

Caracterização tecnológica de resíduos de pedreiras de quartzito da região de Ouro Preto/MG

(Technological characterization of the residuals from a quartzite quarry of Ouro Preto/MG)

Rosa Malena Fernandes Lima

Professora do PPGEM/DEMIN/UFOP. E-mail: rosa@demin.ufop.br

Alexandro Fortes Simões da Silva

Engenheiro de Minas. E-mail: alexandrofortes1@yahoo.com.br

Rubhia Marianna Maciel de Moraes

Mestranda do PPGEM/UFOP. E-mail: rubiamorais@pop.com.br

José Aurélio Medeiros da Luz

Professor do PPGEM/DEMIN/UFOP. E-mail: jaurelio@demin.ufop.br

Resumo

Os quartzitos da serra do Taquaral em Ouro Preto-MG são extraídos para serem usados como placa de pisos e revestimentos. Pelo fato de a rocha ser bastante intemperizada e, por essa razão, ser friável, são geradas, nas frentes de lavra e no beneficiamento, um grande volume de resíduos de ampla distribuição granulométrica. Por essa razão, esse trabalho teve, por objetivo, caracterizar as areias provenientes das frentes de lavra dessas pedreiras, que são, normalmente, depositadas nas encostas dos morros. Através dos estudos realizados com três amostras, verificou-se a viabilidade técnica de utilização das mesmas na construção civil, na fundição e, após purificação por separação magnética de alta intensidade e flotação dos minerais portadores dos elementos químicos deletérios (F_2O_3 , Al_2O_3 e TiO_2), vislumbra-se a possibilidade do uso dessas areias na indústria de vidro, o que é extremamente importante do ponto de vista social, econômico e ambiental.

Palavras-chave: Caracterização tecnológica de resíduos, areias de quartzito.

Abstract

Quartzites from Taquaral Hill at Ouro Preto - in the State of Minas Gerais - have been exploited for construction and ornamental purposes for decades. Until now, the rudimentary way to exploit and refine these weatherized rocks has produced, a large amount of residuals distributed in a broad size distribution range. This work aimed to characterize the sand and debris from the mining operation, which are deposited downhill. Three samples were studied and it became evident that this debris can be used as sand in the civil construction and foundry industries. Also, after removing the impurities (F_2O_3 , Al_2O_3 e TiO_2) by high intensity magnetic separation and froth flotation, it can be used in the glass industry, which is of social, economical and environmental interest.

Keywords: Waste technological characterization, quartzite sands.

1. Introdução

O aproveitamento dos quartzitos da região de Ouro Preto como rocha ornamental é uma atividade econômica que vem sendo empreendida há décadas. A lavra é efetuada de modo muito rudimentar e em condições precárias. Normalmente, são produzidas placas de piso e revestimento. As placas destacadas e aproveitáveis são empilhadas para o transporte (o qual é parcialmente feito com muare). O baixo emprego de técnicas racionais modernas, somado ao fato de que somente uma parcela dos corpos quartzíticos ser utilizável para a confecção de placas para pisos e revestimentos, gera uma grande quantidade de resíduos, que são deixados nas encostas dos morros. Segundo as empresas produtoras, para a produção mensal atual de 1.500 m³, o volume total de rejeito solto é de aproximadamente 300.000 m³. No entanto, a atividade emprega diretamente 350 pessoas. A Figura 1 evidencia o enorme impacto ambiental causado pela atividade na região do morro do Taquaral (cerca de 3 km do centro de Ouro Preto, MG), onde se concentram as pedreiras de quartzito.

Lima e colaboradores (2005), através de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura, determinaram a composição mineralógica dos fragmentos decimétricos de quartzito, depositados nas encostas dos morros nas proximidades das pedreiras. Os minerais identificados foram o quartzo (85%), micas (moscovita e cianita - 10%), sericita (5%). Os minerais opacos rutilo, zircão, hematita, goethita, calcopirita e prata constituem cerca de 2% da composição mineralógica desses quartzitos.

