

# Série Tecnologia Mineral

## Quartzito de Várzea do Seridó: Tecnologia de Lavra e de Beneficiamento

Francisco Wilson Hollanda Vidal  
Antonio Rodrigues de Campos  
Julio Cesar Guedes Correia

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

**Quartzito de Várzea do Seridó - PB: Tecnologia de  
Lavra e de Beneficiamento.**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Dilma Vana Rousseff**

Presidente

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Vice-Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Celso Pansera**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

**Emília Maria Silva Ribeiro Curi**

Secretária-Executiva

**Kayo Julio Cesar Pereira**

Coordenador-Geral das Unidades de Pesquisa

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processos Minerais

**Durval Costa Reis**

Coordenador de Administração

**Cosme Antonio de Moraes Regly**

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

**Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

# SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

ISSN 0103-7382

ISBN – 978-85-8261-041-1

STM - 93

## **Quartzito de Várzea do Seridó - PB: Tecnologia de Lavra e de Beneficiamento**

### **Francisco Wilson Hollanda Vidal**

D.Sc. Engenharia Mineral/EPUSP-USP. Tecnologista Sênior do CETEM.

### **Antonio Rodrigues de Campos**

D.Sc. Engenharia Mineral/EPUSP – USP. Pesquisador Titular do CETEM.

### **Julio Cesar Guedes Correia**

D.Sc. Engenharia Mineral/EPUSP – USP. Tecnologista Sênior do CETEM.

**CETEM/MCTI**

2015

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

**Marisa Bezerra de Mello Monte**

Editora

**Claudio Luiz Schneider**

Subeditor

## **CONSELHO EDITORIAL**

Arnaldo Alcover Neto (CETEM), Fernando A. Freitas Lins (CETEM), Regina Coeli C. Carrisso, (CETEM), Reiner Neumann (CETEM), Ronaldo Luiz C. dos Santos (CETEM), Achilles Junqueira B. Dutra (UFRJ), Antonio E. Clark Peres (UFMG), José Aury de Aquino (CDTN), José Farias de Oliveira (UFRJ), Lino R. de Freitas (CVRD), Luciano Tadeu da S. Ramos (CVRD), Mário Rui M. Leite (IGM-PORTUGAL) e Maurício L. Torem (PUC-RIO).

A Série Tecnologia Mineral publica trabalhos na área minerometalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva dos autores.

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

**João Henrique de Castro Rocha**

Programação Visual

**Andréa Diogo Teixeira Batista**

Editoreção Eletrônica

**Andrezza Milheiro**

Revisão

---

Vidal, Francisco Wilson Hollanda

Quartzito de Várzea do Seridó - PB: tecnologia de lavra e de beneficiamento / Francisco W. H. Vidal, Antônio R. de Campos, Julio Cesar G. Correia. \_\_Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

89p. (Série Tecnologia Mineral, 93)

1. Beneficiamento de minério. 2.Quartzito. 3. Varzea do Seridó. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Campos, Antônio Rodrigues. III. Correia, Julio Cesar Guedes. IV. Título. V. Série.

# SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1   INTRODUÇÃO	11
2   OBJETIVOS	17
2.1   Objetivos Gerais	17
2.2   Objetivos Específicos	17
3   ASPECTOS DA GEOLOGIA, LAVRA E BENEFICIAMENTO	19
3.1   Geologia	19
3.2   Lavra	20
3.3.   Beneficiamento	23
4   MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1   Resíduos de Quartzito	25
4.2   Caracterização Tecnológica dos Resíduos de Quartzito	25
4.3   Lavra	27
4.4   Beneficiamento	35
4.5   Aproveitamento Industrial dos Resíduos do Beneficiamento e da Lavra do Quartzito	40

<b>5   RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>52</b>
<b>5.1   Caracterização Tecnológica dos Resíduos do Quartzito</b>	<b>52</b>
<b>5.2   Lavra</b>	<b>58</b>
<b>5.3   Beneficiamento</b>	<b>60</b>
<b>5.4   Estudos de Aproveitamento dos Resíduos</b>	<b>65</b>
<b>6   CONCLUSÕES</b>	<b>79</b>
<b>7   AGRADECIMENTOS</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>85</b>

## RESUMO

A mineração do quartzito ornamental, em Várzea do Seridó – PB, é realizada, há décadas, com a utilização de técnicas de extração artesanais nas pedreiras.

Algumas das consequências resultantes dessa forma de mineração foram levantadas nas frentes de trabalho, quais sejam: remoção, apenas parcial, do capeamento da rocha sã, causando contaminação do quartzito extraído; perda de reservas devido ao uso inadequado de explosivos, gerando grandes volumes de resíduos de rocha; acúmulo de água no fundo das trincheiras, causado pela drenagem precária; presença de encostas íngremes, com taludes negativos apontadas para a direção do local de trabalho; a grande quantidade de resíduos gerados, causando danos significativos ao meio ambiente; e problemas à saúde e segurança dos trabalhadores.

No beneficiamento observou-se a possibilidade de melhorias de processo, visando, principalmente, diminuir a grande quantidade de resíduos sólidos gerados (grossos e finos). Esses resíduos são amontoados, formando grandes pilhas nas proximidades das serrarias.

O objetivo desse projeto foi introduzir melhorias nas técnicas de extração e de beneficiamento do quartzito de Várzea do Seridó-PB; mitigar os impactos ambientais causados pela extração e beneficiamento do quartzito; realizar estudos para o aproveitamento dos resíduos gerados; e melhorar as condições de saúde e segurança do trabalhador nas etapas, acima mencionadas, da cadeia produtiva.

Esta publicação contempla as melhorias tecnológicas introduzidas nos métodos de extração dos quartzitos de Várzea do Seridó (PB), incluindo o desenvolvimento de uma pedreira piloto; melhorias introduzidas no processo de beneficiamento do quartzito, realizado pelas serrarias, no tocante à qualidade e diversificação de produtos; melhoria na eficiência do tratamento do efluente da serraria; estudos para aproveitamento dos resíduos da lavra e do beneficiamento, ressaltando o desenvolvimento e instalação de uma usina piloto para fabricação de argamassa, a partir, principalmente, de resíduos grossos gerados pelas serrarias, e aplicações dos resíduos nas indústrias de vidro e cerâmica.

Todos os trabalhos realizados nas etapas de extração e beneficiamento do quartzito de Várzea do Seridó, bem como os estudos para o aproveitamento dos resíduos oriundos do beneficiamento foram desenvolvidos no âmbito do projeto APL de Quartzito do Seridó.

**Palavras-chave**

Quartzito seridó; lavra; pedreira; beneficiamento; efluente; argamassa; vidro; cerâmica; impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

Ornamental quartzite mining in Várzea do Seridó - PB has been carried out, for decades, using artisanal techniques.

Some of consequences of this form of mining were noted in the quarry work places: partial removal of fresh rocks capping, causing contamination of the extracted quartzite; loss of reserves due to improper use of explosives, generating large volumes of rock waste; water retention at the bottom of trenches, due poor drainage; presence of steep slopes, with negative pending pointed to the direction of the workplace; a large amount of waste generated, causing significant environmental damage; and problems concerning health and safety of workers.

In the beneficiation process it was observed the improvement opportunities. In the beneficiation, as well as in the mining, there is the generation of large amount of solid waste (coarse and fine). These wastes are piled up, forming large piles around of sawmills, causing environment problems.

The project's goals consisted of introducing improvements in the existing extraction techniques and in quartzite processing at Várzea do Seridó-PB; mitigate environmental impacts caused by the extraction and processing of quartzite; conduct studies for recovering of generated wastes; and improving worker health and safety conditions in these stages of the production chain.

This publication covers the technological improvements in the extraction methods of quartzites from Várzea do Seridó - PB, including the development of a pilot quarry; improvements introduced in the quartzite beneficiation process, held by sawmills; improvement of the efficiency in the sawmill's effluent treatment, performed in settling tanks; studies for recovering of waste from the mining and processing, emphasizing the

development and installation of a pilot plant for manufacturing mortar, mainly from coarse waste generated by the sawmills; researches for applications of waste from the sawmills in glass and pottery industries, among others.

All work carried out on the extraction and processing steps of Várzea do Seridó quartzite, as well as studies for the use of waste from the processing plant have been developed under the APL (cluster) project named Quartzite of Seridó.

**Keywords**

Quartzite Seridó; mining; beneficiation; waste; effluent; mortar; glass; pottery; environmental impact.

