



## AREIA QUARTZOSA PARA APLICAÇÕES INDUSTRIAIS: BENEFICIAMENTO

BRAGA, P.F.A.<sup>1</sup>, FRANÇA, S.C.A.<sup>1</sup>, PINTO, C.P.<sup>1</sup>, MOREIRA, G.C.<sup>1</sup>,  
OLLITA, L.C.<sup>2</sup>, ZORZI, G.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. e-mail: [pbraga@cetem.gov.br](mailto:pbraga@cetem.gov.br)

<sup>2</sup>Jlg Mineração Ltda.

### RESUMO

No mercado competitivo dos minerais industriais a areia de quartzo se destaca pela sua intensidade de uso, principalmente na indústria de vidro/cerâmica e, recentemente como um produto propante na ativação de poços de gás (*shale gas*). As características mais importantes para seu uso industrial estão associadas à sua granulometria, morfologia, mineralogia e composição química, especialmente no que se refere a elementos indesejáveis. O beneficiamento mineral, no caso específico de areias de quartzo, tem a finalidade de ajustar suas características naturais às requeridas pelo setor industrial. O presente estudo teve como objetivo beneficiar uma areia de quartzo da região centro leste de São Paulo, de forma a disponibilizar um produto conforme requisitos do setor industrial. Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização para uso como produto propante, conforme normatizado pela ABNT NBR ISO 13503. Na etapa de processamento mineral foram utilizados processos gravíticos de concentração (mesa Wifley e concentrador centrífugo), atrição, separação magnética e flotação. A areia quartzosa beneficiada continha teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inferior a 140 ppm, adequado às indústrias vidreira e cerâmica. A recuperação global do processo foi de 89%.

**PALAVRAS-CHAVE:** areia quartzosa, atrição, vidro, processos gravíticos, remoção de ferro.

### ABSTRACT

In the industrial minerals market, quartz sand is notable for its intensity of use, mainly in the glass/ceramic industry and recently as hydraulic fracturing material for gas production. The most important characteristics for its industrial use are associated to its granulometry, morphology, mineralogy and chemical composition, especially with regard to undesirable elements. The mineral processing, in the specific case of quartz sands, has the purpose of adjusting its natural characteristics to those required by the industrial sector. The present study aimed to benefit quartz sand from the east-central region of São Paulo, in order to provide a product, as required by the industrial sector. Characterization tests were initially carried out for its use as frac sand in accordance with ISO 13503 standard ABNT NBR. In the mineral processing stage, gravity concentration (shaking table and centrifugal concentrator), scrubbing, magnetic separation and flotation were performed. Processed quartz sand Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content was less than 140 ppm suitable for the glass and ceramic industries. The global recovery of the process was 89%.

**KEYWORDS:** quartz sand, scrubbing, glass, gravity concentration, iron removal.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A areia é um material com granulometria típica entre 0,5 e 0,1 mm resultante de desagregação natural ou cominuição de rochas, mais ou menos cimentadas. Os termos areia industrial, areia de quartzo, areia quartzosa ou mesmo areia de sílica (*silica sand*) são atribuídos geralmente a areias que apresentam teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) elevado, na forma de quartzo. Esse mineral é extremamente importante para vários setores industriais, como na indústria vitro-cerâmica, na fabricação de moldes para fundição, indústria de cimento, na ativação de poços de petróleo e gás (fraturamento); como carga e extensores em tintas e plásticos, dentre outras aplicações (LUZ e LINS, 2005).

As características requeridas para a areia de quartzo dependem da sua aplicação e podem ser relacionados à granulometria, aspectos morfológicos, mineralógicos e químicos, especialmente no que se refere à presença de contaminantes. O beneficiamento mineral tem, portanto, a função de melhorar as qualidades desta matéria prima, possibilitando a sua adequação ao mercado consumidor.

