; ATUALIZADA PELO AUTOR)

Este material encontra-se disponível aos arredores da cidade (Figura 11), o que causa certos transtornos à população, devido à poluição ambiental e visual da cidade que por sua vez se trata de uma cidade histórica, com forte gancho para exploração no ramo de turismo pela sua diversidade de pontos turísticos. Os dois interesses entram em conflito, onde um explora a mineração gerando poluições e o outro do turismo que depende da cidade bem apresentável para receber os turistas, no entanto a renda turística não é o suficiente para a população. Abrindo ai uma das necessidades de estudos relacionados ao aproveitamento do rejeito da mineração, para amenizar também a poluição visual do entorno da cidade.

Figura 11-Monte de rejeito da mineração (material utilizável)



Fonte: AUTOR

## 4.2 Diagnósticos dos estudos realizados nos agregados

Neste item serão abordados os resultados dos estudos e ensaios realizados no agregado graúdo de quartzito, sendo eles vinculados as especificações e recomendações da norma técnica ABNT NBR 7211/2009 seguidos de acordo com as seguintes normas:

- Coleta do material em campo (NBR NM 27/2001);
- Índice de forma (NBR 7809/2006);
- Granulometria (NBR NM 248/2003);
- Massa específica seca e massa específica aparente (NBR NM 53/2009);
- Absorção de água (NBR NM 53/2009);
- Massa unitária (NBR NM 45/2006);
- Índice de vazios (NBR NM 45/2006);

- Teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46/2003);
- Teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218/2010).

#### 4.2.1 Coleta do agregado em campo

As amostras de agregado graúdo de quartzito foram coletadas na empresa: SA Indústria e Beneficiamento Mineral Ltda ME. Localizada no Estado de Minas Gerais na Rodovia São Thomé Trevo de São Bento Abade Km 4.5 - Zn Rural, uma empresa fundada no ano de 2004, atuante na área de serviços de mineração de metais não metálicos, A empresa realiza a britagem do material de quartzito por um britador de mandíbula.

A coleta do material para os ensaios em laboratório seguiu conforme indicado pela NBR NM 27/2001 método (B), por quartejamento do material (figura 12).

Figura 12- Material de quartzito (quartejamento)



Fonte: AUTOR

#### 4.2.2 Índice de forma

Foram utilizados os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 7809/2006 para determinar o índice de forma do agregado graúdo de quartzito, pelo método do paquímetro (Figura 13). A forma dos agregados tem um destaque quanto as qualidades do concreto, podendo interferir em diversas características, tais como a trabalhabilidade e na resistência final do concreto.

Figura 13–Medição por paquímetro



Fonte: AUTOR

A NBR 7809/2006 estabelece 3,0 como relação máxima aceitável quanto a relação C/E (comprimento/espessura). O resultado obtido está apresentado na abaixo (Tabela 11).

Tabela 11-Resultado índice de forma do agregado graúdo quartzito

**MÉTODO NBR 7809/2006**

C/E	CONDIÇÃO
2,42	Aceitável

Fonte: AUTOR

## 4.2.3 Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados em conformidades a NBR 7211/09 e NBR NM 248, que classifica como agregado graúdo aquele cujos grãos passam pela peneira de malha de 75 mm e ficam retidos na malha de 4,75 mm, e como agregados miúdos aquele cujo grãos passam pela abertura de 4,75mm. A norma estabelece uma série normal e uma série intermediária de peneiras (Tabela 6, pagina 27) para realização do ensaio de granulometria.

O agregado graúdo foi colocado em um conjunto de peneiras com malhas de: 75 - 63 - 50 - 37,5 - 25 - 19 - 11,2 - 9,5 - 6,3 - 4,75 sendo estas medidas em milímetros, em um peneirador mecânico; após peneiramento foi realizada a pesagem do material retido em cada peneira em uma balança com precisão de 0,01 gramas (Figuras 14 e 15).

Figura 14-Pesagem do Agregado Quartzito



Fonte: AUTOR

Figura15-Peneiramento do agregado



Fonte: AUTOR

Dos ensaios granulométricos realizados no agregado graúdo de quartzito encontrou-se uma media conforme demonstrado na (Tabela 12).

Tabela 12-Composição granulométrica do agregado de quartzito

**Análise Granulométrica (AGQ). Média de 3 Análises**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Peso Retido médio (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>% Acum.</b>
<b>31,5</b>	0	0	0	0,0
<b>25</b>	5,28	0,26	5,28	0,26
<b>19</b>	270,97	13,60	276,25	13,86
<b>12,5</b>	1572,72	78,66	1848,97	92,52
<b>9,5</b>	73,01	3,65	1921,98	96,17
<b>6,3</b>	67,98	3,40	1989,96	99,57
<b>4,75</b>	5,51	0,28	1995,47	99,85
<b>Fundo</b>	3,78	0,19	1999,25	100
<b>Total</b>	1999,25	100		

Fonte: AUTOR

Também foi ensaiado o agregado graúdo de gnaiss fornecido pela Pedreira Santo Antônio o qual apresentou composição granulométrica conforme (Tabela 13).

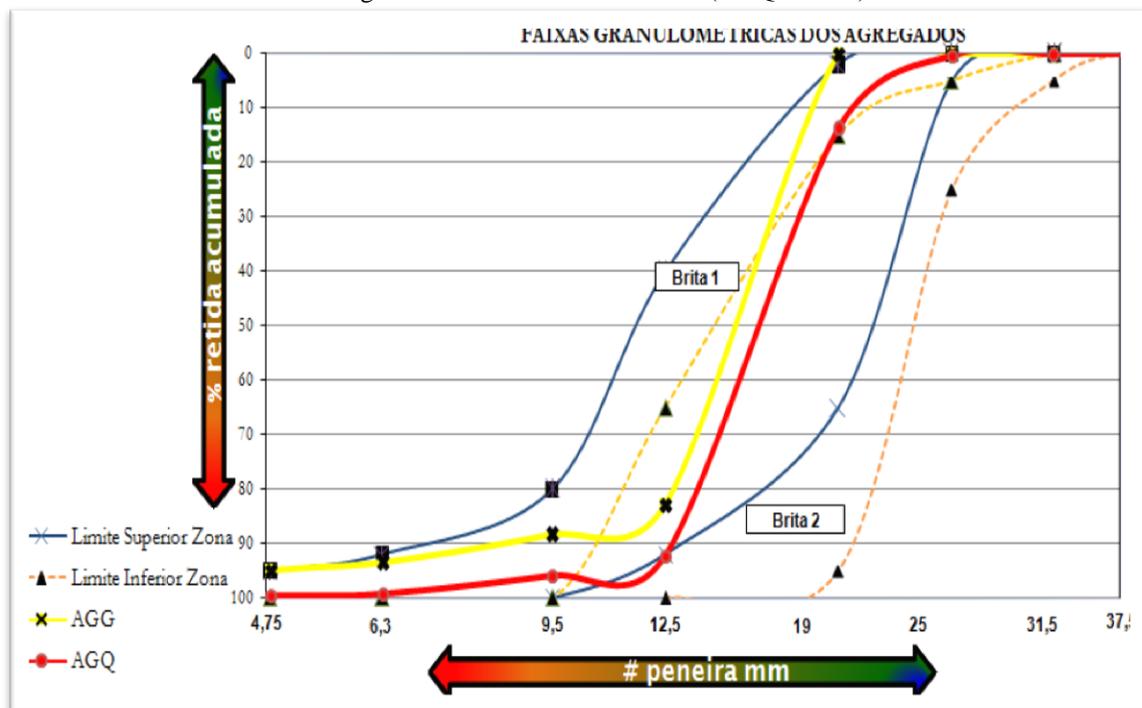
Tabela 13-Composição granulométrica do agregado de gnaiss

<b>Análise Granulométrica (AGG)</b>				
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>Peso Acumulado (g)</b>	<b>% Acum.</b>
<b>31,5</b>	0	0	0	0,0
<b>25</b>	0	0	0	0,0
<b>19</b>	0	0,0	0	0,0
<b>12,5</b>	2633,9	86,3	2633,9	86,3
<b>9,5</b>	180,45	8,7	2814,35	92,3
<b>6,3</b>	164,07	5,7	2978,42	97,6
<b>4,75</b>	44,02	1,6	3022,44	99,1
<b>Fundo</b>	27,9	1,0	3050,34	100,0
<b>Total</b>	3050,34			

Fonte: AUTOR

Abaixo (Figura 16) está representando as curvas granulométricas dos agregados de quartzito e gnaiss.

