

106

SÉRIE Tecnologia Ambiental

**Geração de sílica grau
metalúrgico oriunda de
resíduos de quartzitos**

**Alessandra de Almeida Ferreira
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Francisco Wilson Hollanda Vidal**

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Geração de sílica grau metalúrgico oriunda de
resíduos de quartzitos**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Julio Francisco Semeghini Neto

Secretário Executivo

Gerson Nogueira Machado de Oliveira

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Cesar Augusto Rodrigues do Carmo

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Gustavo Silva Menezes

Coordenador de Administração – COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação – COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais – COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais – COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo – CONES

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais – COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-106-7

STA - 106

Geração de sílica grau metalúrgico oriunda de resíduos de quartzitos

Alessandra de Almeida Ferreira

Graduanda em Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Bolsista de Iniciação Científica do CETEM/MCTIC

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico e Licenciado em Química pela UERJ, M.Sc. e D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ. Pesquisador do CETEM/MCTIC

Francisco Wilson Hollanda Vidal

D.Sc. em Engenharia Mineral pela EPUSP/USP
Pesquisador Titular do CETEM/MCTIC

CETEM/MCTIC

2019

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Silvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Revisão

Ana Maria Silva Vieira de Sá

CRB7 3982

Catologação na Fonte

Ferreira, Alessandra de Almeida

Geração de sílica grau metalúrgico oriunda de resíduos de quartzitos / Alessandra de Almeida Ferreira [et al.]. __Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019.

35p.: il. (Série Tecnologia Ambiental, 106)

1. Resíduo de quartzito. 2. SiGS. 3. SiGM. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Ferreira, Alessandra de Almeida. III. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. IV. Vidal, Francisco Wilson Holanda. V. Título. VI. Série.

CDD – 620.198

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Rochas Ornamentais	10
1.2 Resíduos Gerados	11
1.3 Quartzitos	11
1.4 Silício Grau Metalúrgico (SiGM)	12
2 OBJETIVO	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Amostragem do Resíduo	15
3.2 Caracterização da Amostra	15
3.3 Purificações do Resíduo	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1 Caracterizações Químicas das Amostras por FRX	17
4.2 Caracterizações Mineralógicas das Amostras por DRX	19
4.3 Avaliação em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	28
5 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

A energia solar é uma importante alternativa de energia limpa e, aproximadamente, 90% das células solares são produzidas com o silício com pureza eletrolítica. Este silício deve ser puro o suficiente para produzir células solares de alta eficiência. O silício grau metalúrgico (SiGM) é a matéria-prima necessária à obtenção do silício grau solar (SiGS) utilizado na produção de células fotovoltaicas. Nesse trabalho o foco principal foi a geração de sílica grau metalúrgico (SiGM), oriunda de resíduos de quartzitos, para tentativas futuras de se obter silício grau solar (SiGS). Foram realizados dois métodos de alterações nos resíduos de quartzitos, um na pressão e outro na temperatura em diferentes períodos de tempo, a fim de se remover as impurezas e concentrar o silício, na forma de SiO_2 de elevada pureza, para que esta possa ser utilizada em aplicações com alto grau de pureza. As alterações de temperatura foram realizadas em forno mufla com temperaturas de 500°C , 700°C e 1000°C em períodos de tempos de 30, 60 e 90 minutos. Já as alterações na pressão foram procedidas em Autoclave com pressões de 1,0-1,2 atm. e 1,35-1,45 atm. em períodos de tempo de 30, 60, 90, 120 e 150 minutos. Todas as amostras passaram por análises químicas, mineralógicas e microscopia eletrônica de varredura, antes e após as alterações. Pôde-se concluir que os resíduos gerados no beneficiamento de quartzitos, que apresentavam teores de quartzo de 98% foram concentrados a valores superiores a 99%, tanto com aumento de temperatura a 700°C e aumento de pressão entre 1,35 e 1,45 atm., configurando o material como um possível insumo para geração de SiO_2 grau metalúrgico.

Palavras-chave

Resíduo de quartzito, SiGS, SiGM.

ABSTRACT

Solar energy is an important clean energy alternative and approximately 90% of solar cells are produced with crystalline silicon. This silicon must be pure enough to produce high efficiency solar cells. Metallurgical grade silicon (SiGM) is the raw material needed to obtain the solar grade silicon (SiGS) used in the production of photovoltaic cells. This work aimed, mainly, at generating the metallurgical grade silica (SiO₂GM), from quartzite residues, for future attempts to obtain solar grade silicon (SiGS). Two methods of altering the quartzite residues, one at pressure and the other at temperature at different time periods, were carried out in order to remove the impurities and concentrate the silicon, as high purity SiO₂, so as to be used in high purity applications. The temperature changes were carried out in a Mufila oven with temperatures of 500°C, 700°C and 1000°C with time periods of 30, 60 and 90 minutes. The pressure changes were performed in autoclaves with pressures of 1.0-1.2 atm. and 1.35-1.45 atm. in time periods of 30, 60, 90, 120 and 150 minutes. All samples were submitted to chemical, mineralogical, infrared and microscopic spectroscopy before and after the alterations. It was possible to conclude that the residues generated in the quartzite beneficiation, with quartz contents of 98% were concentrated to values greater than 99%, both with temperature increase at 700°C and increase of pressure between 1.35 and 1.45 atm., configuring the material as a possible input for metallurgical grade SiO₂ generation.

Keywords

Quartzite waste, SiGS, SiGM.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo a ABRIROCHAS (2016) a importação, produção e o consumo de rochas ornamentais aumentaram substancialmente nos últimos anos, tornando o Brasil um dos maiores produtores em escala mundial. Arelada a essa produção, desde a lavra ao beneficiamento das rochas ornamentais, há geração significativa de resíduos que são despejados em aterros, já que não possuem utilidade prática para o setor.

Dentre as rochas ornamentais, destacam-se os quartzitos, que são rochas metamórficas, ricas em quartzo (SiO_2) e representam 30% da produção das rochas ornamentais, sendo os Estados de Minas Gerais, Bahia e Ceará os de maior extração. A sílica é matéria-prima para produção de vidro e apresenta grande importância econômica, pois o quartzo tem propriedades piezelétricas e, por isso, é bastante empregada em componentes eletrônicos que fazem uso deste fenômeno.