O objetivo do trabalho foi beneficiar amostras de areia quartzosa proveniente da região Centro-Leste do estado de São Paulo e avaliar o potencial de aplicação dos produtos nos setores industriais de perfuração de poços de gás (areia propante), vidreiro e cerâmico. Neste trabalho teve-se como meta para os ensaios de beneficiamento atingir as especificações para areia propante, conforme a norma NBR ISSO 13503 (ABNT), e um teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 150$  ppm para a areia beneficiada usada pela indústria de vidros.

### 1.1. Areia para propante (faturamento hidráulico)

Propantes naturais são materiais compostos por areias quartzosas e tem uso mundial crescente, em função da exploração de uma nova matriz energética, o gás de folhelho (*shale gas*). Na última década houve um aumento substancial no consumo deste mineral industrial, associado à produção de *shale-gas* no EUA, com cerca de 400 bilhões  $\text{m}^3$ /ano, ultrapassando a produção do gás extraído de poços de petróleo. O *shale-gas* é encontrado e extraído na rocha reservatório de origem sedimentar (folhelho). A injeção pressurizada na rocha onde se encontra o gás, de uma polpa mineral composta por água, produtos químicos, argilas e propantes gera fraturas que permitem o escoamento do gás (BARATI e LIANGI, 2014). O processo de fraturamento hidráulico (*fracking*) utiliza de forma intensiva areias de ativação (*frac sand*). Para uso dessas areias, seja para ativação de poços de petróleo primários ou secundários, como os de *shale gas*, as mesmas devem apresentar características específicas, como: distribuição granulométrica; composição química em termos de  $\text{SiO}_2$  (pureza elevada); resistência ao esmagamento; esfericidade e arredondamento; condutividade, entre outros (BRAGA, LIMA, COELHO e GONÇALVES, 2017). Os procedimentos usados para determinação das características desses materiais estão contidos na norma NBR ISO 13503, “Indústrias do Petróleo e Gás Natural – Fluidos e Materiais de Completação” (ABNT, 2011).

### 1.2. Areia para vidro

Normalmente, as areias de quartzo requeridas pela indústria de vidros devem possuir teor mínimo de 98,5%  $\text{SiO}_2$  (acima de 99% para vidro plano), com teor máximo de 0,08%

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para vidro plano, 0,1% para fibra de vidro e 0,3% para vasilhames de vidro colorido. Outros contaminantes de natureza química, como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, também devem ser controlados. Elementos cromógenos como cobre, níquel e cobalto podem gerar cores e defeitos nos vidros (HARBEN e KUZVART, 1996).

### **1.3. Areia para a indústria cerâmica**

Para a indústria cerâmica os requisitos são granulometria na faixa de 0,60 - 0,105 mm (30 e 140 malhas); composição química média de 93,5 - 99,8% SiO<sub>2</sub>; 0,035 - 0,70% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 0,02 - 0,08% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Luz e Lins (2005) apresentaram diversas especificações de composição química média (requisitos) para as aplicações da areia quartzosa em setores da indústria como: vidro e fibra de vidro; fundição; cerâmica e refratário; tinta, plástico e borracha; filtração; abrasivos e jateamento; e faturamento hidráulico.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Amostragem e preparação**

Foram beneficiadas duas amostras de areia quartzosa (Am 01 e Am 02) da região Centro-Leste de São Paulo, com potencial de aproveitamento econômico. Os procedimentos iniciaram-se pela secagem ao ar por aproximadamente 4 dias e posterior pesagem. A seguir, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas, para obtenção de alíquotas de 1 kg, as quais foram utilizadas nos ensaios de beneficiamento.