Figura 16-Zonas Granulométricas (AGQ e AGG)



Fonte: AUTOR

O resultado observado anteriormente demonstra que o agregado graúdo de quartzito não está dentro dos limites de intervalo estabelecidos pela ABNT 7211/2009 como agregados graúdo classificados como brita nº1 ou brita nº2, apresentando uma curva granulométrica entre os dois limites preestabelecidos, portanto se trata de uma mistura das duas britas. Este fator é justificado devido ao material ter sido coletado em campo, sem recomendações ou exigência de britagem, não sendo desclassificatório do material para utilização em concreto, uma vez que, em muitos casos utiliza-se de mais de um tipo de brita na confecção de concretos. Porém com observação a (NBR NM 248) no item 3.2 deve-se classificá-la como brita nº2 devido ou percentual retido na peneira de 25mm de 0,26%, valor imediatamente menor ou igual a 0,5% retido na peneira de maior malha.

#### 4.2.4 Massa específica seca e massa específica aparente

Em atendimento às prescrições normativas NBR NM 53/2009 a determinação da massa específica seca e massa específica saturada, foram encontradas através do método de pesagem por uma balança hidrostática. Determinando ainda a porosidade e o nível de absorção de água do agregado.

Os ensaios de determinação de massas foram realizados no agregado graúdo de quartzito (AGQ), seguindo os seguintes procedimentos: primeiramente o agregado é colocado em uma estufa à 105°C para secagem (Figura 17), até que alcance uma estabilidade de massa, este material é pesado e então colocado em um tanque submerso em água por 24 horas para total saturação do agregado e pesado em uma balança hidrostática.

Figura 17-Material sendo colocado em estufa



Fonte: AUTOR

A massa específica foi encontrada conforme as (Equações 1, 2 e 3, paginas 30 e 30) determinadas pela (NBR NM 53/2009).

A (Tabela 14) demonstra os resultados encontrados quando aplicado as equações acima mencionadas no agregado graúdo de quartzito (AGQ).

Tabela 14-Determinação de massa específica seca, saturada e aparente

<b>DETERMINAÇÃO DAS MASSAS (AGQ)</b>	
<b>m= é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g)</b>	3000
<b><math>m_a</math>= é a massa em água da amostra saturada (g<sup>3</sup>)</b>	1869,63
<b><math>m_s</math>= é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca (g)</b>	3005,9
<b>d= é a massa específica do agregado seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,64
<b><math>d_a</math>= é a massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,65
<b><math>d_s</math>= é a massa específica saturada superfície seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,645

Fonte: AUTOR

#### 4.2.5 Absorção de água

Para determinação do percentual de absorção de água do agregado graúdo de quartzito conforme estabelecido pela NBR NM 53/2009, foi aplicada a (Equação 4, pagina 31).

A (Tabela 15) demonstra os resultados encontrados de absorção de água encontrada no agregado de quartzito.

Tabela 15-Determinação da Absorção de Água

<b>DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (AGQ)</b>	
<b>m= é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g)</b>	3000
<b><math>m_s</math>= é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca (g)</b>	3005,9
<b>A= é a absorção (%)</b>	0,2

Fonte: AUTOR

#### 4.2.6 Massa unitária

Em atendimento às prescrições normativas NBR NM 45/2006 a massa unitária no estado solto, conhecida como massa específica aparente, é o valor da massa pela unidade de

volume do agregado no estado solto (Figura 18), uma das principais aplicações é no cálculo da dosagem em volume para produção do concreto e para obtenção do índice de vazios dos agregados.

Figura 18-Realização ensaio de massa unitária



Fonte: AUTOR

Para determinação da massa unitária do agregado gráúdo de quartzito seguiu se conforme estabelecido pela NBR NM 45/2006 com aplicação da (Equação 5, pag. 31).

Para determinação do índice de vazios no agregado gráúdo de quartzito seguiu se conforme estabelecido pela NBR NM 45/2006 com aplicação da (Equação 6, pag. 32).

Os resultados encontrados estão referidos na tabela abaixo (Tabela 16)

Tabela 16-Determinação da massa unitária e índice de vazios

**DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA E ÍNDICE DE VAZIOS (AGQ)**

<b><math>m_{ar}</math> = massa do recipiente + agregado (g)</b>	26.049,3
<b><math>m_r</math> = massa do recipiente vazio (g)</b>	6.995,7
<b>V = volume do recipiente (cm<sup>3</sup>)</b>	15.000,0
<b><math>\rho_{ap}</math> = massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,27
<b><math>d_1</math> = massa esp. agregado seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,64
<b><math>\rho_w</math> = massa específica da água a 23 ° C (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,997
<b><math>E_v</math> = índice de vazios no agregado (%)</b>	51,74

Fonte: AUTOR

#### 4.2.7 Teor de materiais que passa através da peneira 75 $\mu\text{m}$

Em atendimento aos procedimentos normativos da ABNT NBR NM 46/2003, foi realizado os ensaios que consiste na determinação do teor de pulverulentos presentes nos agregados, onde o excesso de finos, material que passa através da peneira de 75  $\mu\text{m}$  por lavagem pode provocar alterações de porosidade e reduzir a resistência do concreto.

Conforme a ABNT NBR 7211/2005 que determina uma quantidade de 1,0% como limite máximo para materiais pulverulentos contidos no agregado graúdo. O teor de material pulverulento foi determinado pela (Equação 7, pag. 32) encontrada na NBR NM 46/2003 que estabelece o método para determinação por lavagem (Figura 19).

Figura 19-Material pulverulento sendo retirado por lavagem



Fonte: AUTOR

A (Tabela 17) demonstra os resultados encontrados para determinação do teor de pulverulentos no agregado graúdo de quartzito calculado conforme recomendação (Equação 7, pag. 31).

Tabela 17-Determinação do Teor de Pulverulentos

<b>DETERMINAÇÃO DO TEOR DE PULVERULENTOS (AGQ)</b>	
<b><math>m_i</math> = é a massa original da amostra seca (g)</b>	1000
<b><math>m_f</math> = é a massa seca após a lavagem (g)</b>	994,2
<b><math>m</math> = pulverulentos em porcentagem (%)</b>	0,58

Fonte: AUTOR

#### 4.2.8 Teor de argila em torrões e materiais friáveis

Conforme a ABNT NBR 7218/2010 que determina os procedimentos para obtenção do teor de argila em torrões e materiais friáveis o agregado foi ensaiado e através da (Equação 8, pag. 33) determinado os resultados encontrados conforme mostrado na (Tabela 18).