As areias de quartzo têm ampla aplicação industrial (na construção civil, fundição, indústria vidreira, etc.). As especificações de areias para a construção civil e para fundição baseiam-se, essencialmente, na granulometria, com especificações químicas menos rígidas. Para a indústria de vidro, as exigências, em termos de teores de sílica e de impurezas, são mais rigorosas, conforme mostrado na Tabela 1.

Devido à grande importância da atividade de extração do quartzito na região de Ouro Preto, esse trabalho teve, por objetivo, caracterizar as areias provenientes das frentes de lavra, que, normalmente, são jogadas nas encostas, visando a determinar possíveis aplicações para as mesmas e, dessa forma, garantir a reabilitação da área degradada, bem como garantir a continuidade da lavra pelos pequenos mineradores que atuam na região.

2. Materiais e métodos

As análises granulométricas das amostras coletadas foram efetuadas por peneiramento a seco, utilizando a série Richard de peneiras de abertura de 12,7 a 0,037 mm. O tempo de peneiramento foi fixado em 10 minutos.

Foram efetuados ensaios preliminares de purificação das areias para a remoção das impurezas, usando separador magnético de alta intensidade (corrente de 7,8 amperes) e flotação (300 g/t de óleo de soja saponificado, 40% de sólidos em peso, pH 10, tempo de condicionamento - 5 minutos e 1200 rpm).

Foram efetuadas análises químicas por faixa granulométrica das três amostras coletadas e dos produtos dos ensaios de concentração magnética de alta intensidade. Os elementos e compostos analisados foram Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Li₂O, MgO, MnO, Na₂O, TiO₂, Co, Cr, Pb, Zr por plasma de acoplamento indutivo. O SiO₂ foi determinado por gravimetria.

3. Resultados e discussão

Observa-se que as curvas de distribuição granulométrica das três amostras analisadas apresentam o mesmo padrão, veja Figura 2. O d₈₀ da amostra A e B é de 0,35 mm. Para a amostra C o d₈₀ é de 0,42 mm. Cerca de 89,0; 78,5 e 82,0% das amostras A, B e C, respectivamente, encontra-se na faixa granulométrica de 841 a 74 µm (20 a 200 #) e com teores de SiO₂ acima de 88,0% (veja Tabelas 2, 3 e 4), que são as especificações granulométrica e química para areia aplicada em fundição, ou seja, somente com um corte granulométrico, usando as peneiras de 0,841 e 0,074 mm, os resíduos descartados das amostras A, B e C seriam de



Figura 1 - Fotografias da região do morro do Taquaral de Ouro Preto/MG, mostrando a quantidade de resíduos gerados na atividade (Lima e colaboradores, 2005).

Tabela 1 - Resumo de especificações química e granulométrica de areias industriais (Barbosa & Porphírio, 1993 e Luz & Lins, 2005).

Uso/Finalidade	Teor (%)				Granulometria
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Outros	
Areia para vidro					
Vasilhame	92,76	3,779	0,127	TiO ₂ < 0,034; CaO < 0,06; MgO < 0,017; K ₂ O < 2,734; Na ₂ O < 0,114; P.F. < 0,373	
Vidros Planos	99,5 (mín.)	0,30 (máx.)	0,04 (máx.)	TiO ₂ < 0,030 ; Cr ₂ O ₃ < 2 ppm ; MnO ₂ < 0,002ppm; H ₂ O < 0,05	99,5% > 200#
Cristal	98,5 (mín.)	0,5 (máx.)	0,035 (máx.)	CaO + MgO < 0,2 ; TiO ₂ < 0,03; ZrO ₂ < 0,01; H ₂ O < 0,1; Cr ₂ O ₃ < 0,001	95% > 150#
Fibra	99,0 (mín.)	0,30 (máx.)	0,50 (máx.)	Na ₂ O < 0,1; K ₂ O < 0,1, H ₂ O < 0,5	95% < 325#
Fundição	88 -99	-	-	Teor de umidade e argila total < 0,1%	20 a 200#
Cerâmica	99,5	0,2	0,03	TiO ₂ < 0,025; K ₂ O + Na ₂ O < 0,15; CaO + MgO < 0,03; Cr ₂ O ₃ < 3 ppm; P.F. < 0,1	
Esmalte	99,5	0,2	0,03	TiO ₂ < 0,025; K ₂ O + Na ₂ O < 0,15; CaO + MgO < 0,03; Cr ₂ O ₃ < 3 ppm; P.F. < 0,1	> 40 µm
Tinta, plástico e borracha	99,5	0,009	0,025	TiO ₂ < 0,005; CaO < 0,15	
Construção civil					
Grossa	80	-	-	-	2,4 a 4,8 mm
Média					0,6 a 2,4 mm
Fina					0,15 a 0,6 mm