## 1 | INTRODUÇÃO

Quartzito é uma rocha metamórfica constituída, normalmente, por mais de 80% de quartzo. A interpenetração dos grãos confere à rocha uma grande tenacidade. É uma rocha dura e compacta, de fratura subconchoidal ou conchoidal e brilho semelhante ao quartzo. Os quartzitos contêm, além do quartzo, proporções variáveis de outros minerais, principalmente feldspato, muscovita e biotita. Os quartzitos podem se apresentar nas cores branca, cinza claro, amarelo ou castanho. Podem, no entanto, apresentar, ainda, outras cores devido a grãos microscópicos de minerais acessórios e, assim, podendo ser esverdeado devido à presença de epidoto, azulados devido à cianita, purpúreos devido à hematita, ou clorita, e pretos devido ao grafite, à magnetita, ou à biotita. Distinguem-se dos arenitos, dos quais esses são formados, porque os arenitos quando se partem, a fratura se dá pelo cimento, ficando os grãos de quartzo salientes, enquanto nos quartzitos a fratura corta a massa da rocha. Distinguem-se dos calcários, cujo aspecto é semelhante, por serem mais duros e por não darem efervescência com ácidos.

Na Paraíba, a grande concentração de rochas de quartzito ocorre nos municípios de Várzea e Junco do Seridó (PB). Em Várzea, abrange a serra do Poção, que tem cerca de 25 km de extensão, onde ocorre uma das maiores reservas de quartzito do Brasil. No Estado da Paraíba, os quartzitos são constituídos por mais de 75% de quartzo e outros silicatos. O presente estudo foi realizado nos quartzitos do município de Várzea do Seridó – PB.

Os principais depósitos de quartzitos do estado da Paraíba ocorrem associados a rochas pré-cambrianas do Proterozóico Superior, na Formação Equador, do Grupo Seridó. Esses quartzitos são comercializados sem beneficiamento superficial, em forma de ladrilhos quadrados ou retangulares, para utilização em diversos setores da indústria da construção civil. Os quartzitos apresentam coloração variada, textura granuloblástica, com tamanho de grão de fino a médio e foliação bem desenvolvida. Como os quartzitos são resultantes do metamorfismo de arenitos, o quartzo é seu principal componente (80%), acompanhado de outros minerais como feldspato, micas (muscovita, biotita, clorita, etc), entre outros.

A área de estudo está localizada no município de Várzea – PB (Figura 1), na região do “Polígono das Secas”, a 320 km de João Pessoa, e a 150 km de Campina Grande. O município é limitado, ao norte pelos municípios de Ouro Branco (RN) e São José do Sabugi (RN), a leste pelos municípios de Ouro Branco (RN) e Santa Luzia. Sua fronteira sul se divide entre os municípios de Santa Luzia e São Mamede e sua fronteira ocidental confronta com os municípios de São Mamede e São João do Sabugi.



Fonte: UFCG (Universidade Federal de Campina Grande).

**Figura 1.** Mapa de Localização das Regiões de Várzea e Junco, do Seridó (PB).

Em Várzea do Seridó, as placas brutas de quartzito ornamental são extraídas nas pedreiras, há décadas, com técnicas artesanais, utilizando ferramentas manuais (ponteiros, marretas, pixotes e outros), após prévio desmonte com explosivos, com grandes desperdícios de pequenas placas de tamanhos irregulares.

As técnicas artesanais adotadas na extração do quartzito causaram um aproveitamento insatisfatório das reservas minerais, conseqüentemente com geração de grande quantidade de resíduos de rochas, causando danos significativos ao meio ambiente e à saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos nessas atividades.

Algumas características provenientes dessa forma de extração foram levantadas nas frentes de extração, quais sejam: remoção, apenas parcial, do capeamento da rocha, causando contaminação do quartzito extraído; perda de reservas devido ao uso inadequado de explosivos, gerando grandes volumes de resíduos de rocha, os quais permaneceram próximos aos locais de extração; acúmulo de água no fundo das trincheiras, causado pela drenagem precária; e presença de encostas íngremes, com taludes negativos apontados para a direção do local de trabalho, o que representa grande risco para os trabalhadores.

As placas brutas extraídas das pedreiras são conduzidas às serrarias. Nestas, as placas brutas de quartzito são aparelhadas em ladrilhos quadrados ou retangulares, que são comercializadas em tamanhos e formatos padronizados, nos quais o comprimento varia de acordo com o interesse do cliente, de forma a propiciar o seu maior aproveitamento. O principal uso desses ladrilhos de quartzito continua sendo como revestimento externo e interno de pisos e paredes e calçamentos.

Nos últimos anos, impulsionado pelo projeto APL, verificou-se um aumento considerável na escala de produção nos municípios produtores, devido à inserção de novos mercados e aumento de consumo.

Com esse aumento da produção, os problemas ambientais cresceram. Houve uma maior depredação da rocha e, conseqüentemente, um aumento substancial da quantidade de resíduos gerada.

Na operações de lavra, são gerados resíduos constituídos de pequenas placas brutas, que não servem para o uso no aparelhamento dos ladrilhos nas serrarias, formando grandes volumes desses resíduos nas frentes de extração.

A importância do setor de rochas, para a economia do estado da Paraíba e do Brasil é indiscutível, porém o problema é essa grande quantidade de resíduos gerada nas operações de lavra e beneficiamento. Além disso, estes resíduos são dispostos de forma inadequada no meio ambiente, como acontece nas serrarias, onde são formadas grandes pilhas de resíduos nas suas proximidades, Figuras 2 e 3 (SOUZA *et al.* 2011), até então, sem nenhuma utilização. Este cenário prejudica o desenvolvimento sustentável dessa atividade na região, causando problemas com a comunidade e órgãos ambientais.

Os resíduos gerados pelas serrarias são de dois tipos. Um mais grosso, que são as aparas e um extremamente fino. Os resíduos grossos (aparas) são provenientes do aparelhamento dos ladrilhos (Figura 2). O resíduo extremamente fino é proveniente do corte da rocha com máquinas de disco ou multidisco diamantado, que é descartado em forma de efluente (pó de rocha + água). Os finos de rocha, depois de secos, vão para as pilhas de finos (Figura 3).



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 2.** Pilha de resíduo grosso (aparos) de quartzito, em Várzea-PB.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 3.** Pilha de resíduo fino (pó) de quartzito, em Várzea – PB.

## **2 | OBJETIVOS**

### **2.1 | Objetivos Gerais**

Visando solucionar ou, pelo menos, minimizar os efeitos prejudiciais encontrados na mineração do quartzito de Várzea do Seridó, foi planejado e desenvolvido um projeto que resultasse em melhorias tecnológicas nas etapas de extração e de beneficiamento do quartzito, bem como a realização de estudos para o aproveitamento industrial dos resíduos gerados nestas duas etapas da cadeia produtiva.

### **2.2 | Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos do projeto foram:

- Implantar tecnologias mais modernas e apropriadas na extração do quartzito de Várzea do Seridó, com a utilização de tecnologia compatível ao maciço rochoso de quartzito de Várzea;
- introduzir melhorias na execução das atividades realizadas pelos mineradores, incluindo orientações sobre melhores formas de segurança no trabalho e de saúde do trabalhador;
- melhorar a forma de manuseio dos resíduos gerados nas pedreiras;

- implantar melhorias no processo de beneficiamento nas serrarias, visando diminuir a geração de resíduos, melhorar a produção e a qualidade dos produtos, bem como a diversificação destes produtos (fabricação de mosaicos);
- diminuir perdas de rocha nos métodos de extração e de processamento das placas brutas extraídas das pedreiras, realizado nas serrarias (diminuição de resíduos); e
- desenvolver estudos para o aproveitamento industrial dos resíduos gerados nas etapas de lavra e de beneficiamento, nos seguintes setores da indústria:
  - indústria da construção civil – fabricação de argamassa;
  - indústria de vidro – fabricação de vidro;
  - indústria cerâmica – participação na formulação da massa cerâmica; e
  - outras aplicações secundárias.

Esses estudos de aproveitamento dos resíduos foram realizados com os resíduos do beneficiamento (grossos e finos), que poderão ser estendidos para os resíduos da lavra, como já está sendo pensado, para o caso da fabricação de argamassa.

Posteriormente, foi adicionada, no projeto, a realização de estudos de geologia de exploração, propiciando melhorias na extração e desenvolvimento de pedreira piloto.

### **3 | ASPECTOS DA GEOLOGIA, LAVRA E BENEFICIAMENTO**

Na Paraíba, a grande concentração de rochas de quartzito ocorre entre os municípios de Várzea e Junco do Seridó. Em Várzea, região alvo do projeto, abrange a serra do Poção, que tem cerca de 25 quilômetros de extensão onde ocorre uma das maiores reservas de quartzito do Brasil. O presente estudo foi realizado nos quartzitos do município de Várzea do Seridó – PB (SOUZA *et al.* 2001).

#### **3.1 | Geologia**

Considerando a geologia regional, a área está inserida na província Borborema, de idade pré-cambriana, e o quartzito faz parte da cobertura metassedimentar do Grupo Seridó. Essa região passou por diversas fases de deformação e de tectonismo, resultando em dobramentos, falhas e fraturas das rochas existentes, incluindo o quartzito. (JARDIM DE SÁ *et al.* 1992).