Tabela 18-Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis

### DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES E MATERIAIS FRIÁVEIS (AGQ)

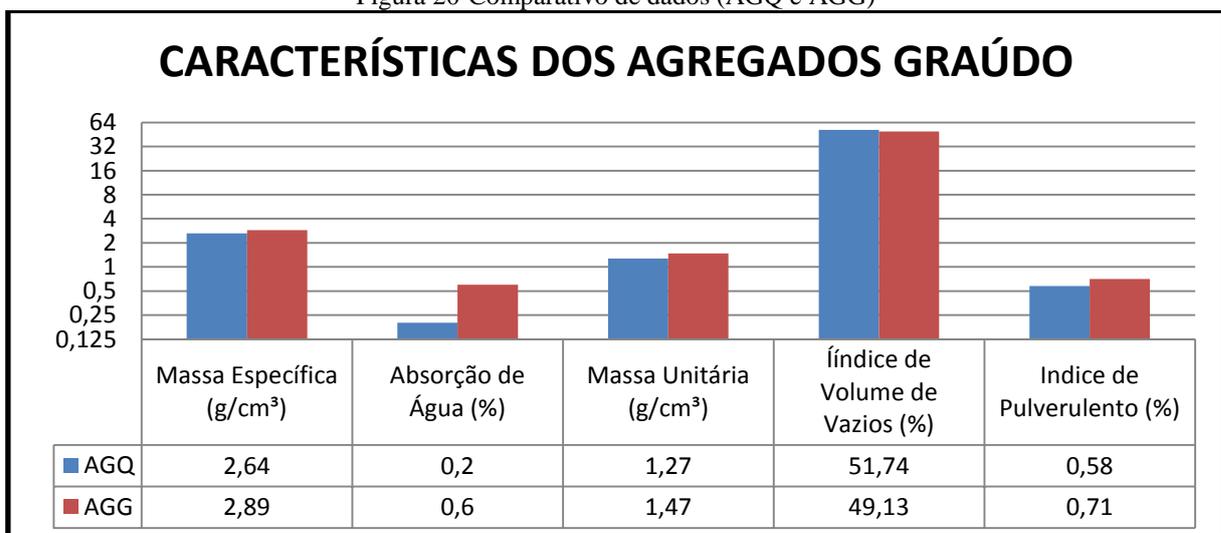
$m_i$ = é a massa inicial do intervalo granulométrico (g)	2000
$m_f$ = é a massa apos peneiramento via úmida (g)	1999
$m_t$ = teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	0,05

Fonte: AUTOR

#### 4.2.9 Desfecho de caracterização do agregado graúdo

Para realizar um comparativo entre o agregado de quartzito com o agregado comumente utilizado na região de varginha, foi escolhido o agregado graúdo de gnaiss como material referência, sendo este fornecido pela Pedreira Santo Antônio localizada em Varginha. Foram comparados os seguintes aspectos conforme sumarizados na (Figura 20).

Figura 20-Comparativo de dados (AGQ e AGG)



Fonte: AUTOR

Comparando os resultados acima, com a tabela 2 que avalia a qualidade do agregado, pode-se observar que a massa específica do AGQ apresenta um resultado classificado como bom, já o AGG em um resultado classificado como excelente, a absorção de água do AGQ é classificada como excelente e do AGG como boa.

O percentual do índice de vazios altera o quantitativo de argamassa necessária para preencher estes espaços vazios entre os agregados graúdos, quanto maior o índice de vazios será necessário de mais argamassa (água + cimento + agregado miúdo), portanto para o AGQ será necessário de mais argamassa para o fechamento dos vãos.

Conforme a (NBR NM 46) o material passante na peneira de 75 $\mu$ m (pulverulento) deve ter uma quantidade máxima relativa à massa do agregado em 1% a quantidade relativa encontrada foi de 0,58% no AGQ e de 0,71% no AGG

### **4.3 Diagnósticos dos estudos e ensaios realizados nos concretos**

Neste item serão abordados os estudos e ensaios realizados nos concretos com agregado graúdo de quartzito e concretos com agregado graúdo de gnaiss, sendo os ensaios e estudos de acordo com as especificações e recomendações das normas técnicas seguintes:

- Determinação de dosagem (Método - ACI/ABCP);
- Produção de concreto em laboratório (NBR 12821/2009)
- Moldagem e cura de corpos-de-prova (NBR 5738/2016);
- Resistência à compressão (NBR 5739/2007);
- Resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/2011).

#### **4.3.1 Dosagem dos concretos**

O estudo de dosagem dos traços dos concretos foi realizado através do método ACI/ABCP visando o consumo mínimo do teor de argamassa, levando em consideração o módulo de finura do agregado miúdo e o menor índice de vazios do agregado graúdo, com o objetivo de reduzir a relação a/c. Para determinação das diferentes dosagens dos concretos foi seguido as seguintes etapas:

- Resistência de dosagem do concreto ( $f_{c28}$ )

De acordo com a NBR 12655, aplicando a (Equação 9, pag. 33). a resistência de dosagem do concreto é encontrada com um acréscimo, devido ao desvio padrão de condições de preparo do concreto. Para concreto com desvio padrão desconhecido, deve ser adotado para cálculo da resistência de dosagem o valor apresentado conforme (Tabela 7, pag. 34), de acordo com a condição de preparo. Os resultados encontrados estão discriminados abaixo (Tabela 19), onde para cada traço foi determinadas uma identificação específica segundo ao tipo rochoso do agregado graúdo e da resistência características.

Tabela 19-Determinação do  $f_{c28}$  dos traços de concretos

<b>IDENTIF.</b>	<b>TIPO ROCHOSO</b>	<b>fck</b>	<b>f<sub>c28</sub></b>
<b>TG 20</b>	Gnaisse	20	26,6
<b>TQ 20</b>	Quartzito	20	26,6
<b>TG 25</b>	Gnaisse	25	31,6
<b>TQ 25</b>	Quartzito	25	31,6
<b>TG 30</b>	Gnaisse	30	36,6
<b>TQ 30</b>	Quartzito	30	36,6

Fonte: AUTOR

- Fixação da relação água/cimento (a/c)

A relação água/cimento foi estimada pela curva de Abrams (Figura 6, pag. 35), onde em função do tipo de cimento e da resistência do concreto a ser produzido encontrasse a relação (a/c) para a produção do concreto.

- Estimativa do consumo de água ( $C_{ag}$ )

O volume de água depende da granulometria, da forma e textura dos grãos do agregado da mistura. O consumo estimado de água para produção dos concretos foi encontrado na (Tabela 8, pag. 35).

- Estimativa do consumo de cimento ( $C_c$ )

Apos determinada o consumo de água por metro cúbico de concreto, o consumo de cimento foi estimado pela aplicação da (Equação 10, pag 36).

➤ Estimativa do consumo de agregados

Para estimativa do consumo de agregado graúdo da mistura, propondo o menor volume de vazios inter-grãos possíveis, encontrando um teor ótimo da relação agregado graúdo/agregado miúdo, foi utilizada a tabela de consumo de agregado graúdo da mistura (Tabela 9, pag. 34) determinada pela (ABCP/ACI) que apresenta os volumes de agregado graúdo seco compactado por metro cúbico de concreto, utilizando do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo.

Com aplicação da (Equação 11, pag. 37) foi possível determinar o consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ) por metro cúbico de concreto.

O volume de agregado miúdo ( $C_a$ ), foi encontrado pelo volume de 1,0 metro cúbico de concreto aplicando a (Equação 12, pag. 37)

Aplicando a (Equação 13, pag. 37) foi determinado o consumo de areia por metro cúbico de concreto.

➤ Apresentação do traço de concreto

O traço de concreto em relação ao unitário de cimento foi demonstrado conforme a (Expressão 1, pag.38) apresentando a quantidade de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e a relação água cimento respectivamente.

Primeiramente foi determinado um traço para o concreto comumente utilizado na região utilizando agregado graúdo de gnaiss e depois um traço com agregado graúdo de quartzito. Todos os traços de concretos obedecendo a um abatimento entre  $70 \pm 10$  mm com condição de preparo (A), onde o cimento os agregados e a água são medidos em massa, Atendendo os critérios de trabalhabilidade para mistura em betoneira estacionária, transporte, lançamento e adensamento manual.

Os concretos foram produzidos em laboratório sendo ajustados os traços devido às diferentes massas específicas dos agregados graúdos e da resistência desejado do concreto, fixando o abatimento e a relação a/c de cada Fck sendo eles: 20 MPa, 25MPa, 30 Mpa.

#### 4.3.2 Produção dos diferentes traços de concreto em laboratório

As propriedades do concreto no estado endurecido estão ligadas diretamente as propriedades no estado fresco, sendo necessário um cuidado no preparo e efetuar um controle rigoroso enquanto no estado fresco o que vai refletir nas qualidades adequadas estabelecidas em projeto.

Para produção dos concretos, foram utilizados materiais padronizados para todos os traços com o intuito de realizar uma análise comparativa coerente entre as propriedades dos concretos produzidos, hora utilizando o concreto comumente utilizado na região que é o de agregado graúdo de gnaiss e hora utilizando agregado graúdo de quartzito, mantendo a mesma relação água/cimento entre os dois tipos e variando de acordo com as resistências estudadas.

O cimento utilizado para a produção dos concretos foi o CP II E-32, este de consumo mais comum na região em obras populares.