De acordo com Kim e Kwadwo (2012), o silício é considerado um material semicondutor sendo o segundo elemento mais abundante do planeta e é um material muito utilizado nas construções de células fotovoltaicas. Para aplicações em células fotovoltaicas é imprescindível que se tenha um silício com pureza elevada, como o silício Grau Solar (SiGS). Sabe-se que o quartzo é matéria-prima de maior importância para o desenvolvimento de SiGS, e este sendo submetido a uma reação carbotérmica dá origem ao material Silício Grau Metalúrgico (SiGM), segundo Kim e Kwadwo (2012). Oriundo da redução do SiO_2 (quartzo), o Silício Grau Metalúrgico (SiGM) é produzido e esse processo é realizado, tipicamente,

em fornos arco submerso (SCHEI et al., 1998). O teor deve estar entre 98,0 e 99,5% de sílica para a geração futura de SIGM.

Porém, é inapropriado ainda este teor de sílica para que seja produzido o silício de elevada pureza utilizado na produção de células fotovoltaicas, devido aos elevados teores de impurezas (DIAS et al., 2014). Portanto, o objetivo geral desse trabalho foi beneficiar e caracterizar uma amostra de resíduo de quartzito para alcance de um óxido de silício (SiO_2) com alto grau de pureza com fins metalúrgico.

1.1 | Rochas Ornamentais

De acordo com Chiodi Filho (2002), pode se nomear rochas ornamentais como rochas lapídeas ou pedras naturais, e estas englobam os materiais de origem natural e geológicos oriundos de blocos ou placas, cortados em diversas formas e beneficiados por meio de polimento ou esquadrejamento.

Segundo Cabello (2011), as rochas, de modo geral, são divididas de acordo com a sua origem em rochas ígneas (ou magmáticas), rochas metamórficas e rochas sedimentares.

As rochas ígneas são conhecidas os granitos como principal exemplo de aplicação como rocha ornamental. Possuem teores, em média, de 71,5% de SiO_2 (CABELLO, 2011).

Já as rochas metamórficas têm suas características dependentes dos minerais presentes na rocha matriz, bem como das características do meio onde ocorreu o processo de metamorfismo (temperatura, pressão e composição química) (CABELLO, 2011).

De acordo com Cabello (2011), rochas sedimentares são oriundas do acúmulo de materiais de outras rochas que as precederam.

1.2 | Resíduos Gerados

Segundo Campos et al. (2014), desde a lavra até o beneficiamento, demasiada quantidade de resíduos de rochas ornamentais é gerada, em distintas granulometrias, que não apresentam valor econômico para o setor e são depositados em aterros, gerando um grande impacto ambiental.

Como se tratam de resíduos com minerais de interesse industrial, diversos estudos já foram desenvolvidos visando a aplicação desses materiais como agregados nos setores de pavimentação e construção civil ou como carga nos setores de tinta, vidro, cerâmica, polímero, dentre outros, com o objetivo de mitigar o impacto ambiental e gerar novos produtos de baixo custo (RIBEIRO e OLIVEIRA, 2015; RIBEIRO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2010 e MACHADO et al., 2010).

1.3 | Quartzitos

Dentre as rochas ornamentais, destacam-se os quartzitos, que são rochas metamórficas, constituídas com altos teores de quartzo, em percentuais que variam de 70 a 95%, apresentando granulação de fina à média e possuindo alto grau de recristalização (MENEZES, 2015). É uma rocha compacta e de alta dureza (AMORIM, 2013).

1.4 | Silício Grau Metalúrgico (SiGM)

Além da sílica, o quartzo pode apresentar alguns elementos de impureza, como por exemplo, cálcio, alumínio, boro, molibdênio, manganês, dentre outros (GUSO, 2008).

O silício é um dos elementos mais abundante na crosta terrestre, sendo encontrado em combinação com outros elementos químicos na forma de silicatos, minerais de silício e oxigênio. A indústria que mais utiliza o silício é a siderúrgica para produção de aço e ferro fundido. Já na indústria de microeletrônica, para fabricação de semicondutores e células fotovoltaicas. (GUNTHER, 2011).

Sendo um semicondutor, o silício possui grande demanda na fabricação de células fotovoltaicas (KIM e KWADWO, 2012). Para tal aplicação é necessário um silício com demasiada pureza, conhecido como silício grau solar (SiGS). Sendo o silício grau metalúrgico (SiGM) a matéria-prima para se obter o SiGS (SCHEI et al., 1998).

Alternativas de rotas metalúrgicas são pesquisadas para se purificar do silício grau metalúrgico (SiGM) para seja possível a produção de um material de pureza aproximada e de menor custo que o silício grau eletrônico (SiGE), por mais que seja adequado para a produção de células fotovoltaicas (CORTES, 2011).

Para o silício grau metalúrgico (SiGM), é possível que este seja obtido com base no material quartzo, com pureza na faixa de 98,0 a 99,5 % (SERODIO, 2009), o que torna o seu processo de aplicação industrial e de obtenção viável economicamente.

O silício comercial é obtido a partir da sílica de alta pureza em fornos do tipo arco elétrico reduzindo o óxido com um redutor carbonoso (carvão vegetal ou mineral) numa temperatura superior a 1900 °C descrita por meio da Equação 1.



O silício líquido se acumula no fundo do forno de onde é vazado e lingotado. O silício grau metalúrgico é produzido por meio deste processo, apresentando um grau de pureza entre 98,0 e 99,5%.

No entanto, este teor de silício ainda é considerado inadequado à produção de células fotovoltaicas em decorrência do alto índice de impurezas, sendo estas responsáveis pelas alterações na condutividade do SiGM.

Logo, para que o quartzo seja usado na fabricação de SiGM é de extrema importância que haja um desenvolvimento de novos processos de beneficiamento e purificação do mesmo.

2 | OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo a obtenção de sílica grau metalúrgico (SiGM) por meio de métodos de alteração na pressão e na temperatura de resíduos gerados no beneficiamento de quartzitos ornamentais.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 | Amostragem do Resíduo

O resíduo de rocha utilizado nesse trabalho é oriundo do beneficiamento de quartzitos do distrito de Carnaíba, município de Pindobaçu, no Estado da Bahia, com granulometria menor que 0,02 mm e densidade de $2,51 \text{ g.cm}^{-3}$.

3.2 | Caracterização da Amostra

3.2.1 | Caracterização química da amostra por fluorescência de raios-X (FRX)

A caracterização química do resíduo de quartzito foi realizada no Laboratório de Espectrometria por Fluorescência de Raios-X da Coordenação de Análises Químicas e Mineralógicas – (COAM) do CETEM, onde as amostras foram preparadas na prensa VANEON (molde de 20 mm, P=20ton e t=30 segundos) e no espectrômetro por fluorescência de raios-X (WDS-1), modelo AXIOSMax (Paralytical). Utilizou-se ácido bórico (H_3BO_3) como aglomerante com proporção de 1: 0,5 , para 1,0 g da amostra seca à 105°C por 12horas e 0,5 g do H_3BO_3 .

