

# 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

## ESTUDO TECNOLÓGICO EM REJEITOS DE MINERAÇÕES DE QUARTZITOS DO SUDOESTE MINEIRO PARA USO COMO AGREGADO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA

Fernanda Medeiros Dutra Reis <sup>1</sup>; Eduardo Goulart Collares<sup>2</sup>; Maria José Reis <sup>3</sup>

### Resumo

As minerações de quartzitos do Sudoeste Mineiro representam uma importante fatia da economia regional, entretanto, as dificuldades dos mineradores em cumprir as exigências ambientais têm conduzido ao fechamento da atividade em muitos locais, o que reflete em um problema social, aumentando o desemprego da classe; e em um problema ambiental, provocado pelo grande passivo ambiental provocado pelas pilhas de rejeito resultantes da atividade. A busca de alternativas para os problemas relativos à disposição e aproveitamento de rejeitos de minerações é um caminho para a promoção da sustentabilidade socioambiental da região em estudo. O objetivo geral do trabalho foi analisar a viabilidade do uso dos rejeitos de quartzito como agregado graúdo para produção de peças de concreto para pavimentação. A sistemática metodológica envolveu: escolha e preparação do material de estudo; caracterização tecnológica do agregado; produção e ensaios das peças de concreto. Os valores obtidos são considerados compatíveis com o padrão estabelecido pela norma. Os valores das resistências obtidos com as peças de concreto foram satisfatórios tanto para o traço 1:3 quanto 1:4 e se enquadram nas normas para utilização em vias urbanas.

**Palavras-Chave** –Propriedades tecnológicas de rochas, brita, quartzito.

### Abstract

The quartzite mining of south-west of the Minas Gerais - Brazil represents an important part of the regional economy, however, the difficulties of the miners in meeting the environmental requirements have led to the closing of the activities in many places, which reflects both a social problem, increasing unemployment, and an environmental problem due to the large environmental liabilities caused by the piles of tailings resulting from the activity. The search for alternatives to the problems related to the disposal and use of tailings waste is a way to promote the social and environmental sustainability of the region. The general objective of the work was to analyze the feasibility of the use of quartzite tailings as a large aggregate for the production of concrete pieces for paving. The methodological systematics involved: choosing and preparing the study materials; technological characterization of aggregates; producing and testing of concrete parts. The values obtained are considered compatible with the standard established by the standard. The values of the strengths obtained with the concrete parts were satisfactory for both the 1: 3 and 1: 4 dash and meet the standards for use on urban roads.

**Keywords** - Technological properties of rocks, gravel, quartzite.

<sup>1</sup> Mestranda em Geotecnia da Universidade de São Paulo (USP – São Carlos), email: fernandamdreis@usp.com.br

<sup>2</sup> Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG – Passos), email: collaresambiental@hotmail.com

<sup>3</sup> Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG – Passos), email: mariajose.reis@uemg.br

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do reflexo socioambiental das atividades extrativistas das minerações de quartzito no Sudoeste Mineiro, torna-se importante a busca de alternativas para manter a atividade na região e, mais do que isto, melhorar as condições ambientais das minerações que estão hoje altamente degradadas pela deposição de rejeitos. Conforme Collares et al. (2008) o quartzito é utilizado como pedra de revestimento e, desta forma, é extraído em placas e devem obedecer a padrões de espessura e comprimento. Este processo leva a uma grande quantidade de rejeitos. Conforme informações divulgadas pelos órgãos ambientais, este rejeito pode chegar a 92% do material extraído.

Conforme Santos (2014), o quartzito apresenta uma tendência a ser coesa, com estrutura cristalina densa e organizada de modo que a força do cimento entre as partículas propicia uma resistência interna bastante alta, determinando características favoráveis para o uso como rocha de revestimento e, eventualmente, como componente estrutural de obra.

Viabilizar o uso do quartzito em outras áreas da construção civil, além do já consagrado uso como “pedra de revestimento” pode significar minimizar ou, até mesmo, exaurir as pilhas de rejeito que são deixadas nas minerações e, ao mesmo tempo, permitir que minerações hoje paralisadas por restrições ambientais voltem à atividade, devolvendo o emprego de pessoas que atuam na área.