O afloramento tem um capeamento com cobertura de solo residual de espessura, que varia até 0,50 m. A foliação aparece subvertical, em ângulos que podem chegar a 70 graus. A espessura das camadas de quartzito é bastante variada. Há uma zona com grande quantidade de fraturas, provavelmente devido a um grande falhamento, onde foi verificada a existência de fraturas paralelas à foliação. Embora foliados, os quartzitos são altamente resistentes à ruptura e ao impacto, o que garante a sua durabilidade, para uso como rocha ornamental e de revestimento.

Devido a evidências geológicas e ocorrências na mesma região em que a profundidade do corpo atinge até 20 metros, foi utilizada, na área de estudo, uma extrapolação de 30% em torno da reserva medida, chegando a um valor de reserva indicada de 514 mil toneladas.

Como nas reservas inferidas, as estimativas são baseadas em conhecimentos geológicos com pouco ou sem qualquer trabalho específico de prospecção, e como no Brasil estas reservas são calculadas por critérios extremamente livres, estima-se um valor de reserva inferida em torno de 1 milhão de toneladas.

### **3.2 | Lavra**

O método de lavra utilizado na região é a céu aberto, e as pedreiras ocupam áreas longas e estreitas, que se desenvolvem seguindo o corpo de quartzito (Figura 4). As remoções da cobertura e de material rochoso muito alterado são realizadas artesanalmente pelos produtores. Em seguida, com a ajuda de explosivos, é realizado pré-corte da rocha para facilitar o avanço frontal da pedreira (SOUZA *et al.* 2001; VIDAL; CASTRO, 2012).

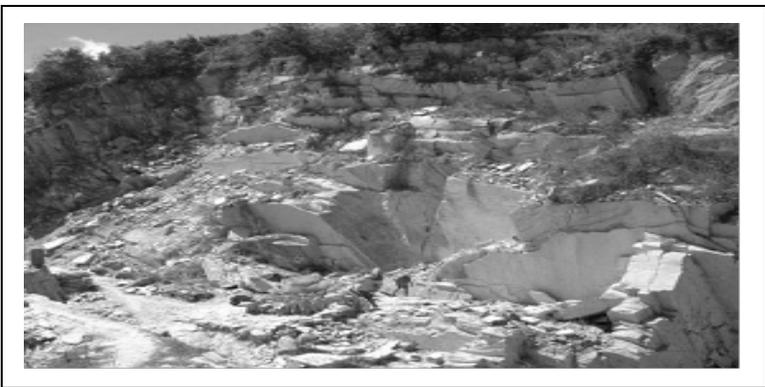
Como a perfuração da rocha é realizada a seco, isso torna a operação insalubre pela grande presença de sílica. O carregamento dos furos é feito com explosivo (pólvora) e cordel detonante. Os equipamentos utilizados para a realização dos furos são martelos pneumáticos. Não existe planejamento para o plano de fogo, onde não são programadas a malha de perfuração e a profundidade dos furos, sendo os mesmos realizados de acordo com a experiência dos operadores, de forma aleatória.

Dessa forma, os mineiros buscam economizar explosivos e tornar fácil a separação das placas de quartzito por desmoronamento. Esse método gera grandes quantidades de resíduos que se acumulam nas frentes de lavra das pedreiras, dificultando seu desenvolvimento e deixando os locais de trabalho com alto risco de acidentes (Figuras 4 e 5).



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 4.** Frentes de extração nas Pedreiras de Quartzito.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 5.** Frente de extração da Pedreira com Talude Negativo.

Esta prática geralmente deixa taludes com inclinação negativa (Figura 5), a partir dos quais são extraídas, manualmente, com marretas, pontadeiras e talhadeiras, grandes placas irregulares de quartzito (Figura 6).



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 6.** Placas irregulares extraídas das pedreiras.

As operações de carregamento e transporte realizadas na extração do quartzito são, provavelmente, as mais rudimentares possíveis. O carregamento para o transporte das placas é realizado manualmente, com o auxílio de carrinho de mão. Em algumas frentes de trabalho também são utilizados guinchos com sistema de carretel, o que expõe os trabalhadores a riscos de acidentes (Figura 7).



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 7.** Transporte por guincho, utilizado para erguer as placas, da base da cava a superfície.

### 3.3 | Beneficiamento

As placas de quartzito extraídas nas pedreiras são conduzidas para pequenas serrarias, onde estas são aparelhadas (cortadas) na forma de ladrilhos e comercializados em tamanhos e formatos padronizados. Nos últimos anos, e impulsionado pelo projeto APL, vem se produzindo também mosaicos, mediante corte com serras diamantadas e talhadeiras automáticas, com posterior montagem destes mosaicos em matrizes de silicone (moldes).

No setor de beneficiamento das placas de quartzito, realizado nas serrarias, foram verificadas possibilidades de melhorias do processo de corte da rocha, bem como melhoria no sistema de tratamento dos efluentes gerados e descartados pelas serrarias (mistura, principalmente, de finos de rochas + água).

Tal como acontece na etapa de extração, verificou-se também, que no setor de beneficiamento (serrarias), há geração de grande quantidade de resíduos (grossos e finos).

Os resíduos grossos são constituídos de pequenas placas (resíduos da extração) e aparas, que são geradas pelas serrarias, quando do esquadrejamento dos ladrilhos. Na Figura 3, foi vista uma pilha de resíduo grosso (aparas) localizada nas proximidades das serrarias.

Os resíduos finos (pó) são gerados pelo corte da rocha e são descartados pelas serrarias na forma de efluentes. Estes efluentes são conduzidos a tanques de decantação (Figura 8). Nestes tanques é realizada a separação água/sólido, ou seja, a separação dos finos de rocha da água, que possibilitariam um bom reaproveitamento da água. Porém, esses tanques de decantação não funcionam de maneira eficiente por não terem sido projetados de forma correta.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 8.** Tanques de decantação já existentes na serraria.

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

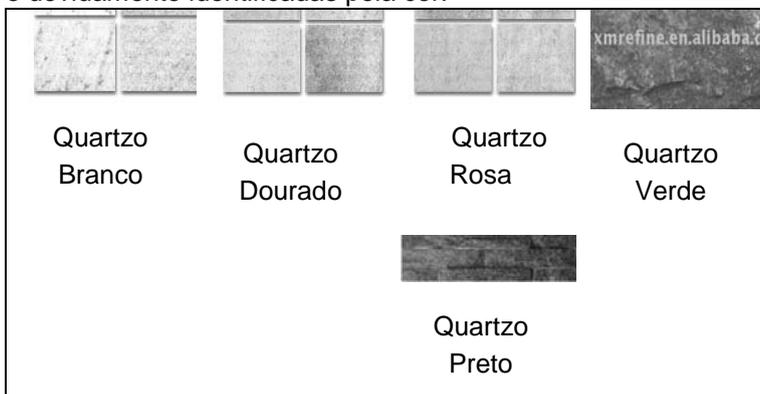
### 4.1 | Resíduos de Quartzito

Esses resíduos são os gerados na lavra e no beneficiamento.

### 4.2 | Caracterização Tecnológica dos Resíduos de Quartzito

#### 4.2.1 | Resíduos grossos de diferentes cores

Para os estudos de caracterização tecnológica dos quartzitos de Várzea do Seridó foram coletadas amostras de quartzitos de diferentes cores (branco, dourado, rosa, verde e preto) existentes na região. A identificação das amostras foi estabelecida pela cor do quartzito (Figura 9). As amostras foram coletadas na Serraria Pedra Itacolomy, localizada em Várzea do Seridó - PB. Essas amostras foram coletadas na forma de placas e filetes e acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas pela cor.



Fonte: UFCG.

**Figura 9.** Tipos de Quartzito: detalhe dos cinco tipos de quartzitos, de coloração diferente, selecionados para estudo.

Preparação das amostras: O material foi britado até a obtenção de uma granulometria adequada para a moagem, em torno de ½ polegada. Esta etapa foi realizada em um moinho de porcelana, onde o produto da britagem foi colocado juntamente com 40 bolas de alumina e tempo de moagem de 40 min. Após a moagem, o material foi peneirado, obtendo-se 100% do material abaixo de 200 malhas (0,074 mm).

Caracterização das amostras: O material foi quarteado em alíquotas, das quais foi retirada uma fração de 5 g de cada uma das amostras para os ensaios de caracterização. Para os ensaios de fluorescência de raios – X (FRX) foi utilizado um equipamento Shimadzu, modelo XRF-1800, EDX 720; para os ensaios de difração de raios – X (DRX), um aparelho XRD 7000; e para os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), o equipamento Shimadzu, modelo SSX 550.

Composição Mineralógica: A composição mineralógica, obtida por difração de raios X (DRX), teve por finalidade determinar os diferentes minerais que compõem os quartzitos de diferentes cores, existentes em Várzea do Seridó.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): Os estudos de MEV foram realizados com uma amostra do resíduo gerado pelas máquinas de corte, após o beneficiamento das placas de quartzito.