3.2.2 | Caracterização mineralógica da amostra por difratometria de raios-X (DRX)

A Caracterização mineralógica do resíduo de quartzito foi feita utilizando a técnica de difratometria de raios-X (DRX), elaborada pela COAM do CETEM, utilizando o equipamento Bruker-D4 Endeavor.

3.2.3 | Microscópio eletrônico de varredura (MEV)

As análises ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas utilizando o equipamento modelo Quanta 400 da FEI-Bruker, e para tornar as amostras condutoras, estas foram metalizadas com ouro por 250 segundos.

3.3 | Purificações do Resíduo

3.3.1 | Alterações na temperatura

Cerca de 500 g de resíduo foram submetidos a temperaturas de 500^oC, 700^oC e 1000^oC, em forno Mufla, com períodos de tempos de 30, 60 e 90 minutos. Posteriormente, os resíduos foram lavados com água destilada por 1h, sendo avaliados, posteriormente, por FRX, DRX e MEV.

3.3.2 | Alterações na pressão

Cerca de 500g de resíduo foram submetidos em autoclave vertical, modelo 103 da FABBE-PRIMAR, variando-se a pressão de 1,0 a 1,2 atm. e de 1,35 a 1,45 atm. Observou-se o comportamento do resíduo nessas faixas de pressão, durante 30, 60, 90, 120 e 150 minutos. Posteriormente, todas as amostras foram lavadas com água destilada por 1h, sendo avaliadas, posteriormente por FRX, DRX e MEV.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Caracterizações Químicas das Amostras por FRX

4.1.1 | Alterações na temperatura

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos na fluorescência de raios-X com as amostras de resíduos de quartzitos que foram submetidas a variações de temperatura. O teor de SiO₂, que originalmente era de cerca de 98% no resíduo sem tratamento, aumenta, gradativamente, com o aumento da temperatura, observando-se um valor máximo de 99,6% quando a amostra foi submetida à 700°C por 90 minutos e 500°C por 30 minutos, indicando que as impurezas (Na₂O, Al₂O₃ e CaO) foram alteradas e lixiviadas, indicando que a condições de utilização do quartzito grau metalúrgico (98,0 - 99,5%) (DIAS et al., 2014) foram atingidas.

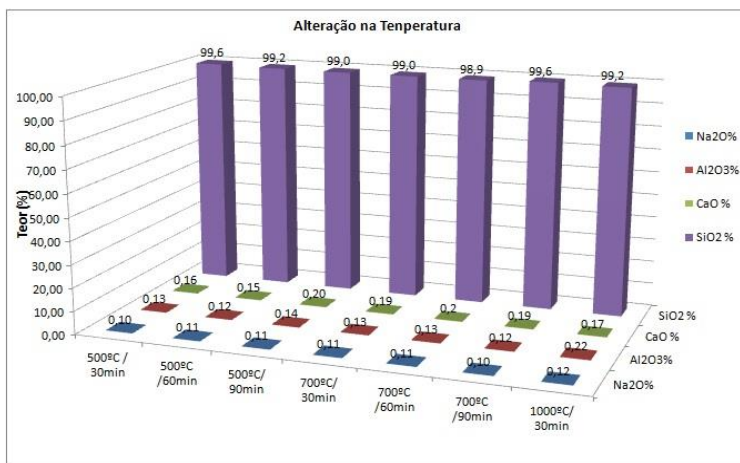


Figura 1: Variação do teor % de SiO₂ frente alterações na temperatura.

4.1.2 | Alterações na pressão

A Figura 2 apresenta os resultados da variação do teor de SiO_2 quando as amostras de resíduo de quartzito foram submetidas a pressões que variaram de 1,0 a 1,2 atm. a 1,35 a 1,45 atm. Observa-se um aumento do teor de SiO_2 , se comparado ao teor original de 98%, chegando-se a um valor máximo de 99,3% na faixa de pressão entre 1,35 e 1,45 atm., durante 30 minutos de submissão da amostra nessas condições. No entanto, de uma maneira geral, verifica-se que o teor de SiO_2 encontra-se, em média, em 99% para todas as amostras ensaiadas, indicando que a variação de pressão foi capaz de aumentar, em média, 2% no teor de SiO_2 . Tais resultados indicam que o aumento de pressão foi capaz de credenciar o resíduo de quartzito como um insumo para geração de quartzo grau metalúrgico.

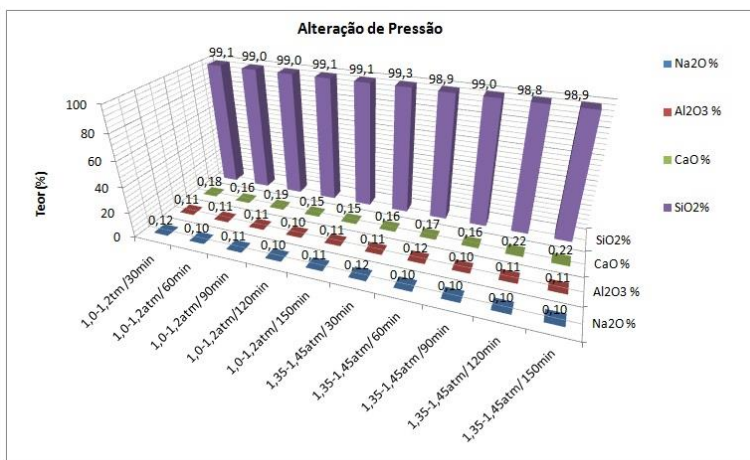


Figura 2: Variação do teor % de SiO_2 frente alterações na pressão.

4.2 | Caracterizações Mineralógicas das Amostras por DRX

As Figuras 3 a 9 apresentam o conjunto de difratogramas de cada amostra estudada em diferentes temperaturas e tempo de exposição. Já as Figuras 10 a 19 apresentam o conjunto de difratogramas após a variação de pressão nos diferentes tempos de ensaio. Todos os resultados indicam, basicamente, a presença de quartzo e não se observam as “impurezas” detectadas pela Fluorescência.