### **2.2. Procedimento experimental**

O procedimento experimental planejado para os ensaios de beneficiamento foi composto pelas seguintes etapas:

(i) ensaios específicos para caracterização do propante preparado, de acordo com a NBR ISO 13503 (ABNT, 2011); (ii) ensaios de atrição/deslamagem em célula de atrição, para remoção de minerais portadores de ferro que estejam presentes na fração argilosa das amostras e/ou recobrimo os grãos de quartzo (HAGHI, NAOPARAST, GHORBANI, 2008); (iii) uso de processos gravíticos como mesagem (em mesa oscilatória) e concentração centrífuga (concentrador Knelson) para remoção de minerais densos carreadores de ferro; (iv) avaliação de operação unitária adicional, como a flotação, para purificação do concentrado final; (v) caracterização do concentrado final (FRX, ICP OES, lupa binocular) e indicação de adequação de mercado.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

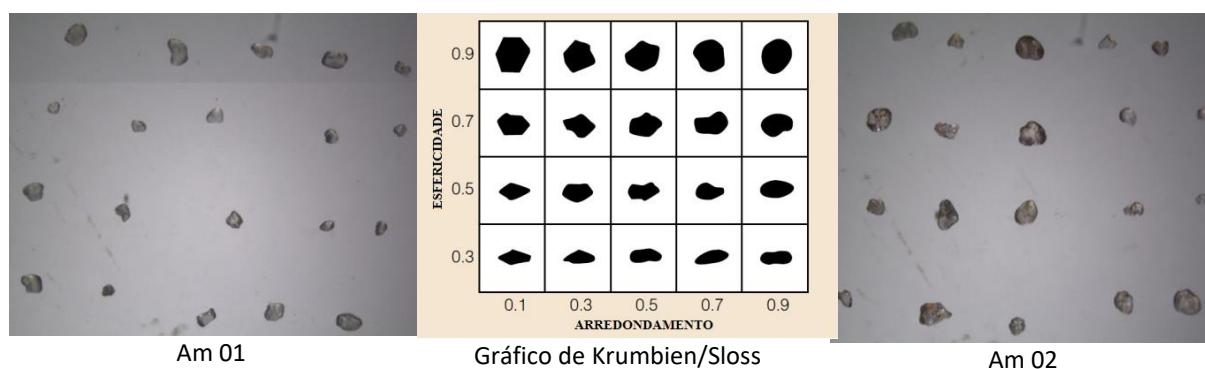
### **3.1. Ensaios com objetivo propante**

Com base na análise granulométrica contida no trabalho de Bertolino e Brandão (2019), foram preparados propantes, com as amostras Am 01 e Am 02, na granulometria

40/70 para a caracterização do material propante. O propante 40/70 (-425+212  $\mu\text{m}$ ) é atualmente um dos produtos mais utilizados em processos como *fracking sand*.

Os resultados da determinação das densidades absoluta, aparente e *bulk* mostraram que todos os propantes caracterizados apresentaram valores esperados para este tipo de mineral (areia quartzosa).

A característica esfericidade e arredondamento foi realizada por estimativa visual e comparação com o gráfico de Krumbien/Sloss, após captação de imagem em lupa binocular com aumento de 30 vezes (ABNT, 2011). A esfericidade define quanto uma partícula de areia individualizada se assemelha a uma forma esférica; já o arredondamento é uma medida do quanto as bordas são pontiagudas ou curvas. A Figura 1 mostra uma microfotografia adquirida em lupa binocular para determinação de esfericidade e arredondamento das partículas de propantes e o gráfico de referência (Krumbien/Sloss). Em ambos os propantes (Am 01 e Am 02) as medidas de esfericidade e arredondamento foram estimadas em 0,7 e 0,5 respectivamente. A especificação mínima para propante é  $\geq 0,6$ .



**Figura 1. Microfotografia em lupa binocular para averiguação da esfericidade e do arredondamento das amostras Am 01 (40/70) e Am 02 (40/70).**

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios de solubilidade em ácido, turbidez e resistência ao esmagamento dos propantes preparados com as amostras Am 01 e Am 02.