O Centro Produtor Alpinópolis é considerado o segundo maior produtor de quartzito de Minas Gerais. De acordo com Brito et al. (2014), o município de Alpinópolis possui, aproximadamente, 35 depósitos do quartzito na região, estes distribuídos entre seis empresas de mineração localizadas na Serra do Chapadão, a poucos quilômetros da cidade. Várias outras cidades fazem parte deste Centro Produtor, como: Guapé; Capitólio; São João Batista do Glória; São José da Barra e Carmo do Rio Claro.

O aproveitamento dos rejeitos produzidos por estas minerações tornou-se objeto de estudo em diferentes instituições de pesquisa. Dentre eles destacam-se os estudos realizados por Collares; Francklin Jr; Motta (2012), Ramírio et al. (2008), Francklin Jr (2009), Reis (2016), Alecrim (2009) e Cabello (2011).

Collares; Francklin Jr; Motta (2012), em estudos realizados com amostras de quartzito de diferentes locais, verificaram que os valores de resistência a tração no concreto endurecido mostraram-se satisfatórios, não representando diferenças significativas entre as amostras. Em relação ao material de referência utilizado, os traços de duas amostras de QUARTZITO (A1 e A3) obtiveram valores inferiores ao TR GNAISSE da ordem de 12,5%, enquanto que os traços A2 e A4, obtiveram um acréscimo na resistência à tração em relação ao traço TR GNAISSE em 6,28%.

Reis (2016), estudou a utilização do agregado graúdo e miúdo do quartzito para peças de concreto para pavimentação com diferentes taxas de substituições dos agregado graúdo e miúdo, os resultados encontrados para resistência de 35 MPa foram satisfatórios para a substituição total do agregado graúdo do quartzito, já o desempenho da resistência obtida pela substituição total do agregado graúdo e miúdo do quartzito, os resultados são promissores, sendo necessários novos estudos de dosagem para verificar a proporção adequada do agregado miúdo.

O trabalho aqui apresentado consiste em estudar o uso do rejeito de quartzito de minerações do Centro Produtor de Alpinópolis como agregado graúdo para produção de peças de concreto para pavimentação urbana, indicando-o, assim, como um agregado alternativo aos agregados convencionais. Como consequência direta deste propósito, busca-se uma alternativa para mitigação dos impactos ambientais oriundos do processo de extração.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

## 2.1. Caracterização da área estudada

A área de estudo localiza-se no Sudoeste de Minas Gerais, no município de Alpinópolis, que é um dos 22 municípios que compõem a Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande. Possui uma área territorial de 454,751Km<sup>2</sup>. Segundo dados do IBGE (2014), Alpinópolis tem uma população estimada em 19.513 habitantes e sua economia é fundamentada na agricultura (café, milho, feijão, soja), laticínios, fabricação de ração e criação de animais (gado, porco, frango, etc.) e produção mineral.

Na produção mineral, destaca-se como segundo maior produtor de quartzito do estado de Minas Gerais. Esta atividade econômica gera empregos não só para a população local, como também para as cidades vizinhas. O Centro de Produção de Alpinópolis é responsável por 50% da extração do quartzito deste Centro de produção (Figura 1).