O agregado miúdo utilizado para a produção dos concretos foi adquirido na empresa Mineração Santo Antônio localizada em Varginha que produz areia de britagem de gnaiss. O agregado miúdo utilizado é denominado como areia média e apresenta o modulo de finura de 2,58 e massa específica de 2,89 kg/dm<sup>3</sup>.

O agregado graúdo de gnaiss foi escolhido para produção do concreto referencial por ser o de consumo tradicional na região. A jazida fica localizada em varginha. Pertencente empresa Mineração Santo Antônio.

O agregado graúdo de quartzito foi adquirido na empresa SA Indústria e Beneficiamento Mineral Ltda ME. Localizada em São Thomé das Letras

A água utilizada para a produção dos concretos foi de água potável obedecendo a recomendação normativa ABNT NBR 15900/2009.

Os concretos foram produzidos de acordo com ABNT NBR 12821/2009, utilizando uma betoneira estacionária, e verificada suas propriedades no estado fresco e endurecido. Os materiais foram colocados na betoneira na seguinte ordem: agregado graúdo, 50% do volume da água, cimento, agregado miúdo e por fim o restante da água, a mistura dos materiais foi de duração máxima de 5 minutos (Figura 21).

Figura 21-Betoneira estacionária utilizada



Fonte: AUTOR

Para cada traço de concreto foram moldados 15 corpos-de-prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura. 24 horas após a moldagem os corpos de provas foram desenformados e colocados emergidos em um tanque d'água para uma completa hidratação do concreto conforme ABNT NBR 5738/2003 (Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (Figuras 22 a 24), com a finalidade de determinar a resistência à compressão e à tração dos concretos em diferentes tempos de cura, para então fazer uma análise quanto ao tipo de rocha do agregado graúdo, a dosagem e o tempo de cura.

Figura 22-Moldagem dos corpos de prova



Fonte: AUTOR

Figura 23-Desenforma e marcação



Fonte: AUTOR

Figura 24-Tanque de cura



Fonte: AUTOR

A (Tabela 20) demonstra os traços encontrados pelo método ACI/ABCP para os diferentes tipos de agregados e diferentes resistências entre eles, o consumo de cimento por  $m^3$  de concreto, mantendo a mesma relação a/c para a mesma classe de resistência. Ainda a diferença entre a quantidade de cimentos dos T-G e T-Q.

Tabela 20-Determinação dos traços

IDENTIF.	TRAÇO INICIAL	CIMENTO (kg/m <sup>3</sup> )
<b>T - G- 20</b>	1 : 2,68 : 2,90 : 0,565	353,98
<b>T - Q- 20</b>	1 : 2,99 : 2,56 : 0,565	345,13
<b>T - G- 25</b>	1 : 2,27 : 2,56 : 0,50	400,00
<b>T - Q- 25</b>	1 : 2,54 : 2,26 : 0,50	390,00
<b>T - G- 30</b>	1 : 1,94 : 2,31 : 0,45	444,44
<b>T - Q- 30</b>	1 : 2,19 : 2,04 : 0,45	433,33

Fonte: AUTOR

#### 4.3.3 Correções e ajustes nos traços de concretos

Durante a produção dos concretos foram realizadas correções nos traços em função do abatimento, sem alterar a relação a/c (água/cimento) para determinar um traço com a mesma relação a/c para os dois diferentes tipos de agregados graúdos com mesma resistência, mantendo o mesmo abatimento entre 60 a 80 mm para todos os traços de concreto (Figuras 25 e 26).

Figura 25-Ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: AUTOR

Figura 26-Ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: AUTOR

A (Tabela 21) apresenta a quantidade de materiais utilizados sem e com correções para a produção de  $26 \text{ dm}^3$  de concreto, quantidade para confeccionar 15 corpos de provas de 100 mm diâmetro por 200 mm comprimento de cada traço, sendo 10 corpos de provas destinados

a ensaios de compressão e 5 para ensaios de tração por compressão diametral, chegando a um total de 90 corpos de provas, prevendo ainda o descarte de alguns corpos de prova que possam apresentar defeitos de confecção. Ainda apresenta os traços finais com as devidas correções.

Tabela 21-quantidade de materiais utilizados

IDNTF.	QTDE MAT. (kg) SEM CORREÇÃO	QTDE ADIÇÃO		TRAÇO FINAL (COM CORREÇÃO)
		ÁGUA	CIMENT	
<b>T-G-20</b>	9,20 : 24,71 : 26,65 : 5,2	0,4	0,71	1 : 2,49 : 2,69 : 0,57
<b>T-Q-20</b>	8,97 : 26,83 : 22,95 : 5,07	0,6	1,06	1 : 2,67 : 2,29 : 0,57
<b>T-G-25</b>	10,40 : 23,57 : 26,65 : 5,2	0,6	1,2	1 : 2,03 : 2,30 : 0,50
<b>T-Q-25</b>	10,14 : 25,73 : 22,95 : 5,07	1,0	2,0	1 : 2,12 : 1,89 : 0,50
<b>T-G-30</b>	11,56 : 22,47 : 26,65 : 5,2	1,2	2,67	1 : 1,58 : 1,87 : 0,45
<b>T-Q-30</b>	11,27 : 24,65 : 22,95 : 5,07	1,1	2,44	1 : 1,80 : 1,67 : 0,45

Fonte: AUTOR

#### 4.4. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade a ABNT NBR 5739:2007, por uma prensa elétrica-hidráulica, com capacidade para 100 toneladas e indicador digital (Figura 27).

Após a cura dos corpos de provas estes foram submetidos aos ensaios de rompimentos em intervalos diferentes de cura sendo: após 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias. Para cada lote e tempo de cura foram ensaiados 2 corpos de provas para encontrar uma media entre os dois.

Os resultados obtidos estão representados nas tabelas a seguir (Tabelas 22 a 24). Sendo elas divididas de acordo com o fck de cada traço.

Figura 27-Prensa utilizada para ensaio de resistência a compressão



Fonte: AUTOR

Tabela 22-Resultados ensaio de compressão fck 20

<b>RESULTADO ENSAIO DE COMPRESSÃO (fck 20 – fcd 26,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 20</b>			<b>TQ 20</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>24 Horas</b>	2,71	2,69	2,7	3,1	2,64	2,87
<b>3 dias</b>	5,89	5,84	5,865	7,65	7,53	7,59
<b>7 dias</b>	10,26	10,0	10,13	11,3	10,68	10,99
<b>28 dias</b>	17,21	19,72	18,47	18,22	18,58	18,40

Fonte: AUTOR

Tabela 23-Resultados ensaio de compressão fck 25

<b>RESULTADO ENSAIO DE COMPRESSÃO (fck 25 – fcd 31,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 25</b>			<b>TQ 25</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>24 Horas</b>	5,29	5,63	5,46	4,92	5,08	5,0
<b>3 dias</b>	12,73	12,11	12,42	12,89	13,35	13,12
<b>7 dias</b>	18,19	19,09	18,64	17,71	17,13	17,42
<b>28 dias</b>	28,67	28,02	28,35	27,92	28,28	28,21