#### 4.2.2 | Resíduos finos da serraria

Foi realizada uma análise microgranulométrica de resíduos finos da serraria, coletados nos tanques de decantação da Serraria Itacolomy. Para isso, foi utilizado um granulômetro, tipo sedígrafo, marca CILAS, modelo 1064. Esta caracterização

foi feita para verificar a distribuição micro granulométrica desses finos. Esta informação é de grande relevância para os estudos de aplicação desses resíduos de quartzito na fabricação de argamassa e aplicação dos mesmos na indústria de vidro e indústria cerâmica. A análise foi realizada em um granulômetro, tipo sedígrafo, marca CILAS, modelo 1064.

### 4.3 | Lavra

Algumas das principais ações desenvolvidas, principalmente em relação à lavra. Foram elas:

- Elaboração do mapa geológico detalhado;
- contribuição na organização em cooperativas e associações produtoras;
- geologia de exploração mineral e desenvolvimento de lavra;
- minicurso de *blaster*;
- minicurso sobre boas práticas de extração e preservação ambiental;
- treinamento dos mineiros nas frentes de lavra;
- segurança e saúde do trabalhador;
- melhoria no manuseio dos resíduos gerados nas pedreiras; e
- desenvolvimento de uma pedreira piloto.

#### 4.3.1 | Contribuição na organização em cooperativas e associações produtoras

Esta contribuição foi dada na forma de reuniões da equipe do projeto com os profissionais dessas entidades e proporcionando visita do presidente do sindicato COOPEVÁRZEA ao Sindicato de Pedras, em São Tomé das Letras – MG.

#### 4.3.2 | Elaboração do mapa geológico

A elaboração do mapa geológico detalhado, na escala de 1 : 25.000, foi feita com o intuito de identificar as áreas promissoras para a extração do quartzito e orientar as operações de pedreiras ativas.

#### 4.3.3 | Geologia de exploração e desenvolvimento de lavra

As atividades realizadas na geologia de exploração mineral e desenvolvimento de lavra visaram melhorar a competitividade dos produtores, reduzir perdas na lavra e os impactos ambientais e melhorias na saúde e segurança do trabalhador nas atividades realizadas na extração, além de possibilitar um melhor planejamento das atividades nas pedreiras e proporcionar um melhor desempenho nas atividades exercidas no método de extração atual, bem como propiciar melhores condições ao desenvolvimento de uma pedreira piloto.

#### 4.3.4 | Minicurso de blaster

Esse minicurso de *blaster* foi um curso teórico-prático ministrado com a finalidade de uma melhor formação do Encarregado de Fogo (*blaster*), que é a pessoa responsável

pelo manuseio de explosivos nas atividades de desmonte de rochas. Este curso teve como principal objetivo habilitar os profissionais para o manuseio de explosivos industriais e de acessórios, dentro de padrões de racionalidade e de segurança; realizar o desmonte de rocha de forma a obter maior rendimento/recuperação da rocha extraída, com redução de perdas e, conseqüentemente, reduzir passivos ambientais, ou seja, transferir a esses mineradores o conhecimento das diferentes e melhores formas de manuseio com os explosivos, para minimizar riscos de acidentes e contribuir para diminuição de perdas na extração.

O curso foi desenvolvido com o seguinte conteúdo programático: legislação; conceitos; técnicas de desmonte de rochas; utilização de explosivos/utilização de massa expansiva; segurança no manuseio e uso dos explosivos; interação com o meio ambiente.

#### 4.3.5 | Minicurso sobre boas práticas de extração e preservação ambiental

A realização desse minicurso teve como objetivo melhorar as condições de saúde e segurança do trabalhador nas atividades de extração, aumentar a produtividade na extração e melhorar a recuperação da rocha extraída. Neste minicurso foram repassados aos trabalhadores como elaborar um plano de fogo, com estabelecimento de perfurações adequadas ao maciço de quartzito, bem como a utilização da quantidade correta de explosivos nos furos, conseguindo, assim, extrair placas de quartzito de maiores dimensões (diminuição de estilhaços), tendo, como consequência, menos perdas na extração da rocha, ou seja, diminuição da quantidade de resíduos gerada nas operações das pedreiras.

#### 4.3.6 | Treinamento dos mineradores nas frentes de lavra

Esse treinamento foi realizado na própria pedreira e teve como objetivo aplicar, na prática, os ensinamentos passados aos mineradores por meio dos minicursos anteriormente ministrados aos mesmos.

As atividades nas pedreiras foram realizadas mediante observações nos desmontes de rocha praticados segundo a prática comum dos mineradores locais, como também foram realizados cortes de blocos de quartzitos com duas tecnologias distintas, visando à fixação do aprendizado: um corte com o emprego de cordel detonante, e outro com o emprego de massa expansiva.

#### 4.3.7 | Segurança e saúde do trabalhador

A legislação brasileira exige também a implantação de um Comitê de Saúde e Segurança, dentro de cada organização, e uma de Controle Médico e Saúde e Programa de Segurança, a fim de cumprir todas as normas já existentes.

Além dos ensinamentos passados aos mineradores por meio dos minicursos “*Blaster*” e “Boas práticas de extração e preservação ambiental” e os treinamentos práticos realizados nas pedreiras, foi feita a distribuição de uma cartilha sobre segurança no trabalho, elaborada pelo CETEM. Mas, para atender a legislação vigente e realmente proteger os trabalhadores, ainda há muito trabalho de treinamento a ser feito dentro da cooperativa.

No entanto, muitas outras recomendações foram feitas também no âmbito do projeto, como, por exemplo, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), e um plano de sinalização de segurança adequado em torno das pedreiras e unidades de beneficiamento.

#### 4.3.8 | Manuseio dos resíduos da lavra

Foram passadas aos mineradores algumas orientações, no sentido de uma melhor disposição dos resíduos nas frentes de lavra, melhorando a execução das atividades de extração nessas frentes e facilitando o aproveitamento futuro desses resíduos.

Os resíduos que serão gerados nas novas frentes de extração serão depositados em pilhas, e poderão ser aproveitados em aplicações industriais já em andamento nas serrarias, tais como: fabricação de argamassa e outras que certamente virão, a curto e médio prazos (vidro, cerâmica e outras). Estas pilhas de resíduos serão preparadas com aterro bem planejado e estruturas de drenagem adequadas (VIDAL *et al.* 2012).

#### 4.3.9 | Desenvolvimento da pedreira piloto

Com a finalidade de demonstrar para os mineradores uma forma de extração mais apropriada para o maciço rochoso, que resultasse em uma melhor recuperação da rocha quartzito e melhores condições de saúde e segurança para o trabalhador, foi realizado o desenvolvimento da pedreira piloto, com a finalidade de implantar uma metodologia de extração com tecnologia mais avançada. Nos trabalhos de desenvolvimento da pedreira piloto foi projetado e desenvolvido um equipamento específico para o projeto.

A pedreira piloto foi desenvolvida depois da operação de decapeamento do maciço, que foi realizado usando retro - escavadeira e trator. O material proveniente do decapeamento foi depositado em pilhas para ser posteriormente utilizado para preencher as cavas das pedreiras quando as operações forem cessadas, além da recomposição do solo nas áreas trabalhadas.

Para as operações de perfuração foram usados 4 martelos pneumáticos com um compressor hidráulico de 63 litros por segundo de vazão nominal. Os furos são de 35 mm de diâmetro (série 11) na haste com 0,40 m, atingindo uma profundidade de 3,20 m, tendo uma malha com 0,84 m de espaçamento e 0,65 m de afastamento. O tampão será constituído de resíduos de solo e/ou pó de quartzito, com 0,65 m de altura, e cordão detonante e nitrato de amônia, quando se fizer necessário.

No planejamento da pedreira piloto, além das melhorias no planejamento do avanço das frentes de lavra, foram estudadas algumas alternativas para automatizar a extração de quartzito, com a finalidade de aumentar a produtividade e reduzir o impacto ambiental.

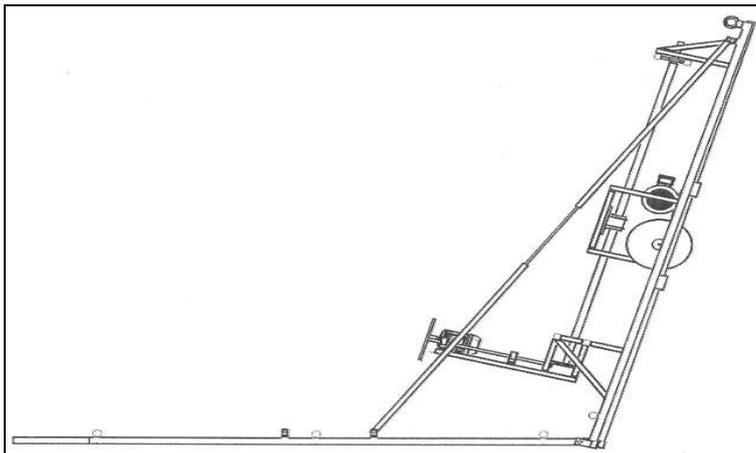
A ideia para o desenvolvimento e fabricação do equipamento de corte teve como base a tecnologia utilizada em máquinas de corte semelhantes, utilizadas em pedreiras de outros materiais foliados, como ardósia em Minas Gerais ou calcários cariri no Estado do Ceará, sendo considerada a melhor solução. No entanto, há de se levar em consideração as dificuldades na utilização dessas máquinas no quartzito do Seridó, devido à foliação subvertical existente, em ângulos acentuados.