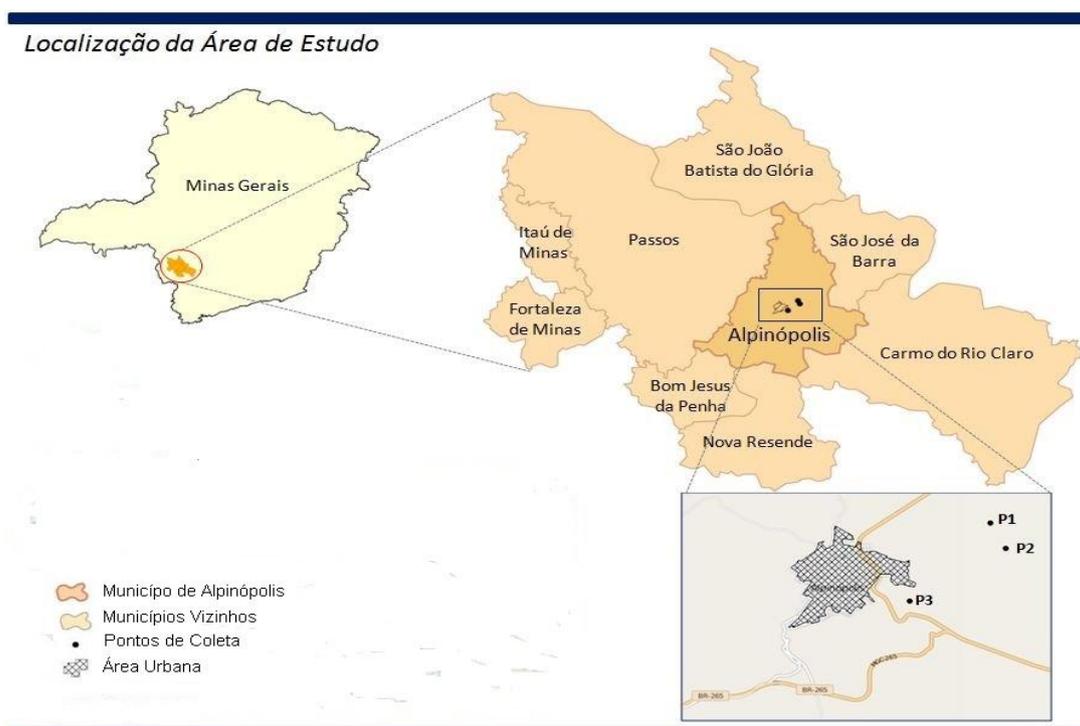


Figura 1. Localização das mineradoras na área de estudo.

## 3. METODOLOGIA

A sistemática de trabalho é composta pelas seguintes etapas: coleta e preparação das amostras; ensaios de caracterização dos agregados; dosagem experimental; produção e ensaios das PCPs e análise de resultados.

### Coleta e preparação

As amostras foram coletadas utilizando-se dos procedimentos da NM 26 (ABNT, 2009). Após a coleta foram processados em um Britador do tipo “mandíbula”. Como o material de interesse no estudo foi o agregado graúdo, o material foi peneirado em laboratório para separação das granulometrias desejadas. Após esse procedimento, selecionaram-se as amostras dos agregados graúdo conforme NM 27 (ABNT, 2009), para realização dos ensaios de caracterização e produção

das peças de pavimentação. Foram coletados materiais em três frentes de lavras, denominadas de P1, P2 e P3.

### Ensaio de caracterização

Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados de forma a atender as normas vigentes. Os resultados de caracterização dos agregados graúdos de quartzitos, de forma geral, foram satisfatórios conforme aos parâmetros estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT,2009). A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados e alguns dos principais resultados obtidos na etapa de caracterização dos agregados graúdos.

Tabela 1: Resultados da caracterização dos agregados graúdos.

<b>Agregado Graúdo</b>		<b>Resultados</b>		
<b>Propriedades</b>	<b>Ensaio</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
Composição Granulométrica	NM248 (ABNT, 2003)	Brita 0 *MF:5,36	Brita 0 *MF: 5,22	Brita 0 *MF: 5,88
Massa Específica	NBR NM 53 (ABNT,2009)	2,60 kg/dm <sup>3</sup>	2,59 kg/dm <sup>3</sup>	2,52 kg/dm <sup>3</sup>
Absorção	NBR NM 53 (ABNT ,2009)	0,46%	0,46%	0,46%
Massa Unitária Solta	NBR NM 45 (ABNT,2006)	1,32 kg/dm <sup>3</sup>	1,31 kg/dm <sup>3</sup>	1,24 kg/dm <sup>3</sup>
Massa Unitária Compactada	NBR NM 45 (ABNT,2006)	1,39 kg/dm <sup>3</sup>	1,37 kg/dm <sup>3</sup>	1,34 kg/dm <sup>3</sup>
Ensaio de Carga Pontual	ISRM: 1985	14,50 MPa	11,20 MPa	7,74 MPa
Índice de Forma 6,3 mm	NBR 7809 (ABNT,2008)	2,76	2,64	2,96
Índice de Forma 4,8 mm		2,97	3,06	3,04
Ensaio de Abrasão "Los Angeles"	NBR NM 51 (ABNT,2001)	36%	35%	46%
Teor de Materiais Pulverulentos	NBR NM 46 (ABNT,2003)	0,53%	0,84%	1,18%
Resistência ao Esmagamento	NBR 9938 (ABNT,2013)	20%	25%	30%

Fonte: O Autor, 2016.

Após análise e comparação dos resultados, verificou-se que os materiais oriundos das frentes de lavras P1 e P2 são semelhantes, portanto, na confecção das peças de concreto para pavimentação, foram utilizados os agregados das frentes P1 e P3.

