

## **ANÁLISE DA SOLUBILIDADE DA SÍLICA CRISTALINA EM MEIO A SOLUÇÕES DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO**

IURE BORGES DE MOURA AQUINO<sup>1\*</sup>; FLÁVIO ANASTÁCIO LIMA BARRETO<sup>2</sup>; ALANN GUSTAVO TAVARES DE LIMA<sup>3</sup>; SAULO DE TARSSO BELARMINO DE FARIAS<sup>4</sup>; BARTHIRA ALMEIDA NUNES<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Msc. em Engenharia Mineral, Prof. Assistente UAMG, UFCG, Campina Grande –PB, Conselheiro CREA-PB, [iurebmaquino@gmail.com](mailto:iurebmaquino@gmail.com)

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia de Minas, UFCG, Campina Grande-PB, [flavio.al.barretto@gmail.com](mailto:flavio.al.barretto@gmail.com)

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia de Minas, UFCG, Campina Grande-PB, [alanngustavotl@gmail.com](mailto:alanngustavotl@gmail.com)

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia de Minas, UFCG, Campina Grande-PB, [saulodettarso@gmail.com](mailto:saulodettarso@gmail.com)

<sup>5</sup>Graduanda em Engenharia de Minas, UFCG, Campina Grande-PB, [barthiraalmeida@gmail.com](mailto:barthiraalmeida@gmail.com)

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O Brasil ocupa posição de destaque na produção de minério de ferro, segundo o DNPM, situando-se entre os três principais países produtores desta commodity. A elevada produção de concentrado de minério de ferro gera grandes quantidades de rejeitos também. Estes rejeitos são constituídos em sua maioria por sílica (78%), minério de ferro (12%) e argilo-minerais entre outros elementos (10%). Uma alternativa para reduzir o volume de rejeito depositado nas barragens ou empilhado nas pilhas de rejeito e assim prolongar a vida útil destas estruturas, seria a utilização da sílica contida neste material em outro setor industrial. Uma destas alternativas seria a utilização da sílica na indústria de componentes eletrônicos e de tecnologia, mas para isso é necessário desenvolver um processo de purificação desse material, e assim, obter um produto com alto grau de pureza. Estudos recentes mostraram resultados satisfatórios na solubilização de sílica provenientes de cascas de arroz. A sílica contida nas cascas de arroz possui estrutura amorfa e é facilmente solubilizada em meio a soluções básicas de hidróxido de sódio. O objetivo geral deste trabalho foi testar a eficiência do processo de solubilização de sílica através da utilização de soluções contendo hidróxido de sódio na sílica contida no rejeito de minério de ferro. Este trabalho se justifica pela carência de soluções práticas e aplicáveis para o aproveitamento dos rejeitos gerados no beneficiamento de minério de ferro. A metodologia empregada contou com a utilização de soluções de hidróxido de sódio em várias concentrações para solubilizar as amostras de rejeito e filtragem com papel filtro. A eficiência da solubilização foi verificada através da diferença da massa inicial da amostra e da massa retida no filtro. Os resultados obtidos demonstraram que a sílica cristalina contida no rejeito possui comportamento diferente da sílica amorfa, possuindo uma baixa solubilidade. A solubilidade da sílica cristalina é baixa, mas pode ser alcançada se utilizado o processo adequado, as pesquisas continuarão até desenvolvimento deste processo

**PALAVRAS-CHAVE:** Solubilização de Sílica, Rejeito de Minério de Ferro.

### **ANALYSIS SOLUBILITY OF CRYSTALLINE SILICA IN THE MIDST OF SODIUM HYDROXIDE SOLUTIONS**

**ABSTRACT:** Brazil occupies a prominent position in the production of the world's iron ore, according to the DNPM, standing among the three major producers of this commodity. The high production of iron ore concentrate generates large amounts of waste as well. These tailings are made mostly of silica (78%), iron ore (12%), clay minerals and other elements (10%). An alternative to reduce the volume of waste deposited in the dams or stacked in tailings piles and thus extend the life of these structures would be the use of silica contained in this material in another industry. One such alternative would be the use of silica in the electronics and technology industry, but it is necessary to develop a process of purification of this material, and thus obtain a product with high purity. Recent studies have shown satisfactory results in solubilization silica from rice hulls. The silica contained in rice hulls has amorphous structure and is easily solubilized in the middle of the basic solutions of

sodium hydroxide. The aim of this study was to test the efficiency of silica solubilization process using solutions containing sodium hydroxide in the silica contained in the tailings of iron ore. This work is justified by the lack of practical and applicable solutions for the utilization of waste generated in the iron ore beneficiation. The methodology employed involved the use of sodium hydroxide solution at various concentrations to solubilize the samples of waste and filtering with filter paper. The efficiency of solubilization was verified by the difference of the initial mass of the sample mass and retained in the filter. The results showed that crystalline silica contained in the waste has a different behavior from amorphous silica, having a low solubility. The crystalline solubility of silica is low, but can be achieved if the appropriate process used, searches continue until that process.