Outra alternativa foi a realização de ensaios executados com uma máquina portátil, com disco diamantado de 200 mm de diâmetro, da marca Tyrolit, sem sucesso, devido à dureza do quartzito e a posição das camadas, que tornam difícil o corte manual.

Com a parceria de um microempresário local, uma máquina de serra com disco diamantado e um sistema de fixação da mesma foram construídos e testados em uma frente de

extração já aberta, da cooperativa (Figura 10). A máquina é constituída por: um disco diamantado de 250 mm de diâmetro, com um motor elétrico principal de 5 CV (trifásico) e um motor secundário elétrico 1 CV (monofásico), ambos de 1.200 rpm; um redutor de velocidade para acionar, de acordo com o desgaste do disco. Essa máquina é arrefecida a água, necessitando de 15 l/h, podendo ser reaproveitada por meio de um mecanismo de recirculação. Existe, ainda, uma armação de tubos de aço carbono com deslizadores reguláveis, para posicionar e fixar a máquina (Figura 11).

A energia necessária para funcionamento da máquina de corte é fornecida por um gerador a diesel (móvel) de 10 kVA de capacidade (Figura 12). Podem ser utilizados discos com diâmetros diferentes, que variam de 120 a 250 mm, o que dependerá da espessura da camada a ser cortada.



Fonte: João Bosco Marinho.

**Figura 10.** Corte do protótipo desenvolvido.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 11.** Máquina anterior, mostrando o sistema de fixação da mesma.



Fonte: Ranieri Pereira.

**Figura 12.** Gerador utilizado para fornecer energia à máquina.

A máquina protótipo foi testada com sucesso em cortes verticais em linha reta, com alta velocidade, mostrando que sua utilização pode aumentar a produtividade e reduzir drasticamente a quantidade de resíduos de quartzito gerados, com a extração artesanal.

## **4.4 | Beneficiamento**

### **4.4.1 | Melhorias do processo**

As melhorias do processo de beneficiamento foram no sentido de aprimorar a qualidade dos produtos da serraria, diversificar a oferta de produtos e diminuir a quantidade de resíduo de quartzito gerados nas serrarias.

A introdução e a adequação das novas tecnologias propiciarão melhoria de qualidade no aparelhamento dos ladrilhos, bem como a fabricação de mosaicos e listelos, utilizando resíduos da lavra e do beneficiamento. Estes produtos permitirão que as empresas venham alcançar novos mercados com produtos de melhor qualidade, calibrados e padronizados. A agregação de valor com o processo de corte e acabamento também permitirá melhorar a competitividade das empresas da região, participantes do projeto.

No âmbito do projeto, foram introduzidos nas serrarias 16 novos equipamentos, sendo 12 deles máquinas de corte manual e semiautomáticas e quatro prensas, e colocadas à disposição das serrarias Itacolomy e Revestir Pedras, sobre regime de comodato.

Esses equipamentos foram desenvolvidos e fabricados por uma empresa do estado de Santa Catarina. A Figura 13 mostra alguns desses equipamentos adquiridos, já instalados e em funcionamento, nas serrarias.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 13.** Equipamentos adquiridos instalados, e já em funcionamento nas serrarias.

Grande parte desses equipamentos teve muita importância no aproveitamento de resíduos grossos oriundos da lavra (pequenas placas) e do beneficiamento (aparas maiores), na fabricação de pequenos blocos (bloquetes). A partir desses pequenos blocos são confeccionados produtos como mosaicos, listelos e outros.

#### 4.4.2 | Melhoria no tratamento do efluente da serraria

Como já foi mencionado, os efluentes das serrarias são resultados da mistura de pó de rocha e água, contendo ainda partículas metálicas de aço (ferro) proveniente do desgaste do disco de corte. O pó de rocha é proveniente do corte da rocha, realizado em serras de discos diamantados, e a água é a utilizada na refrigeração dos discos das serras. Esses efluentes

gerados pelas serrarias precisam ser devidamente tratados para não causarem danos ao meio ambiente, comprometendo a atividade junto aos órgãos ambientais e a comunidade.

As serrarias Itacolomy e Revestir Pedras, onde foram realizados os trabalhos, já realizavam o tratamento dos efluentes, utilizando tanques de decantação, porém não de uma forma satisfatória (vide Figura 9). A finalidade destes tanques de decantação é realizar a separação água/sólido, com a retenção dos sólidos (principalmente os finos de rocha), enquanto a água sai no transbordo destes tanques. Quanto menos partículas sólidas sair na água do transbordo dos tanques, mais eficiente é a separação água/sólido. Porém, essa separação não estava se realizando de forma satisfatória, com a água sendo recirculada nas serrarias até tornar-se bastante viscosa, sendo, então, descartada. A lama decantada é descartada em bacia de depósito de finos, que são poços abertos diretamente no solo (Figura 14), que posteriormente, depois de seca, é depositada formando pilha de finos, como foi mostrado na Figura 3.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 14.** Bacia de depósito de finos.

Entretanto, a grande vantagem desse tratamento dos efluentes é o reaproveitamento da água nas serrarias, que deve ser a mais isenta possível de partículas sólidas. Além da economia de água, esse tratamento evita que esses finos de rocha sejam descartados de qualquer forma, contaminando o meio ambiente.

Para a realização do trabalho de melhoria de eficiência no tratamento dos efluentes das serrarias foram realizadas coletas de amostras do efluente gerado na serragem e também na bacia de decantação de finos; medições de vazão dos efluentes em cada uma das máquinas (serras) das serrarias; quantificação do número de máquinas em operação; medidas das dimensões dos tanques de decantação já existentes nas serrarias; ensaios de sedimentação com o efluente; e análise microgranulométrica dos finos de rocha contidos no efluente. Nas amostras de efluentes coletadas foram realizadas outras determinações, tais como: determinação da % de sólidos, densidade dos sólidos sedimentados, que são importantes para se calcular a quantidade de finos que sedimentam nos tanques, em determinado período de tempo. Também foram coletadas amostras nos tanques de decantação, já existentes nas serrarias, para possíveis comparações.

Os materiais mais utilizados nessa parte do trabalho foram: trena, cronômetro digital, funil, provetas graduadas de 1000 ml, sacos plásticos, balança, câmera digital e granulômetro (sedígrafo), marca Cilas, modelo 1064.

Outras importantes determinações para o dimensionamento dos tanques de decantação são: medidas de vazão do efluente gerado nas serrarias e a realização de ensaios de sedimentação com esse efluente.

### Medições de vazão do efluente:

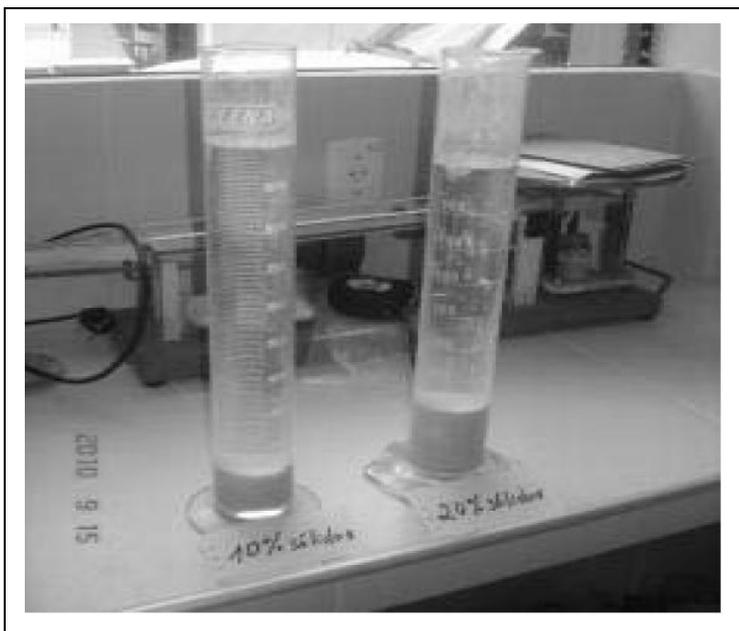
Para o cálculo da vazão total de efluente descartado pelas serrarias foram levados em conta o número de máquinas em operação em cada serraria estudada, as serras paradas, bem como a previsão para uma possível expansão da serraria.

### Ensaio de sedimentação:

Os ensaios de sedimentação são realizados para avaliar a velocidade de sedimentação das partículas sólidas contidas no efluente, fator muito importante no dimensionamento dos tanques de sedimentação.