**Tabela 1. Características físicas das amostras propantes (40/70).**

<b>NORMA ABNT 13503-2</b> <b>Especificações máximas</b>	<b>Solubilidade em ácido</b> <b>3 (%)</b>	<b>Turbidez</b> <b>250 (NTU)</b>	<b>Resistência esmagamento</b> <b>10 (10%)</b>
Am 01 (40/70)	1,67	1,4	14,15
Am 02 (40/70)	0,57	3,2	16,59

Para as duas amostras a resistência ao esmagamento foi superior a 10%, inviabilizando assim esses materiais para uso como propante. Essa propriedade tem grande influência no empacotamento do leito do produto propante, pois o mesmo deverá ter porosidade mínima (função do arredondamento) que permita o fluxo de gás; além disso, deverá ser resistente à compressão, para que não ocorra o esmagamento excessivo dos grãos de areia (formação de finos) e obstrução dos canais do meio poroso, dificultando ou impedindo o fluxo de gás.

## 4.2. Beneficiamento para fins vidreiro e cerâmico

### 4.2.1. Análise química das amostras brutas

As composições químicas das amostras brutas (Am 01 e Am 02) são apresentadas na Tabela 3 (BERTOLINO e BRANDÃO, 2018). Com base nesses resultados foi feita uma avaliação das operações de beneficiamento empregadas na produção dos concentrados de areia e adequação às aplicações industriais possíveis. Está explícito na Tabela 2 que os teores de ferro, em ambas as amostras, são superiores ao desejado pela indústria vidreira (0,015%).

**Tabela 2. Composição química da amostra bruta (ROM) da areia quartzosa, Am 01 e Am 02.**

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC
Am 01 (ROM)	11,5	84,5	0,15	<0,1	0,39	2,1	1,3
Am 02 (ROM)	2,5	96,6	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	0,29

### 4.2.2. Ensaios de concentração gravítica em mesa oscilatória Wifley

O ensaio de beneficiamento em mesa oscilatória Wifley (mensagem) foi realizado com amostra de minério ROM (Am 01 e Am 02), empalpada com água diretamente na caixa de alimentação. Utilizou-se a inclinação máxima da mesa para a separação do material leve (concentrado) do pesado (rejeito). A Tabela 3 mostra o balanço de massa e a composição química (FRX) dos concentrados obtidos nos ensaios de mensagem.

**Tabela 3. Resultados dos ensaios de mensagem - Am 01 e Am 02.**

Amostra	Concentrado (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Am 01	54,4	88,4	3,0	7,2
Am02	82,8	99,0	<0,10	0,16

### 4.2.3. Ensaios de concentração gravítica em concentrador centrífugo Knelson

Os ensaios no concentrador centrífugo Knelson foram realizados com polpa mineral (alimentação) na concentração de 25% de sólidos (p/p), a uma pressão de 1,5 bar (pressão da água de fluidização ou de contra-pressão), por um período de tempo de 6 minutos. Foi utilizada uma peneira de abertura 1,19 mm para restringir a entrada de partículas grosseiras na alimentação. As mesmas condições operacionais foram utilizadas para as amostras Am 01 e Am 02. A Tabela 4 mostra o balanço de massa e a composição química (FRX) dos concentrados obtidos nos ensaios no concentrador centrífugo Knelson.

**Tabela 4. Resultados dos ensaios no concentrador centrífugo Knelson - Am 01 e Am 02.**

Amostra	Concentrado (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Am 01	95,3	97,4	0,61	1,10
Am 02	95,5	99,0	<0,10	0,18

Verifica-se nas Tabelas 3 e 4 que os concentrados dos ensaios de mensagem e de concentração centrífuga relativos à Am 02 tinham teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inferiores a 0,1%, mas,

não foi possível determinar o valor exato, pois o método analítico tem limite de detecção em 0,1%, em função da natureza da técnica, espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX). Esses concentrados da Am 02 foram, então, analisados pela técnica de ICP OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente), que é um método quantitativo mais apropriado para baixos teores de ferro em amostras minerais. Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam que nenhum dos concentrados alcançou concentrações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  inferiores a 0,015% ou 150 ppm.