11, 21,5 e 18 % , respectivamente, o que é extremamente interessante do ponto de vista ambiental.

No caso de aplicação para construção civil, com um corte granulométrico usando peneiras de 0,589 e 0,149 mm (areia fina), o descarte de resíduos, que são depositados nas encostas dos morros, seria reduzido de 75,4; 67 e 66,3 % para as amostras A, B e C, respectivamente. Como areia média (0,80 a 2,4 mm), seria recuperado mais 3,14; 5,71 e 4,7 % , respectivamente, para as mesmas amostras, pois, nessas granulometrias, o teor de SiO₂ está acima do teor mínimo (80%) para essa aplicação; vejam-se Tabelas 2, 3 e 4.

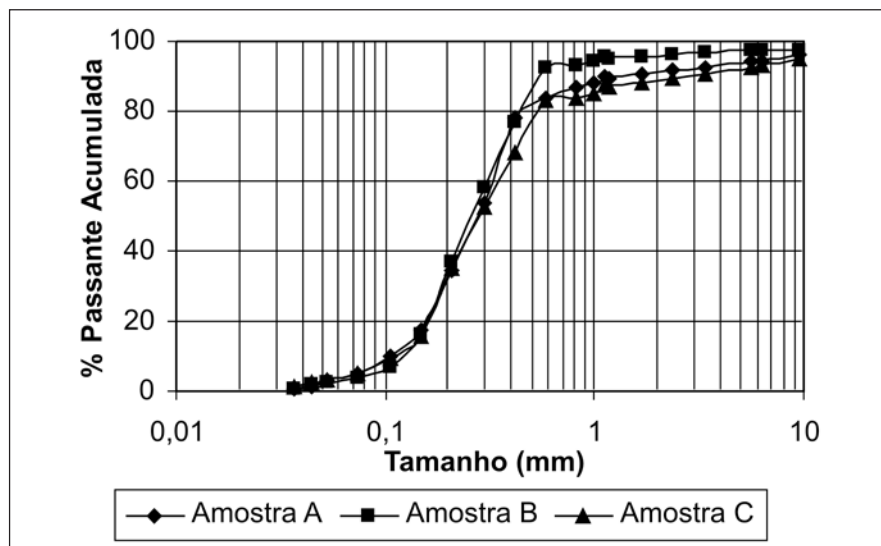


Figura 2 - Distribuições granulométricas das amostras A, B e C.

Tabela 2 - Análise granuloquímica da amostra A.

Tamanho mm	Elementos Maiores (%)										Elementos Menores (ppm)			
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	3,7	<0,01	0,35	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,04	91,1	0,22	222,5	38,8	<5,0	75,2
1,41	6,3	0,01	1,70	0,36	<0,01	0,02	<0,01	0,09	86,3	0,31	313,8	51,7	32,7	122,4
1,68	6,1	0,03	1,38	0,29	<0,01	0,02	<0,01	0,08	85,9	0,28	246,4	39,9	<5,0	111,5
0,589	5,6	0,05	0,74	0,22	<0,01	0,02	<0,01	0,08	86,3	0,24	223,9	32,8	9,3	92,6
0,417	6,6	0,04	0,39	0,18	<0,01	0,01	<0,01	0,07	86,2	0,20	286,2	31,9	26,5	79,8
0,295	4,5	0,03	0,27	0,14	<0,01	0,01	<0,01	0,05	87,5	0,15	211,0	21,7	<5,0	63,3
0,208	4,1	0,01	0,11	0,08	<0,01	0,01	<0,01	0,03	93,6	0,10	378,7	18,0	13,9	48,8
0,147	2,4	0,01	0,08	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	91,2	0,08	347,9	11,1	<5,0	36,6
0,104	1,9	0,01	0,09	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	94,3	0,08	303,2	9,2	<5,0	33,2
0,074	3,0	0,01	0,14	0,07	<0,01	0,01	<0,01	0,02	91,1	0,15	311,7	15,8	<5,0	43,7
0,038	5,7	0,01	0,25	0,21	<0,01	0,01	<0,01	0,05	85,4	0,34	289,9	33,3	<5,0	88,0
-0,038	17,5	0,05	1,24	1,41	<0,01	0,06	<0,01	0,30	63,6	1,11	86,0	116,9	55,9	406,1