Os ensaios de sedimentação foram conduzidos em diferentes condições operacionais, com 10, 20 e 30% de sólidos. Os resultados do andamento da sedimentação nas provetas eram anotados nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos. Em cada tempo, media-se a altura alcançada pelo material sólido depositado na proveta. Ao final do ensaio, registravam-se somente a altura de duas fases: a fase sólida e a fase líquida sobrenadante, tal como mostra a Figura 15.

Todos esses ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios da UFCG (VIERA, 2012).



Fonte: UAMG/UFCG.

**Figura 15.** Provetas de 1000 ml utilizadas, mostrando o material sólido sedimentado e a fase líquida sobrenadante.

#### **4.5 | Aproveitamento Industrial dos Resíduos do Beneficiamento e da Lavra do Quartzito.**

Os estudos para o aproveitamento dos resíduos do quartzito foram realizados, utilizando resíduos das serrarias, por facilidades nas amostragens e por terem granulometrias mais adequadas para os estudos.

#### 4.5.1 | Aplicação de resíduos na fabricação de mosaicos

Essa aplicação está descrita no item 4.4.1 - Melhoria do processo.

#### 4.5.2 | Aplicação de resíduos da Serraria na fabricação de argamassa - estudo desenvolvido em usina piloto

Os estudos para o aproveitamento das aparas e parte dos resíduos finos das serrarias foram conduzidos visando à fabricação de argamassa e foram desenvolvidos já em escala piloto. Uma usina piloto foi, então, desenvolvida, instalada e posta em marcha, em Várzea do Seridó – PB. A instalação dessa usina piloto foi realizada, em parceria com uma microempresa local – a TECQUIMICA, com apoio das microempresas de beneficiamento Revestir e Pedra Itacolomy e a COOPVARZEA – Cooperativa de Mineradores de Várzea.

A instalação da Usina Piloto teve como objetivo principal, realizar o aproveitamento industrial dos resíduos grossos gerados pelas serrarias (aparas) na fabricação de argamassa. Porém, uma pequena quantidade dos resíduos finos gerados pelas serrarias (pó de rocha), também foi aproveitada na formulação da argamassa, na proporção de 5% (CAMPOS, 2012).

Com o objetivo de levantar dados técnicos de processos, de mercados e qualidade de produtos para os mercados existentes de argamassa, foram realizadas visitas técnicas a uma usina de moagem de quartzito, em Minas Gerais e fábricas de argamassa localizadas no estado do Rio de Janeiro

(Riomix e Argamil). Estas visitas foram muito importantes na consolidação da concepção da usina piloto (CAMPOS *et al.* 2010).

Com o apoio, e em conjunto com o CETEM, a microempresa TECQUIMICA desenvolveu e fabricou (ou recuperou), em sua oficina, a grande maioria dos equipamentos necessários para o desenvolvimento dos estudos de aproveitamento dos resíduos, bem como realizou ensaios tecnológicos e fez a montagem e instalação da Usina Piloto de Argamassa.

Dentre os equipamentos fabricados pela TECQUIMICA, com apoio do CETEM, podem ser destacados: moinhos de martelos, peneiras rotativas (tromel), misturadores, filtros de manga e equipamentos auxiliares (transportador de correias, transportador de roscas etc). Essa empresa realizou, ainda, juntamente com o CETEM, a montagem e instalação dos equipamentos da Usina Piloto, assim como todos os ensaios tecnológicos; alguns no próprio local da piloto e outros em laboratórios da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande).

O desenvolvimento e fabricação dos equipamentos para os ensaios de batelada e para a usina piloto dentro do próprio projeto contribuíram muito para uma grande redução de custos na realização dos ensaios tecnológicos, montagem e instalação da Usina Piloto.

As microempresas de beneficiamento (Serrarias) localizadas mais próximas da usina piloto, que são as Serrarias Itacolomy e a Revestir, foram as que mais contribuíram e se beneficiaram do projeto. Elas forneceram os resíduos para a realização dos ensaios tecnológicos de processo e depois para a operação da Usina Piloto.

A Figura 16, a seguir, mostra outra foto de uma pilha de aparas, que são descartadas pelas serrarias que, até então, não tinham nenhuma utilização industrial.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 16.** Pilha de aparas disposta próximo das serrarias.

Antes da instalação da Usina Piloto foram realizados ensaios tecnológicos de cominuição (britagem e moagem) de aparas; análises granulométricas dos produtos da moagem; ensaios de peneiramento do produto da moagem; ensaios de peneiramento dos produtos da moagem e ensaios de mistura do produto fino do peneiramento com cimento e outros aditivos, para a formulação da argamassa.

Todos estes ensaios foram realizados na forma de bateladas, visando à instalação da usina piloto. Os equipamentos utilizados nesses ensaios foram: britador de mandíbulas, moinho de martelo, peneiras de laboratório, peneira rotativa (tromel) e betoneiras improvisadas como misturador.

As análises granulométricas dos produtos da britagem/moagem objetivaram verificar a distribuição granulométrica dos produtos obtidos nesses ensaios. Estes contribuíram na determinação das condições da moagem e do peneiramento do resíduo, para alcançar um bom rendimento do produto fino adequado para a produção da argamassa.

Os ensaios de peneiramento com o produto da moagem foram realizados em peneira rotativa (tromel), visando verificar o desempenho desse tipo de equipamento nessa operação. Os ensaios de homogeneização dos constituintes da argamassa (finos de rocha, aditivos e outros) foram realizados em diferentes condições, visando verificar a que melhor se adequava à formulação da argamassa requerida.

Nos ensaios realizados nos misturadores, além dos aditivos químicos já selecionados, foram testadas diferentes quantidades de adições do pó fino gerado pelas serrarias, com o objetivo de determinar a dosagem mais adequada desse material na formulação da argamassa a ser produzida.

Foi realizada também a análise microgranulométrica da fração abaixo de 35 malhas Tyler produzida na Usina Piloto, coletada nos misturadores, já com os aditivos adicionados, com o objetivo de verificar o grau de finura e a distribuição granulométrica da argamassa a ser produzida.

Os ensaios tecnológicos realizados contribuíram para a seleção dos equipamentos que iam ser utilizados nas operações unitárias planejadas para a Usina Piloto, visando à obtenção do produto fino apropriado para a fabricação da argamassa.

Na montagem da usina piloto, para realização da cominuição (britagem e moagem), optou-se por realizá-la, inicialmente, em dois estágios, utilizando britador de mandíbulas e moinho de martelos. Depois da usina piloto ter sido montada dessa forma, e colocada em funcionamento, decidiu-se por realizar as etapas de britagem e moagem em um único estágio, utilizando somente um moinho de martelos, de tamanho maior, sem prejuízo de resultado. Dessa etapa de cominuição, sai um produto com granulometria em torno de 10 malhas (1,65 mm).

Para a realização do peneiramento foi escolhido um *trômel* de tamanho maior, com as duas peneiras cilíndricas concêntricas, de 10 e 35 malhas (1,651 e 0,417 mm, respectivamente). A fração granulométrica fina, abaixo de 35 malhas (0,417 mm), que sai do *trômel* é o produto destinado à fabricação da argamassa.

Nos misturadores, esses finos abaixo de 35 malhas são misturados/homogeneizados com dosagens pré-estabelecidas de cimento, aditivos (polímeros) e finos gerados pelo corte da rocha nas serrarias (pó).

#### Caracterização microgranulométrica dos finos da usina piloto:

Esta caracterização foi realizada com a utilização de um granulômetro, tipo sedígrafo. Estas análises micro granulométricas foram realizadas em amostras de resíduos finos produzidos na usina piloto da fábrica de argamassa.

Esses finos foram coletados nos misturadores, já com a adição dos aditivos

#### 4.5.3 | Aplicação de resíduos na indústria de vidro (Babisk, 2013)

O resíduo de quartzito é rico em  $\text{SiO}_2$ , principal óxido formador da rede do vidro. Os ensaios realizados com o resíduo de quartzito de Várzea do Seridó tiveram como principal objetivo desenvolver um vidro do tipo sodo-cálcico a partir do resíduo fino obtido do beneficiamento do quartzito.

Preparação da amostra: Inicialmente, o resíduo grosseiro da mina foi fragmentado até a obtenção da granulometria adequada para a moagem. Essa etapa foi desenvolvida utilizando-se um moinho de porcelana de laboratório, no qual foram colocados junto ao material 40 bolas de alumina e moído durante 40 min. Ao término da moagem, o material foi peneirado, manualmente, obtendo-se 100 % de material passante em 200 malhas. Este material foi homogeneizado e quarteado, retirando várias alíquotas para o estudo de caracterização.

Caracterização da amostra: Com esse material, assim preparado, foi realizado um estudo de caracterização, visando à aplicação dos mesmos na indústria de vidros sodo-cálcicos.

A caracterização do resíduo de quartzito foi realizada através de análise química por fluorescência de raios-x (FRX) utilizando espectrômetro BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh.