**Tabela 5. Resultados das análises químicas (FRX e ICPOES) dos concentrados produzidos por processos gravíticos - Am 02.**

Ensaio	Concentrado (ICP OES)		Concentrado (FRX)	
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)
Mesagem	0,16	0,13	<0,10	0,16
Concentração centrífuga (Knelson)	0,21	0,25	<0,10	0,18

#### 4.2.4. Ensaio de separação magnética

Os ensaios de separação magnética foram realizados no separador magnético com ímãs permanentes de terras raras, modelo RE-ROLL da Inbras-Eriez, com campo magnético máximo de 1,2 T. A rotação da correia foi fixada em 400 rpm. Neste ensaio de separação magnética, a amostra encontrava-se seca e bitolada em -0,595+0,125 mm. A Tabela 6 mostra o balanço de massa dos ensaios de separação magnética.

**Tabela 6. Balanço de massa da operação de separação magnética - Am 01 e Am 02.**

Amostras	Distribuição em massa dos produtos (%)		
	Não magnéticos	Mistos	Magnéticos
Am 01	97,9	0,96	1,11
Am 02	98,6	1,2	0,2

#### 4.2.5. Ensaio de purificação por flotação

Os ensaios de flotação foram realizados com a amostra Am 02, na célula Denver D12 de laboratório com cubas de 1,5 L. A amostra Am 02 contém um teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,3%) menor que a Am 01 (2,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). A amostra foi deslamada em 0,074 mm, para adequação a flotação. As condições operacionais utilizadas nos ensaios de flotação são apresentadas na Tabela 7. A Tabela 8 mostra os resultados dos ensaios de purificação por flotação.

**Tabela 7. Condições operacionais dos ensaios de flotação.**

	Etapa <i>rougher</i>	Etapa <i>scavenger</i>
Coletor: Lilafлот 811M (g/t)	400	125
Espumante: Genagem (g/t)	32	2
Regulador de pH: ac. fluorsilícico (g/t)	480	50
pH	3	3
Tempo de condicionamento [coletor + espumante] (min)	1 +1	1 +1
Tempo de flotação (min)	5	3
% Sólidos (condicionamento e flotação)	37 e18	18 e 18

Tabela 8. Balanço de massa e análises químicas de contaminantes nos concentrados de flotação - Am 02.

Ensaio	Rec. Mássica (%)		Concentrado (ICP OES)		Concentrado (FRX)	
	Concentrad	Rejeito	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Teste flot. 01	99,11	0,89	0,04	0,32	< 0,1	0,19
Teste flot. 02	98,50	1,77	0,03	0,32	0,10	0,43
Teste flot. 03	98,08	1,92	0,14	0,08	0,16	0,12
Teste flot. 04	98,18	1,82	0,20	0,13	0,18	0,13
Teste flot. 05	98,36	1,64	0,17	0,42	0,17	0,11

Os resultados das análises químicas (Tabela 8) mostram que é possível obter concentrados de areia com teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dentro dos limites aceitáveis pela indústria de vidros. Porém, a operação de purificação por flotação, além de ter custo operacional mais elevado do que as operações de concentração gravítica ou magnética, requer estudo mais detalhado (função da escala e variáveis operacionais) para comprovação dos resultados.

#### 4.2.6. Ensaio complementar de atrição/deslamagem e separação magnética

Foi realizado um ensaio complementar para beneficiamento da areia Am 02, composto pelas operações de atrição e deslamagem, seguidas de separação magnética a seco. Inicialmente foi preparada uma polpa com 40% de sólidos que foi agitada em uma célula de atrição durante 10 minutos, sob agitação de 1500 rpm. A água utilizada foi proveniente da rede da CEDAE, e o pH medido foi de 6,6. Após a operação de deslamagem, o minério foi lavado com ~20 L de água e seco em estufa a 80°C. A recuperação em massa após a deslamagem foi de 96%. O produto deslamado continha 0,018% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

O produto deslamado e seco alimentou um separador magnético com imã de terras raras, sob campo de 1,2 T. A vazão de alimentação no separador magnético foi de ~6 kg/h. A velocidade da correia foi ajustada em 100 rpm. O concentrado magnético foi reprocessado no separador, de forma a realizar uma etapa de limpeza adicional (*cleaner*). O concentrado não magnético continha <0,014% ou < 140 ppm de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A recuperação em massa global do processo foi de 89%. A Figura 2 mostra o balanço de massa e a análise química do ensaios complementar.