Tabela 3 - Análise granuloquímica da amostra B.

Tamanho mm	Elementos Maiores (% peso)										Elementos Menores (ppm)			
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	4,3	<0,01	3,7	0,16	<0,01	0,01	<0,01	0,03	87,4	0,21	2,283	0,007	2,586	0,13
1,41	7,2	0,03	0,46	0,35	<0,01	0,02	<0,01	0,09	86,7	0,29	3,836	0,023	0,32	0,291
1,68	7,3	0,01	1,14	0,29	<0,01	0,01	0,01	0,1	86,9	0,28	3,874	0,007	0,794	0,244
0,589	6,7	0,01	0,9	0,26	<0,01	0,01	<0,01	0,09	88,4	0,28	3,527	0,007	0,629	0,217
0,417	7,5	0,02	0,49	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,08	86	0,23	3,961	0,012	0,341	0,179
0,295	8,2	0,01	0,41	0,19	<0,01	0,01	<0,01	0,08	85,5	0,2	4,36	0,009	0,287	0,158
0,208	5,8	0,01	0,29	0,15	<0,01	0,01	<0,01	0,06	87,9	0,16	3,087	0,006	0,203	0,121
0,147	4,2	0,01	0,12	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	93,4	0,09	2,219	0,005	0,086	0,06
0,104	3	0,01	0,14	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	95,4	0,08	1,57	0,004	0,1	0,049
0,074	2,8	0,01	0,23	0,06	<0,01	0,02	<0,01	0,02	94,4	0,15	1,505	0,011	0,159	0,054
0,038	3,7	0,01	0,22	0,11	<0,01	0,01	<0,01	0,03	93	0,17	1,933	0,006	0,156	0,092
-0,038	6,1	0,01	0,26	0,29	<0,01	0,01	<0,01	0,07	90,3	0,33	3,212	0,006	0,179	0,243

Tabela 4 - Análise granuloquímica da amostra C.

Tamanho mm	Elementos Maiores (%)										Elementos Menores (ppm)			
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	4,7	0,04	0,47	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,07	91,4	0,19	540	27,7	17	78,5
1,41	6	0,06	0,75	0,28	<0,01	0,01	<0,01	0,13	86,1	0,2	340,1	29,5	20,8	80
1,68	5,7	0,05	0,29	0,17	<0,01	0,01	<0,01	0,08	88	0,15	289,5	25,7	<5,0	66
0,589	4	0,03	0,11	0,09	<0,01	0,01	<0,01	0,04	91,4	0,09	352,7	15,5	19,7	47
0,417	1,7	<0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	92,2	0,02	91,8	2,7	<5,0	12
0,295	2,8	0,01	0,05	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	96,6	0,08	331	11,6	<5,0	34,9
0,208	2,3	0,01	0,06	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	94	0,08	310,7	10,2	21,7	35,1
0,147	2,9	0,01	0,09	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	92,7	0,16	317,1	14,6	19,3	38,4
0,104	5,7	0,01	0,16	0,14	<0,01	0,01	<0,01	0,04	87,6	0,41	250,4	30,5	<5,0	92,8
0,074	9,3	0,02	0,41	0,46	<0,01	0,02	0,02	0,1	81,2	0,74	125,7	54,5	34,3	267,2
0,038	17,7	0,05	1,21	0,94	<0,01	0,05	0,09	0,22	72,8	1,91	71,7	109,3	50,2	735,3
-0,038	31,1	0,09	2,32	1,09	<0,01	0,08	0,17	0,28	51	3,28	99,3	188,2	129,7	1165,8