### Dosagem experimental

Para a definição dos traços para a moldagem das peças de concreto realizou-se um estudo preliminar de dosagem, baseado nos princípios do método de dosagem proposto por O'Reilly Diaz (2009). O método se baseia no empacotamento de partículas, visando a máxima compacidade possível e a diminuição do consumo de cimento. O empacotamento experimental dos agregados

visou encontrar a maior massa unitária compactada e um menor índice de vazios em composições de agregados. No caso específico desse estudo, para obtenção da mínima porcentagem de vazios nos agregados, realizou-se a compactação das misturas com o equipamento de proctor normal, consistindo, em uma adaptação ao método de O'Reilly Díaz. O melhor empacotamento encontrado para o uso do agregado graúdo e a areia convencional foi de 40% de agregado graúdo (quartzito) e 60% de areia convencional.

Utilizando-se dos resultados desse estudo obteve-se a menor quantidade de vazios para cada amostra; a melhor proporção encontrada para a substituição foi a proporção 40:60, e determinou-se os dois tipos de traços a serem testados, o traço 1:3 e o 1:4 (Tabela 2).

Tabela 2 – Dosagem/Traços.

TRAÇOS EM MASSA UTILIZADOS				
Tratamentos	Cimento:	Graúdo:	Miúdo	Observações
1:3 (P1)	1	1,2	1,8	GQ/ MC
1:4 (P1)	1	1,6	2,4	GQ/ MC
1:3 (P3)	1	1,2	1,8	GQ/ MC
1:4 (P3)	1	1,6	2,4	GQ/ MC

Obs.: GQ/MC= Graúdo Quartzito/Miúdo Convencional

Fonte: O Autor, 2016.

O propósito foi a busca de um traço visando uma resistência à compressão que atendesse os requisitos da NBR 9781 (ABNT, 2013), ou seja, de no mínimo 35 MPa para pavimentos sujeitos a solicitações de tráfego de veículos comerciais ou de linha.

### Produção das Peças de Concreto

As peças de concreto foram produzidas conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). Os materiais utilizados foram: cimento Portland, água, agregado graúdo (quartzito) e miúdo (areia). A moldagem foi realizada em uma vibro-prensa hidráulica automática (Figura 2). Durante o processo de confecção foi realizada a dosagem da relação água/cimento que foi efetuada de acordo com o ponto de “pelota” de cada mistura, sendo, portanto, ajustada de acordo com a quantidade de agregados, levando em consideração também o ajuste da máquina vibro-prensa e a dosagem utilizada. A relação água/cimento (a/c) utilizada foi 0,54 e 0,55 para os traços 1:3 e 1:4, respectivamente. Após 28 dias de cura as PCPs foram levadas para o laboratório e identificadas para os devidos ensaios, conforme previsto na norma NBR 9781 (ABNT, 2013).



Figura 2- Máquina vibro-prensa automática.

## Ensaio nas PCPs

Para realização dos ensaios, as peças foram identificadas e, posteriormente, retiradas dos lotes quantidades de peças nos moldes propostos na norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Os ensaios foram: Inspeção Visual, Avaliação Dimensional, Absorção de Água e Resistência a Compressão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Avaliação Dimensional e Inspeção Visual

Foram selecionadas seis peças de concreto aleatoriamente de cada lote. Com relação às suas dimensões, todas as peças ficaram dentro dos limites estabelecidos. Na inspeção visual todas foram consideradas peças isentas de defeitos, apresentando arestas regulares, ângulos retos, livres de rebarbas de laminação e descamação e coloração homogênea. Observou-se um melhor acabamento nas peças que tiveram o tratamento com agregado miúdo sem lavar. Algumas pequenas variações nas colorações foram observadas, mas de acordo com a NBR 9781 (ABNT,2013), são admitidas.

Na inspeção visual foram analisados: chanfro, arestas e ângulo de inclinação e homogeneidade. Todas foram consideradas peças isentas de defeitos, apresentando arestas regulares, ângulos retos, livres de rebarbas de laminação e descamação e coloração homogênea. Para todos os lotes os resultados ficaram dentro dos limites estabelecidos (Figura 3).



Figura 3- Medição das peças de concreto para pavimentação.