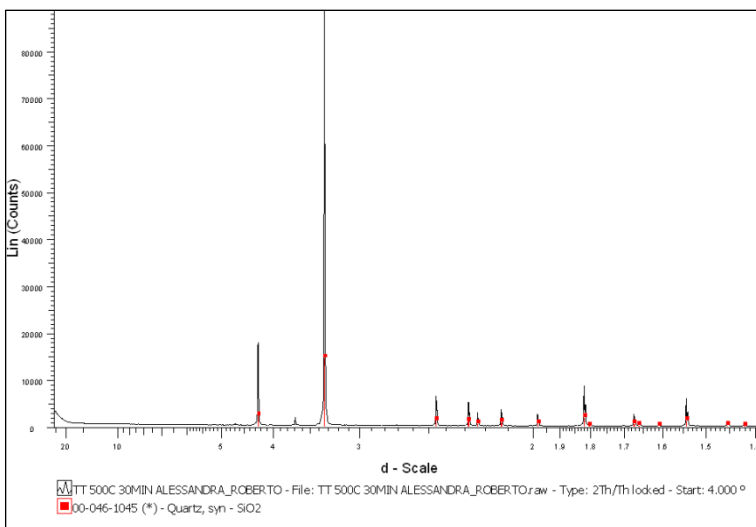


Figura 3: DRX amostra 30 min e 500°C.

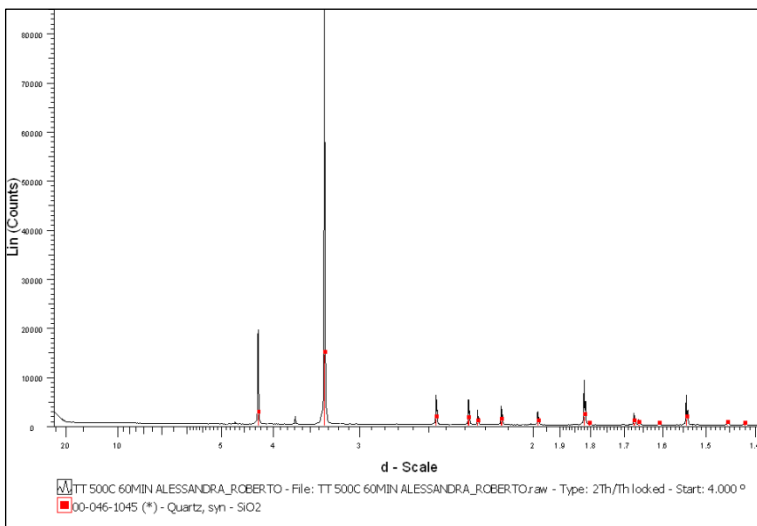


Figura 4: DRX amostra 60 min e 500°C.

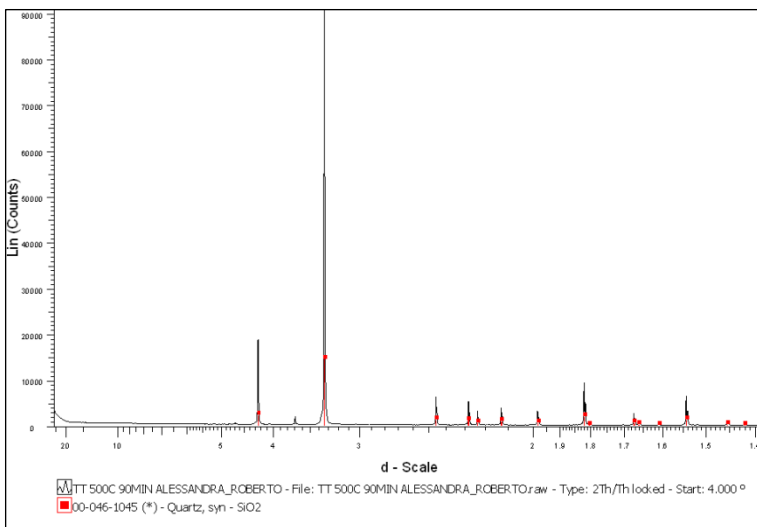


Figura 5: DRX amostra 90 min e 500°C.

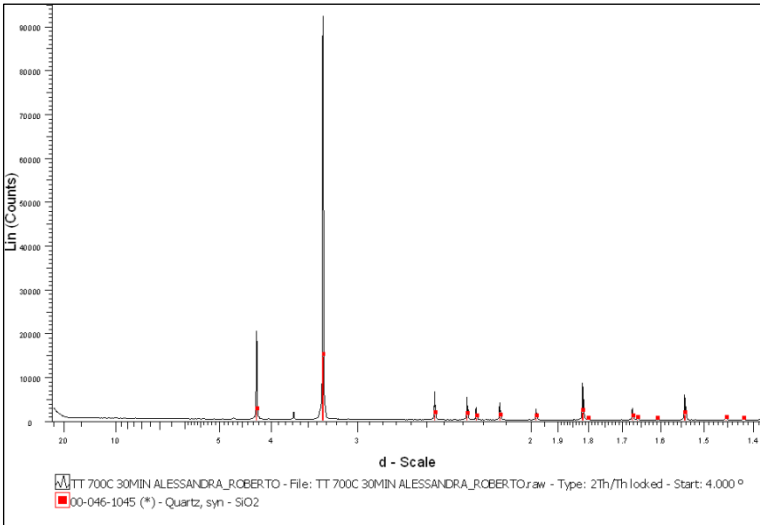


Figura 6: DRX amostra 30 min e 700°C.

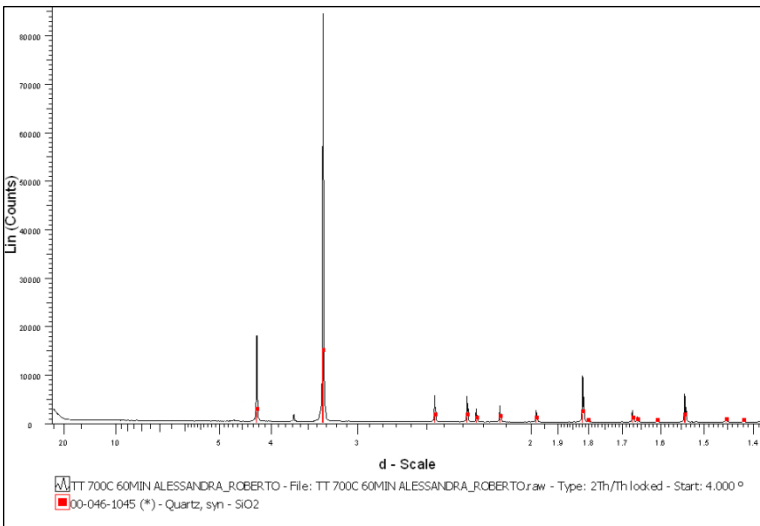


Figura 7: DRX amostra 60 min e 700°C.