Fonte: AUTOR

Tabela 24-Resultados ensaio de compressão fck 30

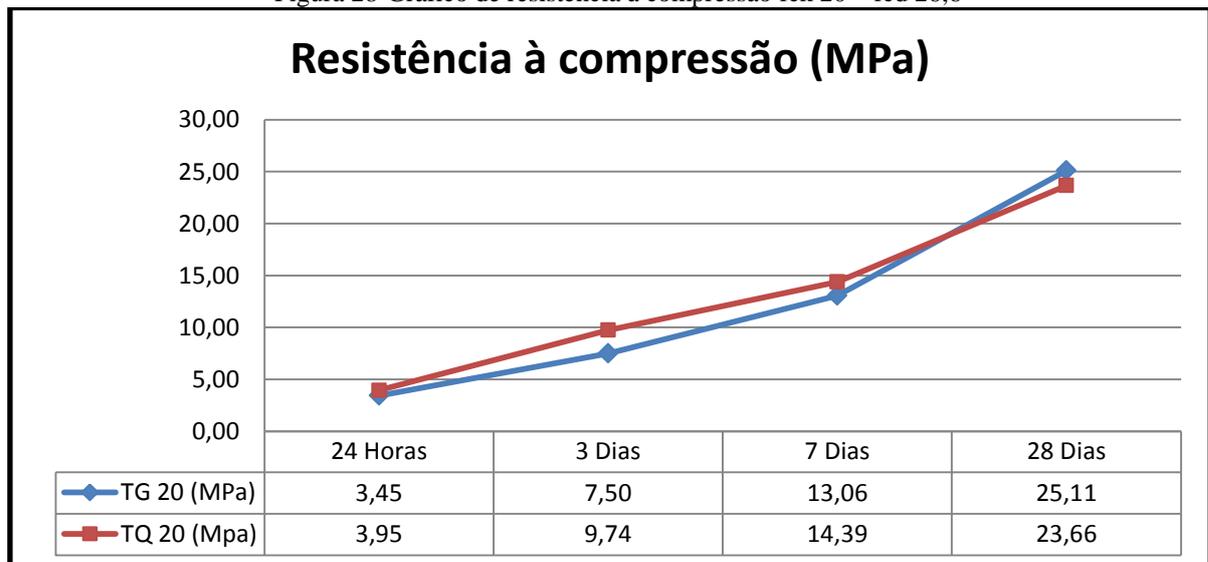
<b>RESULTADO ENSAIO DE COMPRESSÃO (fck 30 – fcd 36,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 30</b>			<b>TQ 30</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>24 Horas</b>	4,54	4,79	4,66	4,09	3,84	3,96
<b>3 dias</b>	13,68	10,11	11,89	14,92	9,98	12,45
<b>7 dias</b>	20,08	20,86	20,47	21,52	19,97	20,75
<b>28 dias</b>	28,84	30,93	29,88	27,78	32,31	30,05

Fonte: AUTOR

Para determinação da resistência à compressão a carga media de ruptura obtida pelos dois corpos de provas ensaiados foi dividida pela área da seção transversal do corpo de prova aplicando a (Equação 14, pag 38).

Foram relacionados os concretos produzidos com mesma resistência característica e comparados entre os de agregado graúdo de gnaisse e os de quartzito (Figuras 28 a 30).

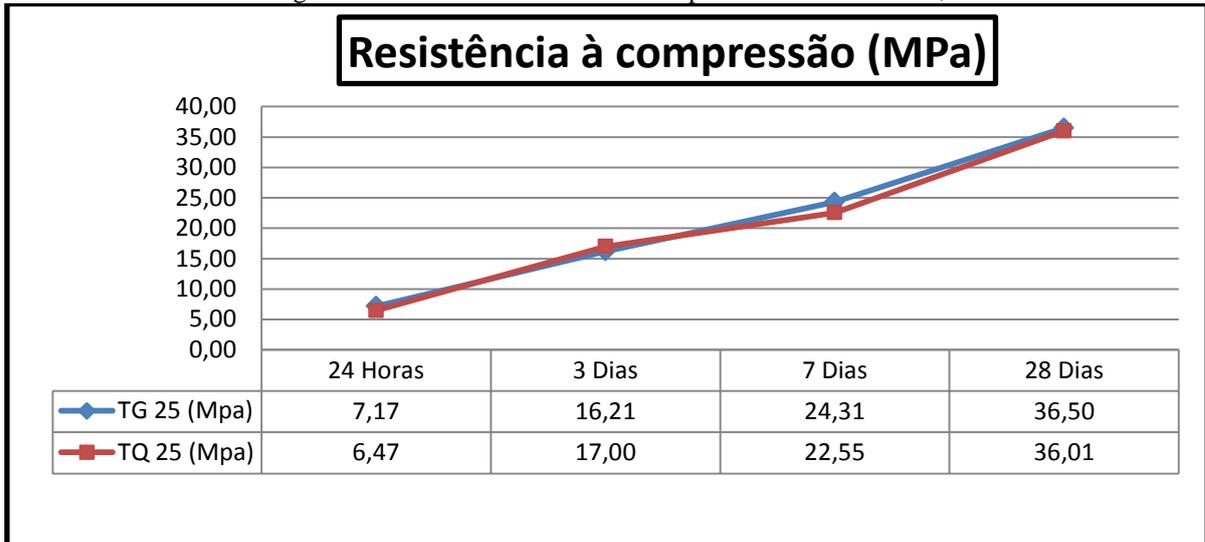
Figura 28-Gráfico de resistência à compressão fck 20 – fcd 26,6



Fonte: AUTOR

Pode ser observado na figura 28 que durante a cura do concreto no 3º dia, ouve uma diferencia de resistência entre os dois concretos de 22,99% possivelmente devido a defeito de confecção do corpo de prova, porem no 28º dia esta diferença foi de apenas 6,12%, mostrado que para este traço o tipo do agregado graúdo não influenciou na resistência do concreto.

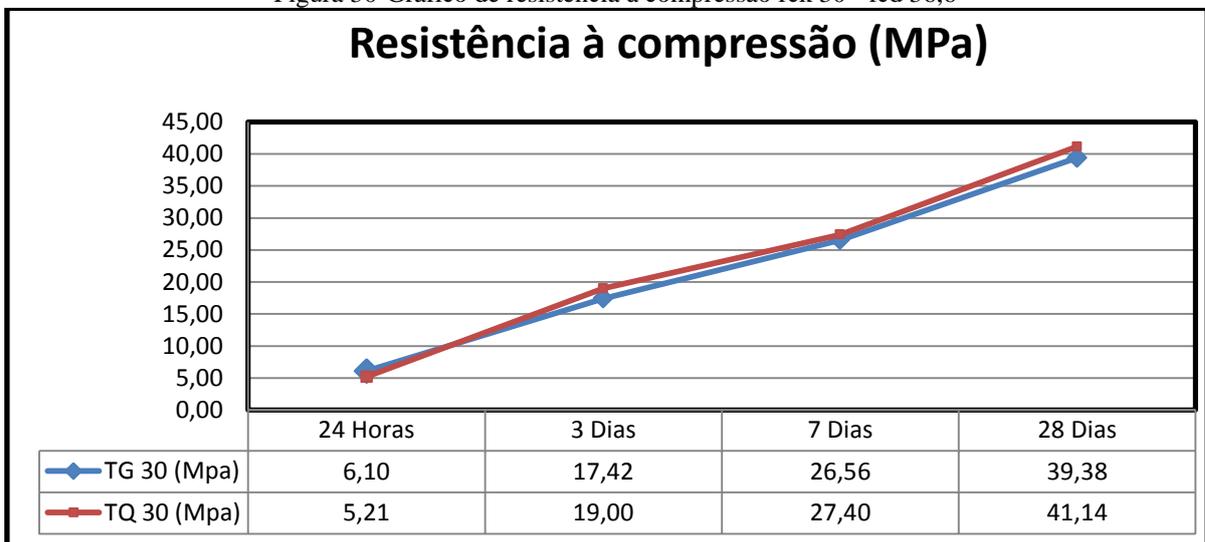
Figura 29-Gráfico de resistência à compressão fck 25 – fcd 31,6



Fonte: AUTOR

Pode ser observado na figura 29 que durante a cura do concreto no 1º dia, ouve uma diferença de resistência entre os dois concretos de 10,81%, porem no 28º dia esta diferença foi de apenas 1,36%, mostrado que para este traço o tipo do agregado graúdo também não influenciou na resistência final do concreto.