### Absorção de Água

A média dos resultados obtidos do ensaio de absorção estão relacionados na Tabela 4. Observou-se que a variação da mineração P1 teve uma taxa de absorção menor, para o traço 1:3 em relação a P3, cerca de 45% a menos, mas todos os resultados foram considerados aceitáveis pela norma, que estabelece absorção de água menor ou igual a 6% para as peças de concreto utilizadas em pavimento intertravados. Os resultados mostraram que todas as peças ficaram dentro das especificações técnicas descritas pela NBR 9781(ABNT, 2013), para os dois tipos de traços (1:3 e 1:4).

Tabela 4 – Resultado do Ensaio de Absorção.

<b>RESULTADOS ABSORÇÃO (%)</b>	
1:3	<b>Média</b>
P1	1,56
P3	1,71
1:4	<b>Média</b>
P1	0,92
P3	1,99

Fonte: O Autor, 2016.

Conclui-se, portanto, que as peças produzidas neste estudo possuem uma boa absorção, o que confere, portanto, uma boa compactidade.

### **Resistência à compressão**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo os métodos estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013) - Peças de Concreto para Pavimentação Especificação e Métodos de Ensaio. Foram realizados com 07 peças para cada tipo de amostra, com dois tipos de traços (1:3 e 1:4). Os resultados do fck são demonstrados na Tabela 5 e na Figura 4.

Verificou-se que os resultados da substituição do agregado convencional pelo agregado graúdo de quartzito foram satisfatórios para ambas as minerações. Os valores obtidos são considerados compatíveis com o padrão estabelecido pela norma. Os valores das resistências foram satisfatórios tanto para o traço 1:3 e 1:4, ocorrendo uma pequena queda de resistência no traço 1:4 nas duas minerações, mas dentro dos limites estabelecidos.

Tabela 5 – Resultado da Resistência à compressão.

<b>Tratamentos</b>	<b>P1/P3</b>		
	<b>Res. Média (Mpa)</b>	<b>S</b>	<b>Fck (MPa)</b>
P1 1:3	39,01	2,92	36,31
P1 1:4	37,38	3,28	34,40
P3 1:3	39,04	3,40	35,96
P3 1:4	38,48	3,27	35,52

Fonte: O Autor, 2016.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

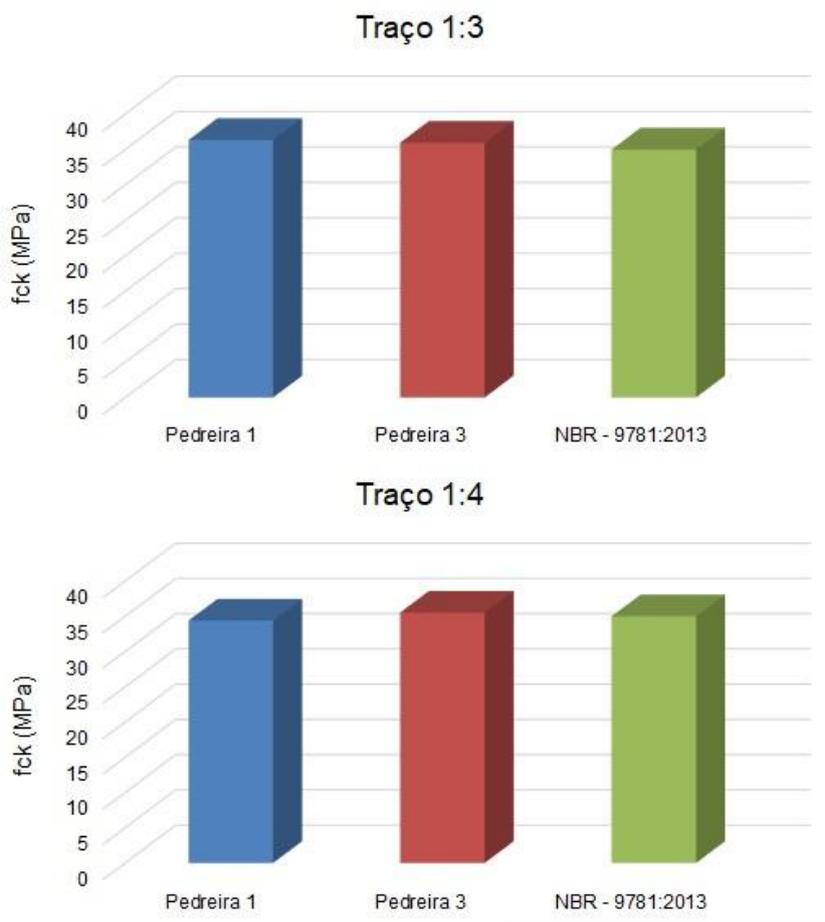
Considerando-se os resultados apresentados neste trabalho, concluiu-se que os agregados dos rejeitos do quartzito podem ser utilizados para fabricação de peças de concreto para pavimentação obedecendo condições específicas de tráfego. No caso do agregado graúdo, os resultados mostraram possibilidade de substituição de 100% desse agregado.