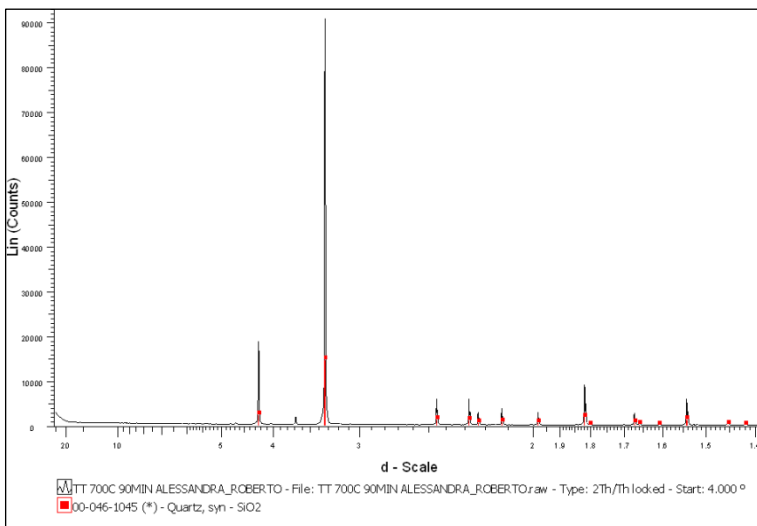


Figura 8: DRX amostra 90 min e 700°C.

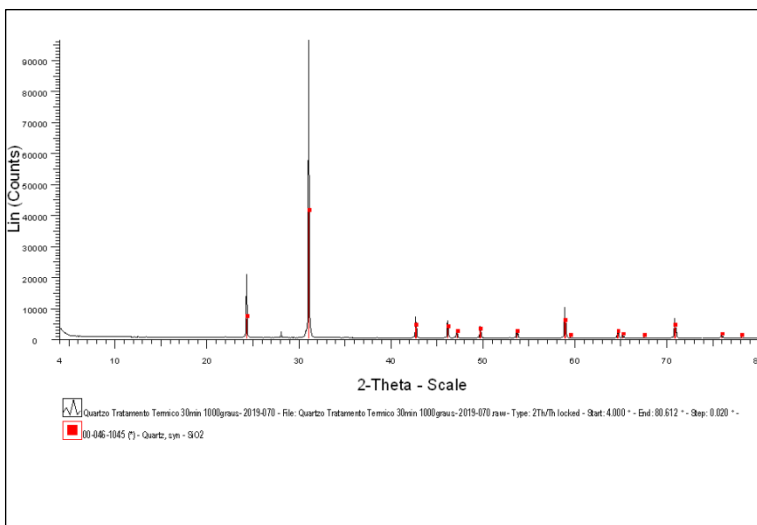


Figura 9: DRX amostra 30 min e 1000°C.

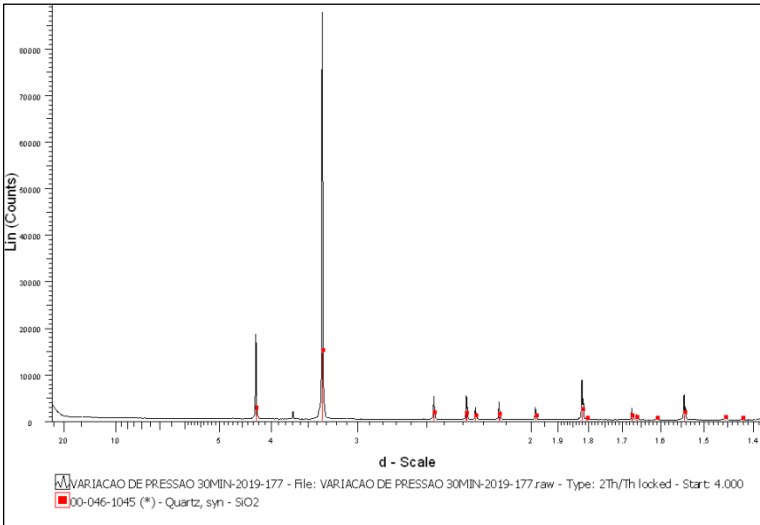


Figura 10: DRX amostra 30 min e 1,35-1,45 atm.

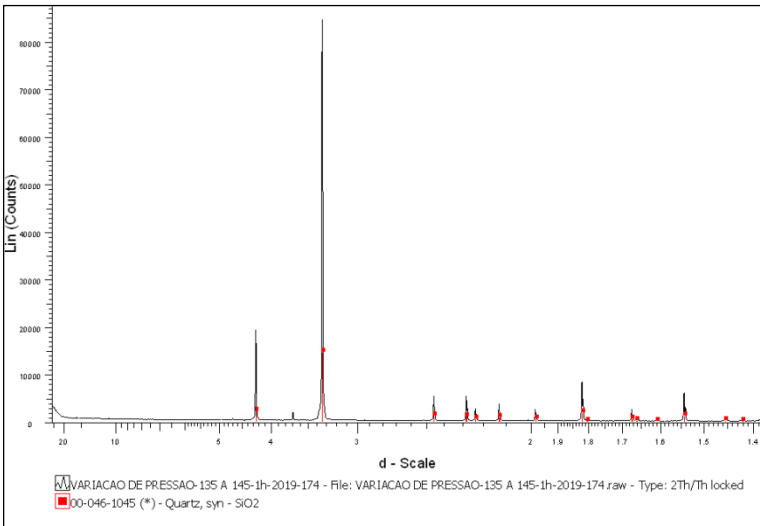


Figura 11: DRX amostra 60 min e 1,35-1,45 atm.