Figura 30-Gráfico de resistência à compressão fck 30 - fcd 36,6



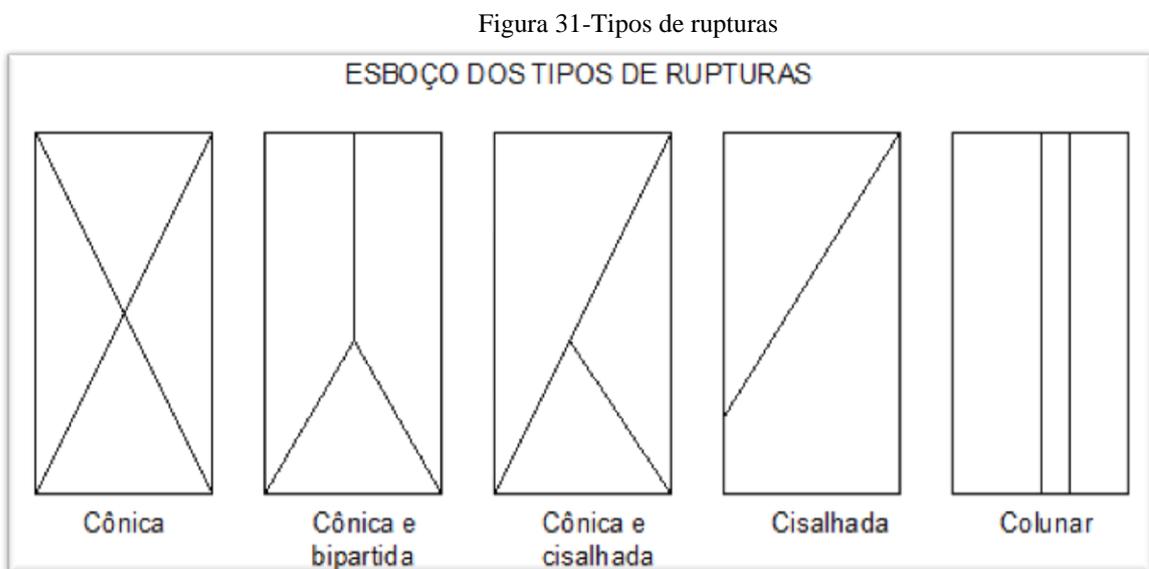
Fonte: AUTOR

Pode ser observado na figura 30 que durante a cura do concreto, no 3º dia, ouve uma diferença maior de resistência entre os dois concretos que foi de 8,31%, porem no 28º dia esta diferença foi de apenas 4,27%, mostrado mais uma vez que para este traço o tipo do agregado graúdo também não influenciou na resistência final do concreto.

Analisando os gráficos acima também percebe-se que em ambos a diferença encontrada de resistência entre os concretos diminui ao longo do tempo de cura deduzindo que com o passar do tempo ficará ainda menor.

Estes resultados são satisfatórios, demonstrando que o concreto utilizando agregado graúdo de quartzito apresentou resistências à compressão bem próxima dos concretos utilizando agregado graúdo de gnaíse.

De acordo com a NBR 5739/2007 existem cinco tipos de rupturas possíveis sendo elas conforme demonstrado abaixo (Figura 31).



Fonte: ABNT NBR 5739/1994

Os corpos de provas apresentaram em geral uma ruptura do tipo cisalhada conforme demonstrado (Figuras 32 e 33)

Figura 32-Ruptura à compressão TG 30



Fonte: AUTOR

Figura 25-Ruptura à compressão TQ 30



Fonte: AUTOR

Foi possível fazer uma análise visual na seção rompida dos corpos de provas produzidos com agregados graúdos de gnaisse e quartzito, onde se observou que a quantidade de agregados graúdos separados da pasta de cimento foi maior que a de agregados rompidos, indicando que a ruptura ocorreu na pasta ao redor dos agregados, determinando que o agregado graúdo de quartzito possui uma resistência à compressão satisfatória.

#### **4.5. Resistência à tração por compressão diametral**

Os corpos de provas foram submetidos a ensaio de resistência à tração por compressão diametral de acordo com recomendações da ABNT NBR 7222/2011, com idades de cura de 7 e 28 dias.

Este ensaio consiste na utilização dos mesmos aparelhos utilizados em ensaios de resistência à compressão. Os corpos de prova devem ter relação entre 1 e 2 quanto ao comprimento/diâmetro. O contato entre corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio, se dá com utilização de duas geratrizes opostas ao diâmetro do corpo de prova. Admitindo adaptações na máquina onde o corpo de prova deve ficar em repouso ao longo da geratriz.

Foi utilizada uma geratriz metálica sobre o prato inferior e outra abaixo do prato superior, ainda se utilizou de tiras de couro entre as geratrizes e o corpo de prova para uma perfeita distribuição de carga ao longo de todo o corpo de prova (Figura 34).

Figura 33-Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: AUTOR

Os resultados encontrados estão sumarizados abaixo (Tabelas 25 a 27)

Tabela 265-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 20

<b>RESULTADO ENSAIO DE TRAÇÃO (fck 20 – fcd 26,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 20</b>			<b>TQ 20</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>7 dias</b>	5,12	5,14	5,13	5,14	5,64	5,39
<b>28 dias</b>	8,98	7,54	8,26	7,38	8,28	7,83

Fonte: AUTOR

Tabela 276-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 25

<b>RESULTADO ENSAIO DE TRAÇÃO (fck 25 – fcd 31,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 25</b>			<b>TQ 25</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>7 dias</b>	7,90	7,01	7,45	6,60	7,39	7,00
<b>28 dias</b>	12,32	11,07	11,70	11,06	10,63	10,85

Fonte: AUTOR

Tabela 287-Resultados ensaio de tração por compressão diametral fck 30

<b>RESULTADO ENSAIO DE TRAÇÃO (fck 30 – fcd 36,6)</b>						
<b>CURA</b>	<b>TG 30</b>			<b>TQ 30</b>		
	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>7 dias</b>	7,53	9,29	8,41	10,07	7,83	8,95
<b>28 dias</b>	14,68	13,25	13,96	13,66	12,82	13,24

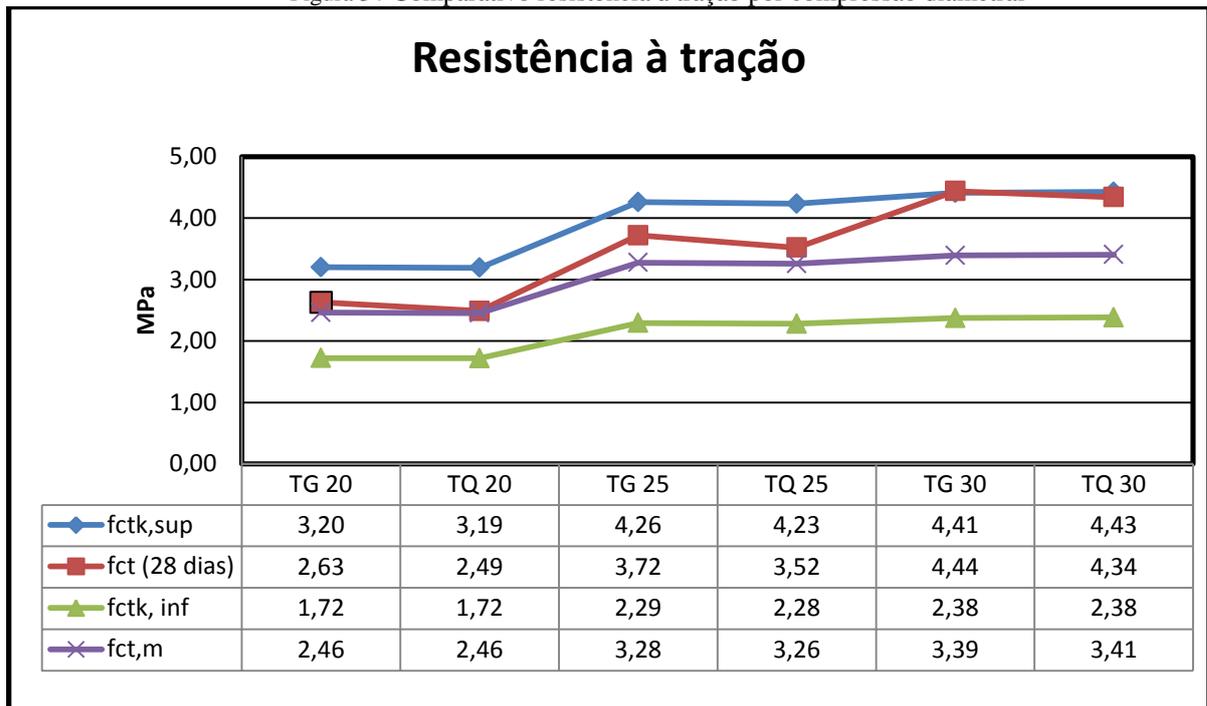
Fonte: AUTOR

Para determinação da resistência à tração por compressão diametral o calculo foi feito pela (Equação 15, pag 39), conforme recomendações NBR 7222/2011.