**KEYWORDS:** Dissolving Silica, Iron Ore reject.

## INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial de minério de ferro, situando-se entre os três principais países produtores desta commodity, segundo o DNPM. A elevada produção de concentrado de minério de ferro também acarreta a geração de grandes quantidades de rejeitos. Estes rejeitos em média são constituídos em sua por sílica (78%), minério de ferro (12%), argilo-minerais e outros metais 10%.

Uma alternativa para reduzir o volume de rejeito que é depositado nas barragens ou pilhas de rejeito é a utilização desta sílica na indústria de tecnologia. Estudos recentes mostraram resultados satisfatórios na obtenção de sílica com alta pureza por meio da solubilização da sílica contida nas cascas de arroz através da utilização de soluções contendo hidróxido de sódio.

O objetivo geral deste trabalho foi testar a eficácia do processo de solubilização da sílica contida no rejeito de minério de ferro com a utilização de soluções contendo hidróxido de sódio. Estes testes visam o desenvolvimento de um processo eficiente e economicamente viável na obtenção de sílica com alta pureza a partir do rejeito de minério de ferro.

O roteiro dos experimentos realizados neste trabalho foram baseados nos estudos de solubilização da sílica amorfa, sílica esta contida nas cascas de arroz.

## EMBASAMENTO TEORÍCO

A Sílica também conhecida como dióxido de silício, cuja fórmula química é ( $\text{SiO}_2$ ), é um dos compostos mais abundantes na crosta terrestre, possuindo 12 polimorfos. O termo sílica é usado como uma curta referência ao nome completo do composto dióxido de silício e é empregado para se referir a todas as suas formas cristalinas, amorfas, hidratadas ou hidroxiladas (ILER, 1979).

A sílica pode ser considerada um polímero inorgânico, amorfo, inerte, com alta dureza, altamente poroso, sendo a porosidade ligada à severidade das condições da sua preparação. Tem uma resistência térmica elevada, com ponto de fusão bastante alto, aproximadamente de 1700 °C.

Vale ressaltar que o dióxido de silício é um dos materiais mais importantes da indústria de semicondutores, é utilizado como dielétrico de porta do transistor MOSFET, o qual é essencial para gerar o campo elétrico necessário de controle e acionamento, outra utilização é como filme de passivação, onde é depositado entre os transistores e os circuitos integrados, evitando assim a fuga de elétrons que causam perdas de aquecimento e comprometeriam o bom funcionamento do dispositivo. Pode ser utilizada também na composição de vidros refratários e lentes ópticas (GUAN et al., 2007).

Além de seu uso industrial, o Silício (Si) desempenha um papel importante na estrutura celular de algumas plantas, sendo absorvido pelas raízes das plantas na forma de ácido monossilícico e polisilícico, onde é transportado até as folhas. Com a saída de água das plantas por transpiração, o Si é depositado na parede externa das células da epiderme como sílica gel (Adathia; Besford, 1986). Este acúmulo de sílica nas folhas funciona como uma barreira mecânica à penetração de fungos patógenos na folha e ao ataque de insetos, e, ainda, reduz as perdas de água por transpiração.

Quando a concentração de Si aumenta na planta, o ácido monossilícico polimeriza-se na epiderme das folhas, aumentando a rigidez da parede celular, proporcionando melhor arquitetura da planta, deixando as folhas mais eretas e aumentando assim, a interceptação da luz solar.

As plantas obtêm o silício diretamente do solo, mas somente o silício solúvel, já o silício de grau metalúrgico (99,99% de pureza) produzido hoje, é processado majoritariamente através da redução da quartzita ou da areia, em forno de arco voltaico e na presença de uma porção estequiométrica de carbono. Este processo é realizado em temperatura de aproximadamente 2000°C, o

processo de redução carbotérmica é realizado em excesso de dióxido de silício para evitar a formação de carbeto de silício (SiC). Pesquisas recentes demonstraram que o SiO<sub>2</sub> também pode ser obtido de fontes bionaturais tais como as cascas de arroz (JUNKES et al., 2007).

Pelo fato das cascas de arroz apresentarem naturalmente grandes quantidades de sílica, maneiras alternativas de extrair o dióxido de silício tem sido extensivamente investigada. A sílica das cinzas obtida por combustão abaixo de 800°C foi verificada como amorfa. Trabalhos investigaram a utilidade de alguns ácidos no pré-tratamento das cascas, tais como o ácido clorídrico (HCl), o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e o ácido fluorídrico (HF) (JAMES, 1989 apud SUN et al. 2001).

Destes reagentes, o ácido clorídrico foi o mais eficiente. Chakraverty et al. (1991) verificaram que a lixívia direta nas cascas de arroz em solução de HCl 1M é mais efetiva na remoção substancial da maioria das impurezas metálicas (JUNKES et al., 2007).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho contou primeiramente com a caracterização química e granulométrica da amostra de 15 Kg de rejeito de minério de ferro proveniente da mineração Ferro +. A análise química foi realizada através do método gravimétrico e a análise granulométrica foi determinada utilizando uma série de peneiras com aberturas variando de # 7 até #625. Após as análises de caracterização química e granulométrica foram realizados os testes de solubilização da sílica.