Para o efetivo uso do agregado graúdo do quartzito nas peças de concreto recomenda-se considerar eventuais possibilidades de reação álcali-agregado. Um estudo nestes moldes foi realizado por Reis (2016), que recomenda o uso de cimentos com baixo teor de álcali, mais especificamente, conforme normativas, o cimento alto forno CPIII (% de escória granulada > 60%)

ou o uso de cimento Portland pozolânico, com no mínimo 30% de pozolana (15577-5 ABNT,2008).

Por fim, deve-se ressaltar, também, o grande benefício ambiental advindo com a minimização das pilhas de rejeitos, que hoje constituem um grande problema ambiental vivido pelas minerações. Outro aspecto importante é a possibilidade de reativação de muitas minerações no Sudoeste do Estado de Minas Gerais que atualmente estão fechadas, exatamente pela impossibilidade de minimizar os seus danos ambientais. Neste caso os trabalhadores poderiam voltar aos seus postos de trabalho, só que desta vez para trabalhar nas pilhas de rejeitos, reativando a economia local que ficou prejudicada pelo embargo das minerações.

Figura 4 – Resultado do Ensaio de Resistência à compressão.



Fonte: O Autor, 2016.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Apoio à Pesquisa (PAPq) da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG pelo fomento à pesquisa e pela bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 - Agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland, especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

- \_\_\_\_\_. NBR NM 26 - Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 45 - Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p
- \_\_\_\_\_. NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6p
- \_\_\_\_\_. NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 2001. 6p.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 9p
- \_\_\_\_\_. NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 13p.
- \_\_\_\_\_. NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial. 1991. 5p
- \_\_\_\_\_. NBR 5735 – Cimento Portland de alto-forno. 1991. 6p
- \_\_\_\_\_. NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico. 1999. 5p
- \_\_\_\_\_. NBR NM 7809 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2008.
- \_\_\_\_\_. NBR 7389-1 - Análise petrográfica de agregado para concreto  
Parte 1: Agregado Graúdo. 2009.
- \_\_\_\_\_. NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio, 2013. 27p
- \_\_\_\_\_. NBR 9935 - Agregados – Terminologia. 2011.12p
- \_\_\_\_\_. NBR 9938 - Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos - Método de ensaio, 2013. 3p.
- \_\_\_\_\_. NBR 11578 - Cimento Portland composto - Especificação. 1997. 5p
- \_\_\_\_\_. NBR 12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. 2014. 14p
- \_\_\_\_\_. NBR 15577-4 - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. 2008.

BRITO, I. C. S.; FERREIRA, S. F. M; GUIDA, S. M; SANTOS, C. S; RITA, F. S; GIUNTI, O. D; MORAIS, M. A; PAES, E.R. Importância da Manutenção da Atividade Mineradora e Seus Impactos Sócio-Ambientais no Município De Alpinópolis – Mg. In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. 2014. Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas.

COLLARES, E. G; RAMIRIO, R. F.; PAMPLONA, D. R. P, FRANKLIN JUNIOR I. Estudo comparativo de rejeitos de quartzito com outros agregados comercialmente utilizados como materiais de construção no Sudoeste de Minas Gerais. **Ciência et Praxis.** Passos, v. 1, n. 1, p.10, 2008.

COLLARES, E.G.; FRANCKLIN Jr, I; MOTTA, L.A.C. 2012. Evaluation of the aggregate produced from wastes of quartzite mining sites to use in concrete. **An International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, São Paulo, Volume 35, N. 3, p. 251-266, September-December , 2012.

FRANCKLIN Jr, I. **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. 14p

REIS, M. J. **Avaliação tecnológica de rejeitos de minerações de quartzito do Sudoeste Mineiro como agregados em peças de concreto para pavimentação (PCP), 2016. 207f.** Dissertação - Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos, 2016.

SANTOS, D. A; GURGEL, M. T.; MOTA, A. F. E PAIVA, F. I. G. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB. **Holos**, v. 4, p. 89-100, 2014.