Os resultados de resistências à tração encontrada de forma direta que conforme a NBR 6118/2014 estabelecem o limite superior e inferior de resistência à tração, foram encontrados com aplicação de cálculos diretos utilizando os resultados de resistência à compressão característica (Equação 16, pag. 40).

Os resultados encontrados pelos ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram comparados com os encontrados pelas equações (Figura 35).

Figura 34-Comparativo resistência à tração por compressão diametral



Fonte: AUTOR

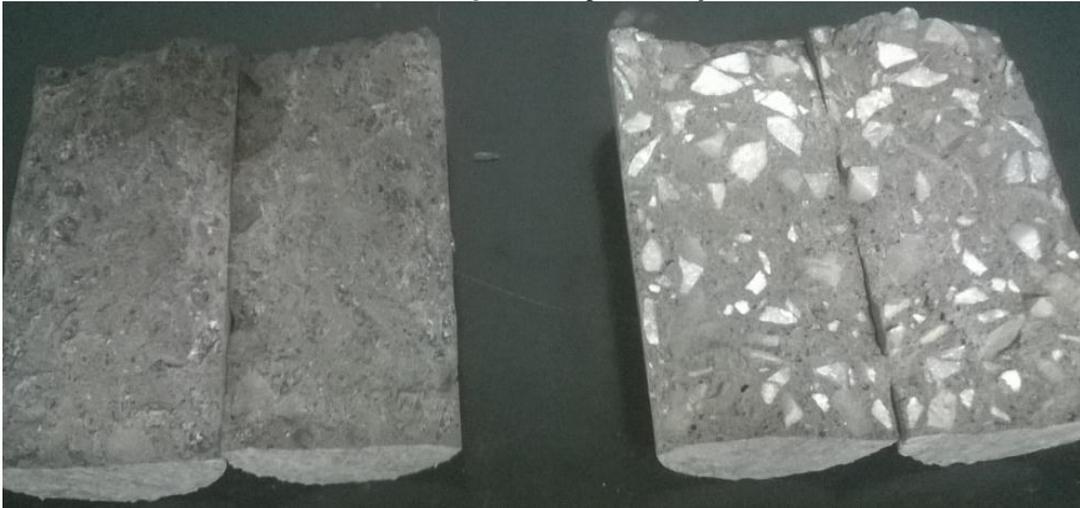
Comparando os resultados, notasse que em todos os concretos, as resistências à tração encontradas pelo ensaio de compressão diametral (fct 28 dias) estão acima da media de cálculo direto (fct,m). Observa-se também que todos os resultados estão dentro dos limites normativos (fctk,sup e fctk,inf).

Constata-se ainda, que os concretos produzidos com agregado graúdo de quartzito (TQ) alcançaram resultados ligeiramente abaixo dos concretos produzidos com agregado graúdo de gnaiss (TG). Alguns fatores podem ter contribuído para estas divergências, como: formas irregulares dos agregados, entre outros. Porém estas divergências não são relevantes, pois os resultados obtidos estão dentro dos limites normativos e foram ainda superiores ao valor médio (fct,m) de cálculo direto.

Esta decorrência de fatos certifica que o concreto utilizando agregado graúdo de quartzito apresentou resistências à tração compatível a do concreto geralmente utilizado na região.

As rupturas nos corpos de provas submetidos ao ensaio de resistência à tração foram do tipo colunar (Figura 36), onde foi possível fazer uma análise visual na seção rompida.

Figura 35-Ruptura à tração



Fonte: AUTOR

Foi possível observar na seção de ruptura em ambos os tipos de concreto que a maior parte dos agregados graúdos ficou intactos, mostrando que o agregado graúdo possui uma resistência à tração maior que a pasta do concreto. Verifica-se também que uma pequena parcela dos agregados foi rompida, este fato demonstra que ocorreu uma perfeita aderência entre a pasta de cimento e o agregado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em observações as normas que regulamentam os critérios de utilização de agregado graúdo em concreto de cimento Portland, os resultados encontrados nos estudos e ensaios realizados nas amostras de quartzito coletadas foram satisfatórios, onde o agregado foi classificado como brita nº2 com massa específica =  $2,64 \text{ g/cm}^3$ , massa unitária =  $1,27 \text{ g/cm}^3$ , índice de vazios = 51,74% e diâmetro máximo característico = 25 mm.

A trabalhabilidade de todos os traços de concreto foi adequada, não apresentando segregação dos agregados, alcançando perfeita homogeneidade entre os materiais, tiveram ainda aspectos de coesão e consistência semelhantes entre os traços.

Os concretos produzidos com agregado graúdo de quartzito apresentaram resistências próximas as do concreto geralmente utilizado na região, com variações menores que 0,86% aos 28 dias de cura, demonstrando que para as dosagens estudadas, o tipo de agregado não interferiu na resistência do concreto.

A resistência à tração por compressão diametral nos concretos realizados com agregado graúdo de quartzito obtiveram resultados menores que o concreto comumente utilizado, o valor máximo foi 5,37% menor. Porém esta divergência não é significativa, pois conforme demonstrado na figura 34, ambos estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118/2014 e acima da media de cálculo direto.

Com o objetivo de apresentar uma solução para a utilização dos resíduos de quartzito, oriundos das mineradoras do Centro Produtor de São Thomé das Letras, na construção civil, conclui-se que o agregado graúdo de quartzito com as características conforme apresentadas, está dentro das recomendações normativas aqui estudadas para utilização em concreto de cimento Portland. Recomenda-se para trabalhos futuros estudos sobre a consistência química no concreto utilizando este material e seus comportamentos no concreto em longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 26** Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27** Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45** Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 46** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$ , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 53** Agregados graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 67** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7211** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7218** Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7222** Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7809** Agregados Graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7810** Agregados em estado compactado seco - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12821** Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 1**, 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BUCHER, H. R. E. **Estimativa da resistência à compressão de concretos executados com cimento nacional em função da relação a/c**. São Paulo: ABCP, 1989.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo NBR 6118/2014**. 4ª ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2014.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente - **Plano de Ação para Sustentabilidade do Setor de Rochas Ornamentais - Quartzito - São Thomé das Letras**. FEAM, 2009.

FERNANDES G.; GODOY; FERNANDES H, **Aspectos geológicos e tecnológicos dos quartzitos do Centro Produtor de São Thomé das Letras (MG)**, São Paulo, UNESP, Geociências, v 22, p. 129-141, 2003.

BRITO, S.N.A (Eds).**Geologia de Engenharia**, São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 2, p. 15-38.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**, São Paulo, ABGE, 2002.

GOMES, R. L. **Características tecnológicas e alterabilidade dos compartimentos entablamento e colunata de derrames basálticos da poção setentrional da bacia do Paraná**. Tese de doutorado, USP São Carlos, 2001.

MEHTA, P K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª ed. Porto Alegre - RS: BOOKMAN LTDA, 2013.

POPP, J.H. **Geologia Geral**. 5.ed. Rio de Janeiro, LTC, 1998.

RECENA, FERNANDO ANTONIO PIAZZA. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos**. 3º Ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2011.

RODRIGUES, Publio Pena Firme. **Parâmetros de Dosagem do concreto**. ET-67. 3º Ed. São Paulo: IBRACON – Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para concreto**. In: ISAIÁ, G.C.(Ed).**Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**, São Paulo: IBRACON, 2005. Cap. 11, p. 323-344.

SENÇO, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. São Paulo: Pini, 1997.

VASCONCELOS, F.C.W. **Desenvolvimento de tecnologia para recomposição vegetal com espécies nativas, nas pilhas de rejeito/estéril geradas pela mineração de pedra São Tomé, no município de São Thomé das Letras, Minas Gerais.** Belo Horizonte. UFMG/Escola de Engenharia. 148p. 2001.