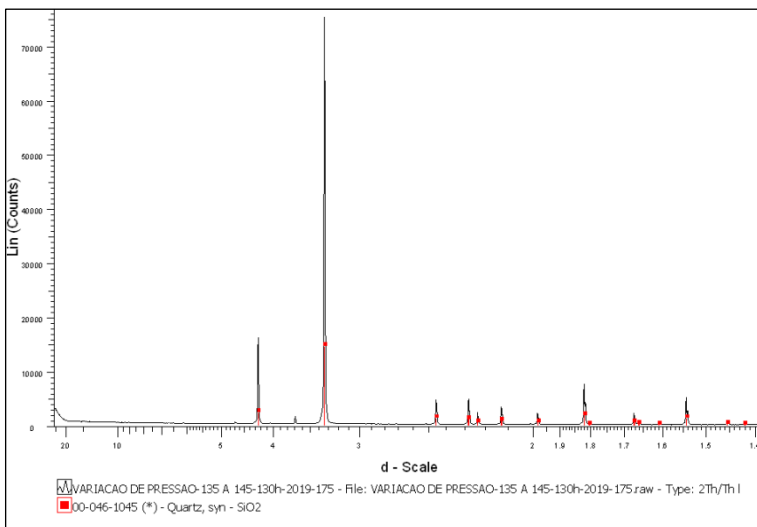


Figura 12: DRX amostra 90 min e 1,35-1,45 atm.

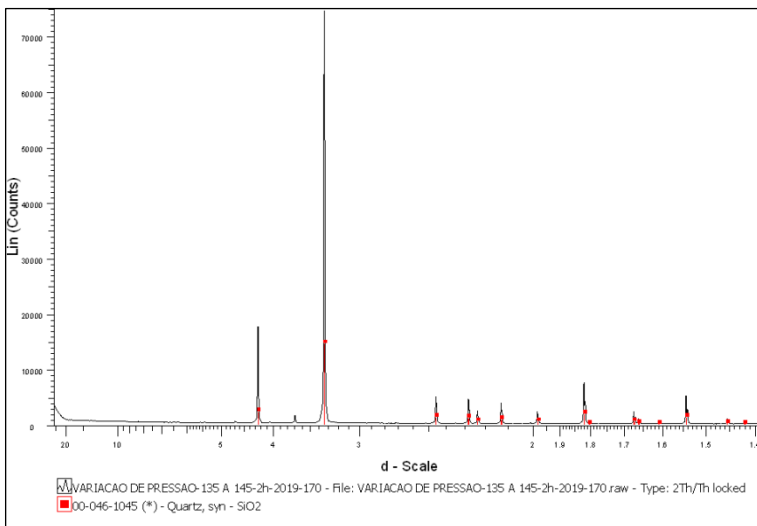


Figura 13: DRX amostra 120 min e 1,35-1,45 atm.

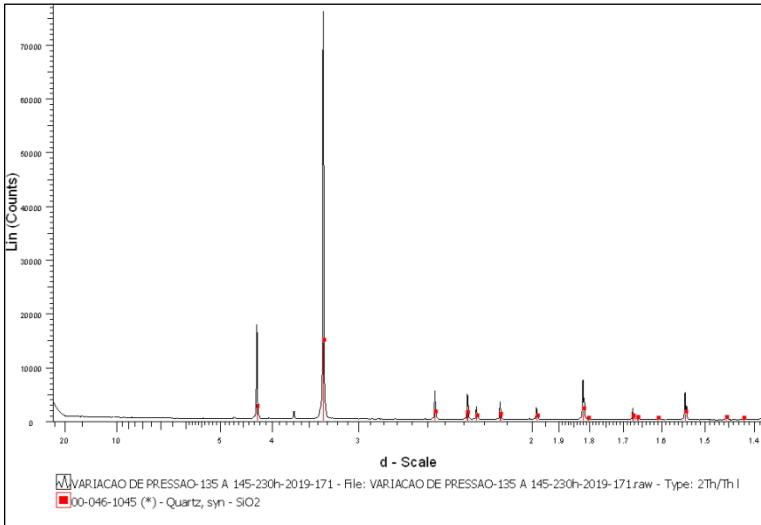


Figura 14: DRX amostra 150 min e 1,35-1,45 atm.

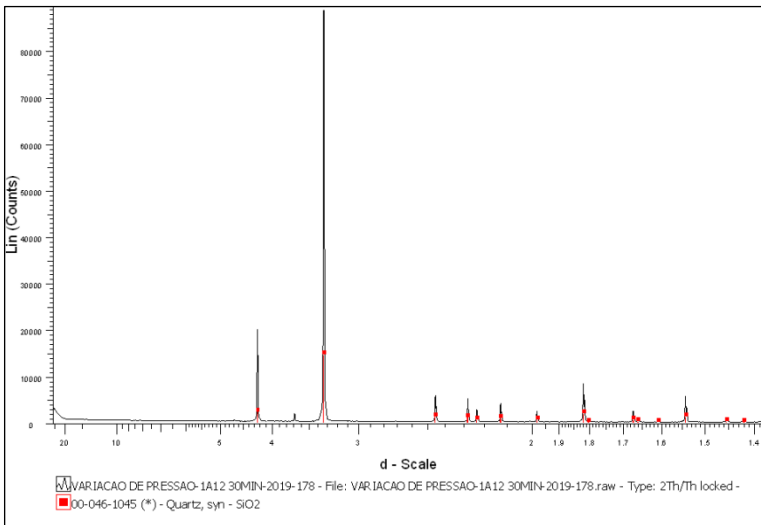


Figura 15: DRX amostra 30 min e 1,0-1,2 atm.

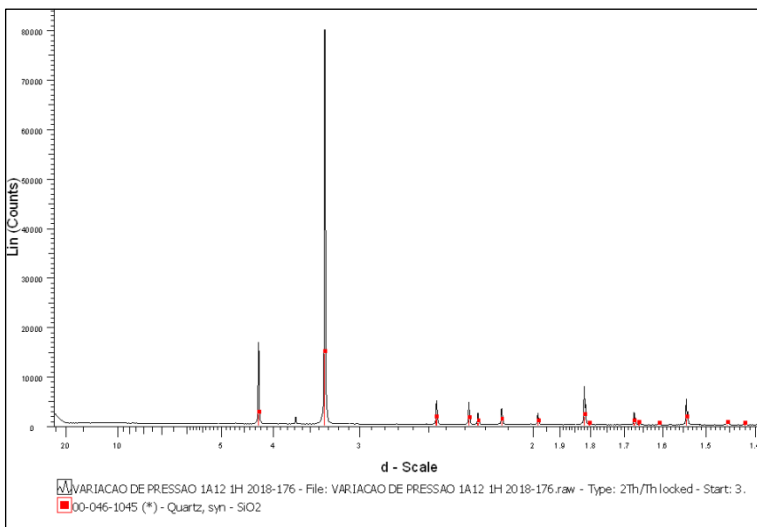


Figura 16: DRX amostra 60 min e 1,0-1,2 atm.