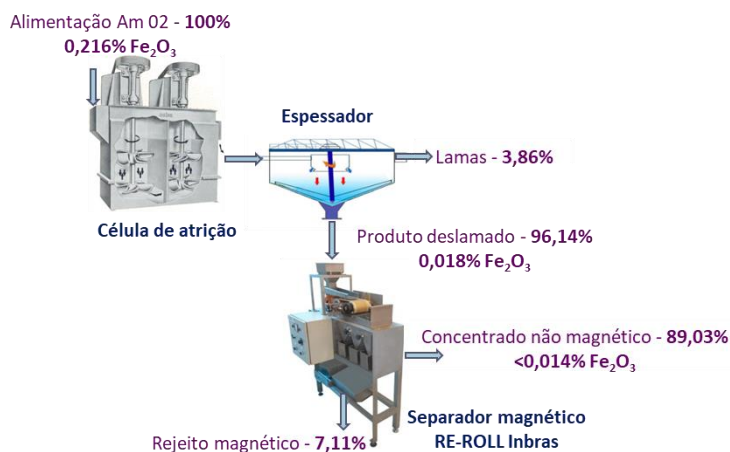


Figura 2. Ensaio complementar de atrição/deslamagem e separação magnética

#### 4. CONCLUSÕES

O material propante preparado com amostras de areia Am 01 e Am 02 não atingiram as especificações necessárias para utilização como areia propante, devido, à baixa resistência ao esmagamento.

O concentrado da amostra Am 01 beneficiada por processos gravíticos (mesagem e concentração centrífuga), não atingiram os requisitos da indústria de vidros.

O processamento gravítico (mesagem e concentração centrífuga) da amostra Am 02 apresentou resultados promissores para a redução de teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Porém, a utilização de metodologia analítica mais adequada (análise quantitativa) para baixos teores mostrou que não foi possível atingir os teores requeridos, usualmente demandados, pelo mercado de vidros.

A purificação da amostra Am 02 por flotação levou à obtenção de concentrados de areia com teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adequados a indústria de vidros.

O beneficiamento composto pelas operações de atrição/deslamagem, seguida de separação magnética de alto campo (1,2 T) propiciou a obtenção de concentrado de areia não magnético, com teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menor do que 140 ppm, adequado às indústrias vidreira e cerâmica. A recuperação em massa global do processo foi de 89%.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 13503-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Indústrias do Petróleo e Gás Natural - Fluidos e Materiais de Completação Parte 2: Medição das Propriedades de Propantes Usados em Operações de Fraturamento Hidráulico e Gravel Packing.

Barati, R., Liangi, J.T. A Review of Fracturing Fluid Systems Used For Hydraulic Fracturing of Oil and Gas Wells. In: Journal of Applied Polymer Science, 2014, DOI: 10.1002/APP.4 0735.

Bertolino, L.C. e Brandão, V.H. Caracterização mineralógica de areia quartzosa. Relatório técnico, CETEM/MCTIC, 2018.

Braga, P.F.A., Lima, F.M.R.S., Coelho, J.M., Gonçalves, C. C. Areia de fraturamento hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas. Série Rochas e Minerais Industriais, n. 20. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC. 54 p. 2017.

Haghi, H., Naoparast, M., Ghorbani, A. Redution of iron content from silica sand by scrubbing process. In: Proceedings of 11<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium. Belek-Antalya, Turkey, p. 259 - 265, 2008.

Harben, P.W. e Kuzvart, M. Silica. In: Industrial Minerals – A global Geology. Industrial Minerals Information Ltd, PLC, London, p. 352-364. 1996

Luz, A.B. e Lins, F.A.F. Areia Industrial. In: Rochas e minerais industriais - usos e especificações. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p. 103 - 123, 2008.