### APÊNDICE 1 - DATAS DE ROMPIMENTO DOS CONCRETOS

<b>Data</b>		<b>Conf</b>	<b>Desforma e romp. 24h</b>	<b>Romp. 3d</b>	<b>Romp. 7d</b>	<b>Romp. 28d</b>
<b>25/set</b>	seg					
<b>26/set</b>	ter					
<b>27/set</b>	qua	Fck 20				
<b>28/set</b>	qui	Fck 25	Fck 20			
<b>29/set</b>	sex	Fck 30	Fck 25			
<b>30/set</b>	sab		Fck 30	Fck 20		
<b>01/out</b>	dom			Fck 25		
<b>02/out</b>	seg			Fck 30		
<b>04/out</b>	qua				Fck 20	
<b>05/out</b>	qui				Fck 25	
<b>06/out</b>	sex				Fck 30	
<b>25/out</b>	qua					Fck 20
<b>26/out</b>	qui					Fck 25
<b>27/out</b>	sex					Fck 30

## APÊNDICE 2 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 20)

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	19	Cimento CII- 32	
MF <sub>areia</sub>	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,53		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3
Concreto					
Fck (MPa)	20		Fc28 (MPa)	26,6	
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7	
Desvio padrão	4				
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>		
a/c	0,565		200		
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)		0,67
353,98			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )		1025,1
Volume de areia (Va)			0,33		
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )			950,38		

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
353,98	950,38	1025,10	200
2529,47			

Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	2,68	2,90	0,565	0,56	1	8,59	5,58

Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )
26

Qtde de mat. para o concreto			
9,20	24,71	26,65	5,20

Teor de argama	Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "m" e "a"															
	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adicação	cimento - adição (kg)	Abatimento final	H	m
56%	1	2,68	2,90	0,57	9,20	24,71	26,65	5,20	353,98	0,57	40	0,4	0,71	65	8,59%	5,58
57%	1	2,49	2,69	0,57	9,91	24,71	26,65	5,60	372,15	0,57	65	0	0,00	0	9,14%	5,18

### APÊNDICE 3 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 20)

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	25	Cimento CII- 32	
MF <sub>areia</sub>	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,27		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,64	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3
Concreto					
Fck (MPa)	20		Fc28 (MPa)	26,6	
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7	
Desvio padrão	4				
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>		
a/c	0,565		195		
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)		0,695
345,13			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )		882,65
Volume de areia (Va)			0,36		
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )			1032,11		

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
345,13	1032,11	882,65	195
<b>2454,90</b>			

Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	2,99	2,56	0,565	0,61	1	8,63	5,55

Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )			
26			
Qtde de mat. para o concreto			
8,97	26,83	22,95	5,07

Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "a" e m																
Teor de argama	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição	cimento - adição (kg)	Abatimento final	H	m
	c	a	p	a/c												
61%	1	2,99	2,56	0,57	8,97	26,83	22,95	5,07	345,13	0,57	5	0,6	1,06	7	8,63%	5,55
62%	1	2,67	2,29	0,57	10,04	26,83	22,95	5,67	372,38	0,57	7	0	0,00	0	9,48%	4,96

## APÊNDICE 4 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 25)

Dosagem ABCP				
Agregados				
Areia		Brita		Cimento
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	19	Cimento CII- 32
MF <sub>areia</sub>	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,53	
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) 3
Concreto				
Fck (MPa)	25		Fc28 (MPa)	31,6
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7
Desvio padrão	4			
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>	
a/c	0,5		200	
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)	0,67
400,00			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )	1025,1
Volume de areia (Va)	0,31			
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )	906,64			

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
400,00	906,64	1025,10	200
2531,74			

Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	2,27	2,56	0,5	0,56	1	8,58	4,83

Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )
26

Qtde de mat. para o concreto			
10,40	23,57	26,65	5,20

Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "α" e m																
Teor de argama	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatiment o inicial	água- adição	cimento - adição (kg)	Abatimento final	H	m
	c	a	p	a/c												
56%	1	2,27	2,56	0,5	10,40	23,57	26,65	5,20	400,00	0,50	50	0,6	1,20	7,5	8,58%	4,83
57%	1	2,03	2,30	0,5	11,60	23,57	26,65	5,80	429,71	0,50	7,5	0	0,00	0	9,38%	4,33

## APÊNDICE 5 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 25)

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	25	Cimento CII- 32	
$M_{\text{areia}}$	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,27		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,64	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3
Concreto					
Fck (MPa)	25		Fc28 (MPa)	31,6	
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7	
Desvio padrão	4				
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>		
a/c	0,5		195		
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)		
390,00			0,695		
			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )		
			882,65		
Volume de areia (Va)		0,34			
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )		989,46			

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
390,00	989,46	882,65	195
<b>2457,11</b>			

Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	2,54	2,26	0,5	0,61	1	8,62	4,80

Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )			
26			
Qtde de mat. para o concreto			
10,14	25,73	22,95	5,07

Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "m" e "a"																
Teor de argama	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatiment o inicial	água- adição	cimento - adição (kg)	Abatimento final	H	m
	c	a	p	a/c												
61%	1	2,54	2,26	0,5	10,14	25,73	22,95	5,07	390,00	0,50	50	1	2,00	75	8,62%	4,80
62%	1	2,12	1,89	0,5	12,14	25,73	22,95	6,07	438,93	0,50	75	0	0,00	0	9,98%	4,01

## APÊNDICE 6 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO GNAISSE (fck 30)

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	19	Cimento CII- 32	
$M_{\text{areia}}$	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,53		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3
Concreto					
Fck (MPa)	30		Fc28 (MPa)	36,6	
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7	
Desvio padrão	4				
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>		
a/c	0,45		200		
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)	0,67	
444,44			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )	1025,1	
Volume de areia (Va)	0,30				
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )	864,4				

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
444,44	864,39	1025,10	200
2533,93			

Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	1,94	2,31	0,45	0,56	1	8,57	4,25

Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )			
26			
Qtde de mat. para o concreto			
11,56	22,47	26,65	5,20

Teor de argama	Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "α" e m															
	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adicação	cimento - adição (kg)	Abatimento final	H	m
56%	1	1,94	2,31	0,45	11,56	22,47	26,65	5,20	444,44	0,45	50	1,2	2,67	6,7	8,57%	4,25
58%	1	1,58	1,87	0,45	14,22	22,47	26,65	6,40	506,54	0,45	6,7	0	0,00	0	10,10%	3,45

## APÊNDICE 5 - DOSAGEM DO CONCRETO UTILIZANDO QUARTZITO (fck 30)

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia		Brita		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,89	DMC (mm)	25	Cimento CII- 32	
MF <sub>areia</sub>	2,58	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,27		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,64	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3
Concreto					
Fck (MPa)	30		Fc28 (MPa)	36,6	
Condição (A-B-C)	A		Abatimento (cm)	7	
Desvio padrão	4				
Curva de Abrams			Consumo de água (quadro I) - l/m <sup>3</sup>		
a/c	0,45		195		
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )			Volume de brita (Vb)	0,695	
433,33			Consumo de brita (kg/m <sup>3</sup> )	882,65	
Volume de areia (Va)	0,33				
Consumo de areia (kg/m <sup>3</sup> )	948,26				

Consumo total							
Cc	Ca	Cb	Cagua				
433,33	948,26	882,65	195				
2459,25							
Traço em massa final				$\alpha$	$\beta$	H	m
1	2,19	2,04	0,45	0,61	1	8,61	4,23
Vconcreto a ser produzido (dm <sup>3</sup> )							
26							
Qtde de mat. para o concreto							
11,27	24,65	22,95	5,07				

Quando o Teor de argamassa esta ok. - fixa-se a/c e altera-se "H" e "α" e m																
Teor de argama	Traço básico				Massa cimento	Massa areia	Massa brita (kg)	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição	cimento -adição (kg)	Abatimento final	H	m
	c	a	p	a/c												
61%	1	2,19	2,04	0,45	11,27	24,65	22,95	5,07	433,33	0,45	50	1,1	2,44	7,3	8,61%	4,23
63%	1	1,80	1,67	0,45	13,71	24,65	22,95	6,17	491,37	0,45	7,3	0	0,00	0	10,06%	3,47