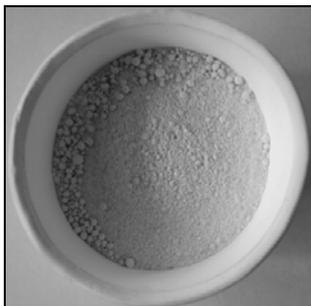
Para o desenvolvimento do vidro, a mistura das matérias-primas foi feita de acordo com as quantidades calculadas desejadas do resíduo de quartzito e dos reagentes químicos, baseada na estrutura do vidro comum (sodo-cálcico), de largo emprego comercial, tendo em vista que os resultados das misturas programadas não foram satisfatórios para o desenvolvimento de vidros borossilicáticos. Os reagentes químicos utilizados: carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), foram tipo P.A.

A mistura foi aquecida ao ar, em cadinho de alumina, em um forno de câmara a uma temperatura de  $1450^\circ\text{C}$ , com taxa de aquecimento de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , por 2 horas, na tentativa de se garantir a homogeneidade e também de simular o processo usualmente utilizado industrialmente, com exceção do tempo.

O vidro obtido foi caracterizado quanto à densidade pelo método de Arquimedes e análise de fases cristalinas por difração de raios-x; esta foi realizada em um equipamento *Bruker-D4 endeavor* operando com radiação de  $\text{Co-K}\alpha$ , em uma varredura de  $5$  a  $80^\circ$  ( $2\theta$ ).

A mistura foi homogeneizada antes da fusão, após pesagem dos constituintes em balança analítica.

Devido à perda de massa durante a fusão, pela decomposição dos carbonatos adicionados à mistura, a composição estudada, mostrada na Figura 17, foi calculada estequiometricamente, baseada na análise química do resíduo de quartzito.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 17.** Imagem da mistura preparada (Resíduo de quartzito, carbonato de sódio e carbonato de cálcio).

Todos os ensaios foram realizados em cadinhos de alumina. Primeiramente foram testadas temperaturas prévias para se conhecer o início da fusão. A mistura foi aquecida ao ar, em um forno de câmara a uma temperatura de  $1450^{\circ}\text{C}$ , com taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , por 2 horas, na busca de se garantir a homogeneidade e também de simular o processo usualmente utilizado industrialmente, com exceção do tempo.

#### 4.5.4 | Aplicação dos resíduos na indústria cerâmica

A possibilidade de aplicação dos resíduos na indústria cerâmica se destaca pelo seu potencial em coprocessar resíduos, em razão de possuir elevado volume de produção, e também pelo fato de que alguns resíduos, aliados às características físico-químicas da matéria-prima e às particularidades do processo produtivo, poderão possibilitar vantagens à indústria e ao processo, tais como, economia e diversificação da oferta de produtos vendáveis, redução do consumo de energia e, conseqüentemente, redução de custos na sua produção.

Uma massa cerâmica deve possuir as características necessárias para possibilitar um aperfeiçoamento durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais requeridas.

O termo massa cerâmica consiste em uma mistura de matérias-primas preparadas para a fabricação de um produto cerâmico (ladrilhos e outros).

Na composição da massa cerâmica, a argila constitui a base do corpo cerâmico, o quartzo é o ingrediente que dá a estrutura ou esqueleto a esse corpo cerâmico, e o feldspato é o ingrediente que forma a fase vítrea (fundente). Em geral, a formulação de uma massa é de 40% de argila (caulim), 40% de quartzo e 20% de feldspato, mas essas proporções podem variar bastante, em função do tipo de aplicação (VIERA *et al.*, 2012).

As massas tradicionais adequadas para fabricação de produtos cerâmicos são geralmente compostas de 50% de materiais não plásticos (quartzo e feldspato) e outros materiais plásticos como argila (caulim) (VIERA *et al.* 2012).

Normalmente, os resíduos de quartzitos são utilizados como matéria-prima na composição da massa cerâmica, principalmente na substituição de parte dos materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua composição mineralógica um alto percentual de quartzo, e em menor proporção, feldspato e mica.

A incorporação de resíduos industriais em cerâmica vermelha vem sendo muito utilizada, na busca de matérias - primas alternativas, dando uma destinação ambientalmente correta a esses resíduos, que poluem.

A pesquisa realizada teve com objetivo avaliar a influência da incorporação de diferentes dosagens dos resíduos finos de quartzito nas formulações das massas cerâmicas preparadas, e correlacioná-las com propriedades dos produtos cerâmicos obtidos com essas adições de resíduos de quartzitos.

Amostragem: foram amostradas e enviadas ao CETEM/RJ amostras dos resíduos finos de quartzito e da massa cerâmica utilizada na região do Seridó – PB, onde as mesmas foram caracterizadas.

As amostras de resíduos finos de quartzito, utilizadas nos estudos de aplicação dos resíduos de quartzito na indústria cerâmica foram coletadas em pilhas de resíduo fino, que se localizam próximas às serrarias (Figura 3).

Caracterização: para a caracterização das matérias - primas (resíduos de quartzito e massa cerâmica) foram utilizados a Fluorescência de raios-X (FRX) e a difração de raios-X (DRX). Na fluorescência de raios – X foi identificada a composição química e na difração de raios-X, a composição mineralógica.

Conformação dos corpos de prova: a conformação dos corpos de prova e os ensaios de avaliação das propriedades foram realizados nos laboratórios da UENF (Universidade Estadual do Norte Fluminense), em Campos dos Goytacazes (RJ).

Depois de coletadas, as matérias - primas foram secas a 110°C, por 24 horas. O resíduo foi destorroado em almofariz de porcelana, manualmente, e a massa cerâmica foi cominuída em um britador de mandíbulas e depois peneirada a 42 malhas (0,063 mm).

Foram preparadas composições de 0, 10, 20, 30 e 40% em peso de resíduo na matriz cerâmica, num total de 70 corpos de prova. As composições com 8% de umidade foram conformadas por prensagem uniaxial a 20 MPa, em matriz de dimensões 114 x 25 mm.

Sinterização e medidas dos corpos de prova: após secagem em estufa a 110°C, as peças foram medidas e pesadas, e em seguida, queimadas a 800 e 1050°C, com uma taxa de aquecimento de 2°C/min de tempo de patamar. Após a queima, as peças foram novamente medidas.

Testes de propriedades tecnológicas: As propriedades tecnológicas avaliadas foram a retração linear de queima, absorção de água e resistência mecânica. A resistência foi avaliada por meio de ensaio de tensão de ruptura por flexão em 3 pontos, em uma máquina de ensaio universal EMIC – DL 1000, de acordo com a norma.

#### 4.5.5 | Aproveitamento dos resíduos da lavra (das pedreiras)

O aproveitamento dos resíduos das pedreiras não é ainda muito significativo, apenas pequenas placas que não podem ser aproveitadas para a obtenção dos ladrilhos, são aproveitadas na fabricação de mosaicos, listelos e filetes, nas serrarias, como foi visto.

Um aproveitamento em maior quantidade desses resíduos poderá ser feito, aproveitando os estudos realizados para o aproveitamento dos resíduos das serrarias, na fabricação de argamassa, vidro e outros, com modificações apenas no sistema de cominuição, pois esses resíduos são, normalmente, de maiores dimensões que os resíduos das serrarias.

## 5| RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 | Caracterização Tecnológica do Resíduo do Quartzito

#### 5.1.1 | Resíduos grossos de diferentes cores

Composição química: foram identificados os seguintes compostos químicos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{Au}_2\text{O}$ , e seus respectivos teores nos quartzitos de diferentes cores (branco, dourado, rosa, verde e preto).

O conhecimento da composição química dos resíduos de quartzitos de diferentes cores fornece informações relevantes para a avaliação de suas possíveis aplicações, principalmente nas indústrias de vidro, cerâmica, argamassa, quando combinadas com as propriedades físicas.

A Tabela 1 mostra os resultados das análises de FRX das amostras de quartzito branco, dourado, rosa, verde e preto.

**Tabela 1.** Composição química dos quartzitos de cores: branco, dourado, preto, rosa e verde.

Óxido (%)	Quartzito Branco	Quartzito dourado	Quartzito preto	Quartzito rosa	Quartzito verde
SiO <sub>2</sub>	70,73	91,21	44,32	91,35	81,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,19	5,03	13,70	4,32	9,83
K <sub>2</sub> O	9,79	2,04	5,02	1,91	5,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,39	0,93	25,33	0,99	2,87
BaO	0,99	--	0,79	--	--
MgO	0,92	--	3,88	--	--
CaO	0,45	--	3,96	--	--
TiO <sub>2</sub>	0,40	0,22	1,88	0,26	0,44
Rb <sub>2</sub> O	0,09	--	0,06	--	0,04
SrO	0,03	--	0,24	--	--
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	--	0,03	--	--
WO <sub>3</sub>	--	0,17	--	--	--
ZrO <sub>2</sub>	--	0,05	0,21	--	--
MoO <sub>2</sub>	--	0,03	--	--	--
CuO	--	0,03	--	--	--
MnO	--	--	--	--	--
Cl	--	0,30	--	0,40	--
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	--	--	0,14	--	--
SO <sub>3</sub>	--	--	--	0,77	--
ZnO	--	--	0,07	--	0,03
Cs <sub>2</sub> O	--	--	--	--	0,06
Au <sub>2</sub> O	--	0,02	--	--	--

Fonte: UAMG/UFCG.