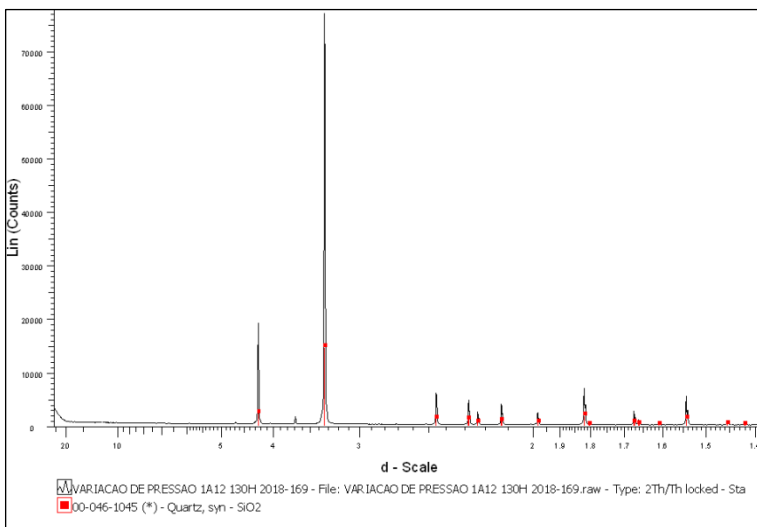


Figura 17: DRX amostra 90 min e 1,0-1,2 atm.

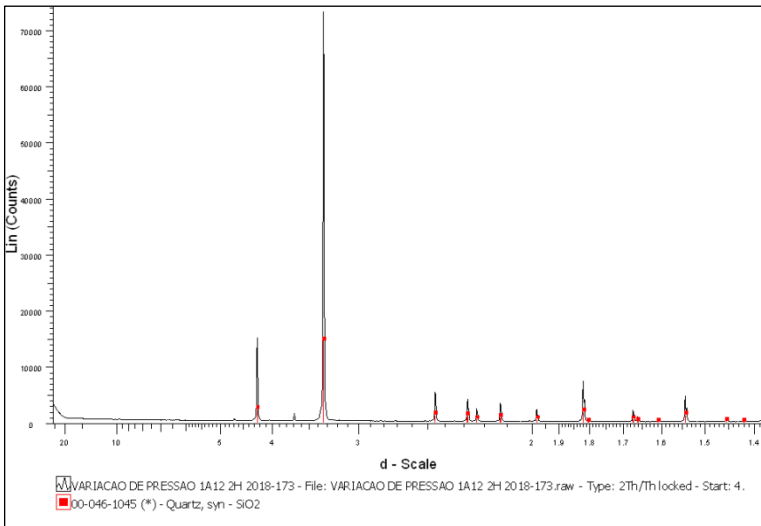


Figura 18: DRX amostra 120 min e 1,0-1,2 atm.

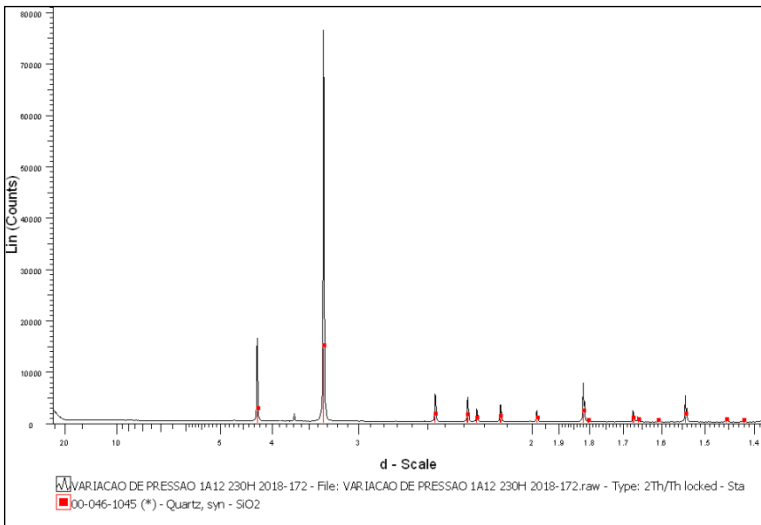


Figura 19: DRX amostra 150 min e 1,0-1,2 atm.

4.3 | Avaliação em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras de resíduos de quartzitos sem alteração apresentam, majoritariamente, silício, além de impurezas de cálcio, magnésio e ferro, como indicado na Figura 20.

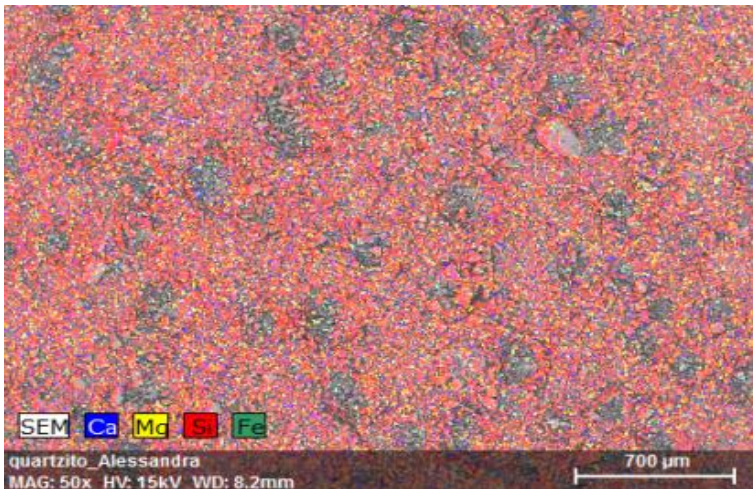


Figura 20: MEV do resíduo ao natural.

Já as amostras submetidas à temperatura de 700°C por 90 minutos (Figura 21) e à variação de pressão de 1,35 a 1,45 atm. durante 30 minutos (Figura 22), onde os teores de SiO₂ foram os mais elevados, observa-se praticamente a presença exclusiva de silício, corroborando os ensaios de FRX e a eficiência no método de alteração de temperatura e pressão como forma de concentração do SiO₂ para utilização com fins metalúrgicos.