A recuperação em massa obtida na purificação da amostra A, usando separação magnética de alta intensidade, foi de 89%. Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentadas as análises granuloquímicas das areias purificadas (amostra A e B), utilizando separação magnética de alta intensidade (corrente de 7,8 A). Observa-se, pela Tabela 5, que os teores de impurezas dos concentrados são maiores nas faixas granulométricas acima de 589 μm (28 #) e abaixo de 147 μm (100 #). Esse mesmo comportamento já era observado na amostra de cabeça (Tabela 2). Através desse ensaio, observa-se, também, que o teor de TiO_2 está acima do limite permitido para a indústria de vidro para todas as faixas granulométricas analisadas. No caso da amostra B

(Tabela 6), os teores de TiO_2 , para a faixa granulométrica entre 417 μm (35 #) e 208 μm (65 #), encontram-se dentro das especificações para vidro (teor máximo permitido de 0,03 %), o que é bastante significativo em termos de massa recuperada.

Na Tabela 7, estão apresentados os balanços de massa dos ensaios de purificação das três amostras, bem como os teores de sílica e de impurezas nos concentrados. A recuperação em massa (produto afundado), para todas as três amostras testadas, estava acima de 93% com teores de sílica acima de 90%. Quanto aos teores de impurezas, observa-se que foi obtido um concentrado (produto afundado) dentro das especificações para vidro (vasilhame) para a amostra A.

No caso da amostra C, o teor de TiO_2 no concentrado foi de 0,05 %, que está ligeiramente fora das especificações para vidro.

Através desses ensaios preliminares de purificação das areias estudadas por separação magnética de alta intensidade e por flotação, verifica-se a possibilidade de obtenção de concentrados dentro das especificações para vidro, especialmente para a purificação por flotação, pois há de se salientar que os resultados dos teores de sílica e de impurezas foram obtidos para amostras globais dos concentrados, o que não foi obtido para o concentrado da separação magnética de alta intensidade, exceto para a amostra B para a faixa granulométrica de 208 a 417 μm .

Tabela 5 - Análise granuloquímica do produto não magnético da amostra A (corrente de 7,8 A).

Tamanho		Peso (%)	Teores (%)								
(#)	μm		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
28	589	6,4	93,8	5,45	0,1	0,16	0,07	0,012	0,14	0,076	0,22
35	417	11,8	97,2	2,45	0,05	0,07	0,05	0,007	0,07	0,039	0,08
48	295	21	98,4	1,36	0,04	0,06	0,04	0,006	0,05	0,031	0,07
65	208	21,4	98,3	1,41	0,06	0,07	0,04	0,006	0,04	0,03	0,08
100	147	22,8	97,8	1,75	0,07	0,11	0,07	0,015	0,05	0,033	0,11
200	74	13,2	94,7	4,23	0,12	0,31	0,12	0,012	0,14	0,052	0,28
-200	-	3,4	82,6	15,56	0,34	1,05	0,29	0,03	0,19	0,067	0,86
Total Recalculado		100	96,8	2,71	0,08	0,15	0,07	0,01	0,07	0,039	0,15

Tabela 6 - Análise granuloquímica do produto não magnético da amostra B (corrente de 7,8 A).