Na realização dos testes de solubilização de sílica foram utilizadas amostras contendo 2 gramas de rejeito e soluções contendo hidróxido de sódio (NaOH). Após a solubilização em água do NaOH, na concentração desejada, foram adicionados e agitadas as amostra de rejeito, em seguida as soluções de NaOH contendo as amostras de rejeitos foram mantidas em ambiente aquecido por um período de tempo de aproximadamente uma hora em temperatura média entre 60 à 80°C.

Em seguida a solução foi filtrada utilizando filtros de papel de filtragem lenta. A verificação da eficiência da solubilização foi realizada comparando a massa inicial da amostra e massa retida no filtro de papel. O cálculo da quantidade de hidróxido de sódio foi feito com base no número de mols por litro de NaOH.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises gravimétricas e da titulação revelaram a presença de 74,72% de sílica, 19% de ferro e 6,28% de outros minerais. Os resultados da distribuição granulométrica do material demonstraram um predomínio de 45,5% das partículas abaixo de #325. A Tabela 01 mostra os resultados obtidos nos testes de solubilização de sílica com soluções de hidróxido de sódio em 4 concentrações distintas.

Tabela 1. Resultados dos testes de solubilidade.

Número de Mol	Peso de Reagente (g)	Peso da Amostra (g)	Temperatura (°C)	Volume de Solução (ml)	Diluição (%)
1	4	2	60	100	2,640
2	8	2	60	100	4,870
3	12	2	60	100	5,775
30	120	2	80	100	0

Como o previsto, o rejeito possui grande quantidade de sílica em granulometria reduzida, conferindo-lhe uma boa área superficial, possibilitando a boa interação do reagente. Os resultados obtidos nos testes de solubilidade demonstraram uma relação direta entre o aumento da concentração de hidróxido de sódio e o aumento da solubilidade da sílica, mas em porcentagem muito baixas. O teste com 30 Mol/L de NaOH, foi prejudicado em razão de interação entre a solução e o papel filtro.

O hidróxido de sódio começou a se solidificar obstruindo os poros do filtro de papel em razão da diminuição da temperatura durante o processo de filtragem, por esse motivo houve um aumento de massa retida no filtro de papel. Estes ensaios comprovaram a baixa solubilidade da sílica cristalina em baixa temperatura e pressão em meio aquoso, mesmo na presença de hidróxido de sódio.

A metodologia utilizada na solubilização de sílica amorfa proveniente das cascas de arroz não é eficiente para sílica cristalina. Obter sílica com alta pureza por este procedimento mostrou-se

inviável operacionalmente e economicamente. As pesquisas e estudos buscando algum processo de obtenção de sílica com alta pureza a partir de rejeitos de minério de ferro continuarão até que este processo seja descoberto

## **CONCLUSÃO**

Com base nos dados obtidos, concluiu-se que a sílica cristalina, diferentemente da sílica amorfa, possui baixa solubilidade em meio a soluções contendo hidróxido de sódio, embora possuam a mesma composição química. A utilização de solução de hidróxido de sódio, nas condições de temperatura e pressão utilizados nos testes (100°C e 1 ATM), mostrou-se ineficiente para obtenção de sílica com alta pureza, devendo ser estudado outro reagente e/ou processo para atingir um maior grau de solubilização.

## **REFERÊNCIAS**

- Adatia, M. H., Besford, R. T. The effects of silicium on cucumber plants grown in recirculation solution. *Annal of Botomy, Oxford*, v. 58, 1986.
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral Brasileiro 2014. Brasília: DNPM, 2014.
- Correa, L., ribeiro, C. Latin america metals & mining, iron ore handbook – Life after China’s iron age. BTG Pactual 2015.
- Guan, J. G. Influence of sidewall spacer on threshold voltage of MOSFET with high-k gate dielectric. *Microelectronics Reliability*, v. 8, n. 2, p. 181, 2007.
- Iler, R. K. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica*. Wiley Interscience, 1979.
- Junior, J. da S. Obtenção de xerogel de sílica a partir das cascas de arroz em uma aproximação Bottom-up para produção de materiais em eletrônica. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- Junkes, J. A.; Rambo, C. R.; Zolfrank, C.; Hotza, D. Obtenção de nanopartículas de sílica a partir da casca de arroz. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 3 jun. 2007.
- Meyer, L. H. et al. The role of inorganic fillers in silicone rubber for outdoor insulation. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, v. 20, n. 4, 2004.
- Raij, V. B. & CAMARGO, O. A. de Sílica solúvel em solos. Instituto Agronômico do estado de São Paulo. *Bragantia revista científica*. São Paulo, v. 32, 1973.
- Rambo, M. K. D. Aproveitamento da casca de arroz para produção de xilitol e sílica xerogel. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- Sun, L. Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 40, n. 25, p. 5861, 2001.