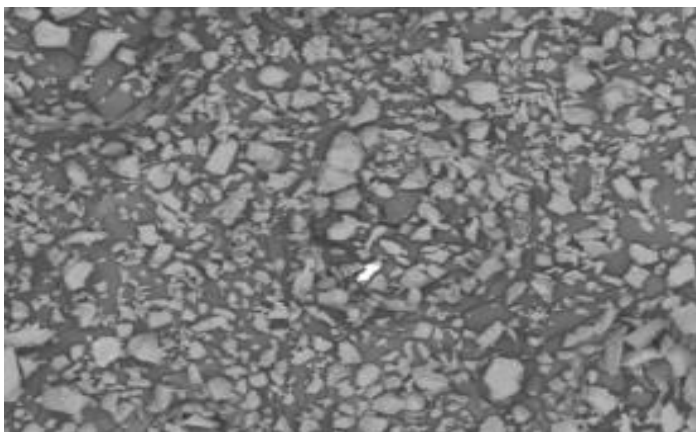


Figura 21: MEV do resíduo após 700°C por 60 minutos.

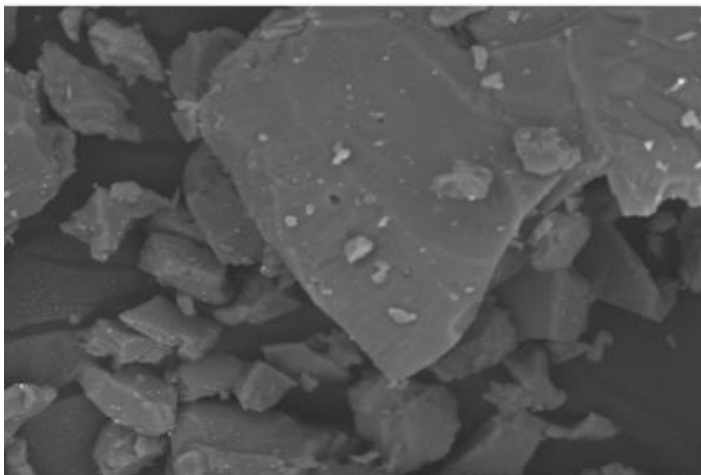


Figura 22: MEV do resíduo após 1,35 -1,45 atm. por 30 minutos.

5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que os resíduos gerados no beneficiamento de quartzitos, que apresentavam teores de quartzo de 98% foram concentrados a valores superiores a 99%, tanto com aumento de temperatura a 500°C e 700°C e aumento de pressão entre 1,35 e 1,45 atm., configurando o material como um possível insumo para geração de SiO₂ grau metalúrgico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M.L.C.M. de. Proposta de tratamento e aproveitamento dos resíduos provenientes de uma unidade industrial de beneficiamento de quartzito, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. Rochas ornamentais no século XXI. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/br/index.html>. Acesso em: 09 de abril. 2019.

AZEVEDO, R.G.D. Silicose na exploração de rochas ornamentais. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Universitário de Vila Velha, Vila Velha, 2009.

CABELLO, M.L.R. (2011) Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 172p.

CAMPOS, A.R.; RIBEIRO, R.C.C.; CASTRO, N.F.; AZEVEDO, H.C.A.; CATTABRIGA, L. Resíduos: Tratamento e aplicações industriais, tecnologia de rochas ornamentais – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento, cap. 9, 2014.

CHIODI FILHO, Cid. Critérios de especificação de rochas para revestimentos. Pedras do Brasil, Vitória, junho/2002. n. 04, p.32-34.

CGEE Produção de Silício grau solar no Brasil. Nota Técnica. Brasília, DF. Maio/2019. 10p.

CORTES, A.D.S. Desenvolvimento de células fotovoltaicas utilizando silício grau metalúrgico melhorado (Si-GMM). 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2011.

DIAS, R.S.S.; SILVA, E.B.; SILVA, F.A.N.G.; GARRIDO, F.M.S.; AMADO, R.S.; SAMPAIO, J.A. (2014). Beneficiamento do quartzo de Tanhaçu/BA visando a preparação de silício grau metalúrgico de alta pureza, Revista Holos, DOI: Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2014.1820>. Acesso em: 1 out. 2019.

GUNTHER, E.A. Securing silicon metal for solar. Photovoltaics, solar energy and energy policy. Junho, 2011. Disponível em: http://pvtrin.eu/assets/media/PDF/Publications/Other%20Publications/36.SolarGeneration6__2011.pdf. Acesso em: 1 out. 2019.

GUSO, P.L. Quartzo. In: Luz. A.B., Lins, F.A.F. Rochas e minerais industriais, CETEM/2008, 2a Ed., cap. 31, pp. 681-721.

KIM, E.; KWADWO, O. (2012), Dissolution windows for hydrometallurgical purification of metallurgical-grade silicon to solar-grade silicon: Eh-pH Diagrams for Fe silicides, hydrometallurgy, v.127-128, p. 178-186.

MACHADO, R.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; MESQUITA, L.F. Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais, Série Tecnologia Ambiental, 55, CETEM, Rio de Janeiro, 2010.

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

OLIVEIRA, C.N.; RIBEIRO, R.C.C.; QUEIROZ, J.P. Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos, Série Tecnologia Ambiental, 54, CETEM, Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G. Aproveitamento de resíduos oriundos da lavra e do beneficiamento do mármore Bege Bahia visando à geração de compósitos poliméricos, Série Tecnologia Ambiental, 82, CETEM, Rio de Janeiro, 2015.

RIBEIRO, R.C.C.; CARANASSIOS, A.; MORANI, B. Utilização de resíduos oriundos do corte de mármore como carga na indústria de papel, Série Tecnologia Ambiental, 70, CETEM, Rio de Janeiro, 2014.

SCHEI, A.; TUSET, J.; TVEIT, H. (1998), Production of High Silicon Alloys, Trondheim, Tapir Forlag.

SERÓDIO, L.M. (2009). Estado da arte da obtenção de silício grau solar. Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro- RJ.

VALADÃO, G.E.S.; DUTRA, J.I.G.; GALÉRY, R.; MORAIS, B.F.; BRAGA, G.P.; OLIVEIRA, M.M. (2010) Quartzito no parque nacional da serra da Canastra e seu entorno – Relatório Final. DEMIN (Departamento de Engenharia de Minas), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2018, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 340 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-105 – **Biorremediação de solos multicontaminados e de áreas impactadas pela mineração; acessando a diversidade microbiana através do sequenciamento de nova geração.** Sandy Sampaio Videira, Cláudia Duarte Cunha, 2018.

STA-104 – **Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas.** Maria Angélica Kramer Sant’ana, Mônica Castoldi Borlini Gadioli, 2018.

STA-103 – **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro.** Ellen Cristine Giese, 2018.

STA-102 – **Desaguamento de rejeitos minerais para aplicação de métodos de disposição alternativos às barragens de rejeitos convencionais.** Silvia Cristina Alves França, Bruna Câmara Trampus, 2018.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 41 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.