Tamanho		Peso (%)	Teores (%)								
(#)	μm		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
28	589	9,1	95,3	3,87	0,16	0,07	0,05	0,008	0,15	0,05	0,3
35	417	10,9	97,3	2,32	0,1	0,02	0,03	0,002	0,06	0,02	0,1
48	295	18,7	98,4	1,35	0,08	0,02	0,01	0,002	0,04	0,01	0,05
65	208	19,3	98,5	1,25	0,1	0,03	0,01	0,002	0,04	0,01	0,09
100	147	23,6	98,2	1,48	0,1	0,06	0,02	0,003	0,04	0,01	0,08
200	104	15,1	95,7	3,29	0,14	0,21	0,17	0,008	0,1	0,03	0,35
-200	-	3,3	81,8	14,4	0,57	0,86	0,71	0,004	0,3	0,09	1,28
Total Recalculado		100	97	2,42	0,12	0,09	0,07	0,003	0,07	0,02	0,18

Tabela 7 - Balanço de massa dos ensaios de flotação das amostras A, B e C.

Amostra	Produto	Massa		Teores (%)					
		(g)	(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	Cr*	Co*	TiO ₂
A	Flotado	50,7	6,5	79,7	4,7	10,7	61,5	995	0,33
	Afundado	730,0	93,5	98,8	1,0	0,112	5,46	205	0,01
	Total	780,7	100,0	97,7	1,9	4,1	9,1	256,4	0,031
B	Flotado	43,9	5,6	78,9	9,9	10,6	131	107	-
	Afundado	745,0	94,4	90,3	5,7	3,56	49,4	9	0,25
	Total	788,9	100,0	89,7	6,0	3,95	53,97	14,49	0,236
C	Flotado	29,8	3,8	85,1	7,2	4,07	113	107	0,24
	Afundado	755,0	96,2	95,5	3,3	0,22	16	2	0,05
	Total	784,8	100,0	95,1	3,5	0,37	19,69	5,99	0,06

*ppm

4. Conclusões

- As curvas de distribuição granulométrica das três amostras analisadas mostraram-se bastante similares com d_{80} da amostra A e B igual a 0,35 mm e da amostra C igual a 0,42 mm.
 - Observou-se que há a possibilidade de redução de 82, 78 e 89 %, respectivamente, dos resíduos descartados nas encostas dos morros (amostras A, B e C), fazendo somente um corte granulométrico entre 0,589 e 0,074mm, pois os teores de SiO₂ das amostras A, B e C foram de 89,94; 92,74 e 92,77%, respectivamente. Esses valores estão dentro das especificações de areia para aplicação em fundição.
 - Uma outra possibilidade de aplicação dos resíduos de quartzito é como areia fina (0,589 e 0,149 mm) e média (0,8 a 2,4 mm), o que acarretaria uma redução de resíduos depositados nas encostas dos morros em torno de 74,5; 73 e 71 %, respectivamente, das amostras A, B e C.
- Verificou-se a possibilidade de obtenção de areia para aplicação em vidro de vasilhame após a purificação das mesmas.
 - A purificação das areias, usando flotação das impurezas, mostrou-se mais eficaz do que a separação magnética de alta intensidade, pois, nesse caso, embora tenha ocorrido a redução dos teores de Fe₂O₃ e Al₂O₃, para níveis aceitáveis para vidro, a obtenção de teor de TiO₂, dentro dos limites estabelecidos, para essa finalidade mostrou-se bastante complicada.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapemig pelo financiamento do projeto.

6. Referências bibliográficas

- BARBOSA, M. I. M., PHORPHÍRIO, N. H. *Projeto caracterização tecnológica de lascas de quartzito*. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/CNPq. Relatório Técnico. 1993. 106 p.
- LIMA, R. M. F., SILVA, A. F. S., LUZ, J. A. M., OLIVEIRA, M. L. M. *Estudo para o aproveitamento econômico dos resíduos de pedreiras de quartzito*. Relatório Técnico. 2005. 126 p.
- LIMA, R. M. F., SILVA, F. A. S., JORDT-EVANGELISTA, H. Uso de resíduos de pedreira de quartzito como areia para construção civil e fundição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 21. *Anais...* Natal-RN, 20 a 24 de novembro de 2005. p.351-357.
- LUZ, A. B. LINS, F.A. F. *Areia Industrial*. In: Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. LUZ, A. B., LINS, F. A. (Ed.). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p.107 a 126. 2005.

Artigo recebido em 08/11/2006 e aprovado em 26/06/2007.

REM - Revista Escola de Minas
www.rem.com.br