Os teores de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) demonstram o caráter essencialmente quartzoso das amostras. Os valores mais elevados (acima de 90%) foram registrados nas amostras de quartzito dourado e rosa. O teor mais baixo de sílica (44,32%) foi observado na amostra de quartzito preto. O segundo óxido em importância provindo da presença do feldspato e da mica é a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), cujos teores variam de 4.32% (quartzito rosa) a 13.70% (quartzito preto).

Da mesma forma, o óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), terceiro maior óxido encontrado nas amostras, é decorrente da presença da mica e do feldspato. Os seus teores variam de 1.91% (quartzito rosa) a 9.79% (quartzito branco). O teor mais elevado de  $\text{TiO}_2$ , de 1.88%, foi constatado na amostra de quartzito preto, a presença de titânio deve estar associada à presença do rutilo  $\text{TiO}_2$ . O teor de  $\text{MgO}$  nas amostras de quartzito branco foi de 0.92%, e no quartzito preto foi de 3.88%.

Sua presença deve estar associada a filossilicatos, principalmente a clorita  $(\text{MgAlFe})_{12}(\text{SiAl})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$ .

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  refletem o conteúdo total de ferro das amostras. O valor mais elevado de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foi encontrado na amostra de quartzito preto com 25.33%. Esse valor é muito elevado para o uso em massa cerâmica, podendo inclusive ocorrer oxidação da peça. Em todos os demais resultados os teores de óxido de ferro variam de 0.93% (quartzito dourado) a 4.39% (quartzito branco). A presença de ferro deve-se provavelmente à presença de biotita, ou de turmalina e outros minerais opacos.

Dentre os quartzitos estudados, o dourado e o rosa apresentaram os maiores teores de  $\text{SiO}_2$  (acima de 90%) e menores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (menos de 1,0 %), enquanto que os outros quartzitos, principalmente o preto (44,3 %  $\text{SiO}_2$  e 25,3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), mostraram mais baixos teores de  $\text{SiO}_2$  e mais altos

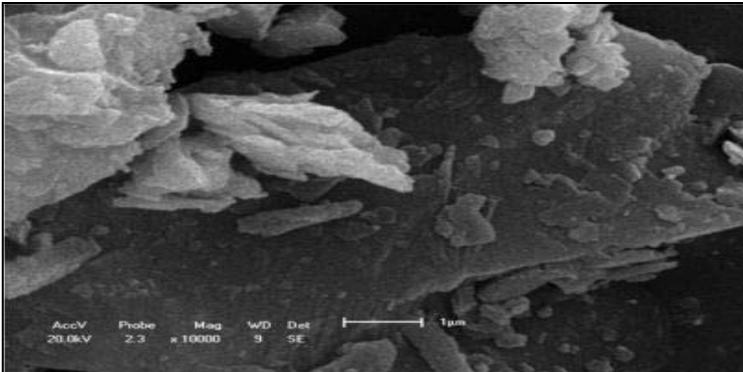
teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , não sendo muito recomendados para a fabricação de massas cerâmicas.

Composição mineralógica: Os resultados de DRX mostraram que a composição mineralógica dos quartzitos é a seguinte: o quartzito branco é composto por quartzo, muscovita, e feldspato (microclínio). No quartzito dourado há quartzo, muscovita e microclínio. O quartzito preto é constituído de quartzo, biotita, albita e clorita. O quartzito rosa, por quartzo, muscovita e feldspato (ortoclásio). O quartzito verde é composto de quartzo feldspato e muscovita.

As análises de DRX realizadas com cada uma das amostras dos quartzitos constataram os picos de difração característicos de fases cristalinas referentes ao quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Ela um mineral responsável pelo desenvolvimento de plasticidade na conformação da massa cerâmica. A presença da mica muscovita ( $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OHF})_2$ ) também foi verificada, que é um mineral de textura lamelar, e que em fina granulometria pode atuar como material fundente, devido à presença de óxidos alcalinos (feldspato microclínio e feldspato ortoclásio), facilitador da formação da fase líquida, de grande importância ao longo da sinterização das peças durante a queima. Observou-se também a presença de outros minerais que, devido à sua pequena proporção, não puderam ser identificados.

Ensaio no MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura): Os ensaios no MEV foram realizados com uma amostra de resíduo gerado pelas máquinas de corte (serras) durante o esquadrejamento das placas de quartzito. A Figura 18 mostra a micrografia obtida com detector de elétrons secundários, nas quais observa-se a morfologia e o relevo superficial das

partículas. Nessa figura, observa-se que os níveis de cinza podem ser relacionados a cada fase mineral. As imagens com tonalidade mais escura correspondem ao quartzito, à mica, ou ao feldspato, e as mais claras tratam-se de outros minerais ou contaminantes, possivelmente biotita com alto teor de ferro ou ao ferro metálico, proveniente da serragem ou corte dos blocos. A escala mostrada na micrografia, permite medir as partículas de ferro metálico ou de biotita (fase mais clara), que apresentam um tamanho, aproximadamente, de 1 micrômetro.

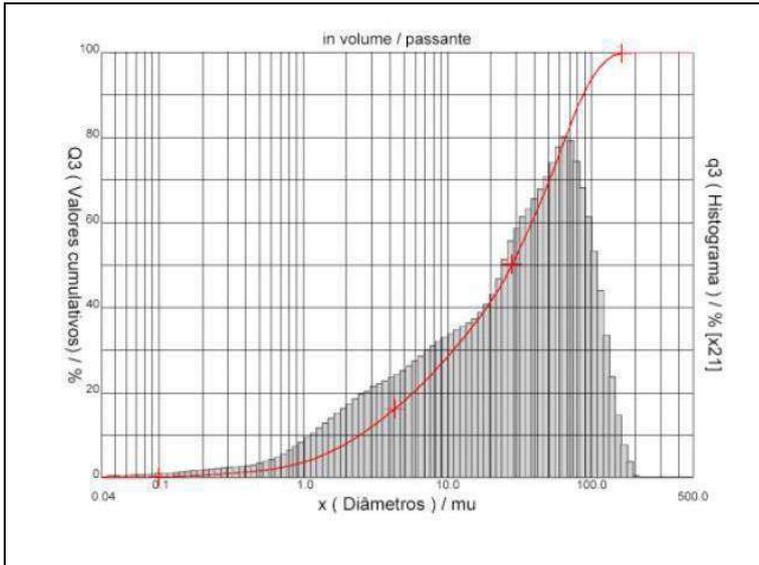


Fonte: UFCG.

**Figura 18.** Micrografia das partículas que compõem o resíduo gerado após o beneficiamento dos quartzitos.

### 5.1.2 | Resíduos finos da serraria

Análise microgranulométrica dos finos de rocha contidos no efluente: O gráfico da Figura 19 mostra o resultado de uma análise micro granulométrica realizada em uma amostra do efluente gerado na Serraria Itacolomy, coletada nos tanques de decantação, com emprego do sedígrafo, marca CILAS, modelo 1064.



Fonte: UFCG.

**Figura 19.** Análise microgranulométrica, em sedígrafo, realizada no material sólido contido no efluente gerado pela Serraria Itacolomy.

Conforme mostra a Figura 19, observa-se que 50% de todo o material sólido encontra-se em granulometria abaixo de 27,8 micrômetros. Nota-se também que o  $d_{80} = 87,1 \mu\text{m}$ . O  $d_{80}$  significa que 80% do material encontra-se em uma granulometria abaixo 87,1 micrômetros. Em uma correlação com a escala Tyler de granulometria, onde a malha 200 corresponde a  $74 \mu\text{m}$ , a granulometria de  $87,1 \mu\text{m}$  está ligeiramente acima de 200 malhas.

## 5.2 | Lavra

A realização da pesquisa e desenvolvimento da lavra serviu para melhorar as atividades de extração nas pedreiras e o desenvolvimento de uma pedreira piloto, com tecnologia inovadora, desenvolvida dentro do projeto. Estas ações desenvolvidas possibilitam melhorias nas técnicas de extração do quartzito em Várzea do Seridó-PB.

O mapa elaborado contém as seguintes características geológicas: unidades litológicas, contatos, dobras, foliação e falhas. Por meio de intenso trabalho *in situ* foi possível identificar melhor as diversas deficiências nas práticas de extração utilizadas.

Com os trabalhos realizados na geologia de exploração conseguiu-se o que se pretendia, que foi um melhor desempenho nas atividades exercidas no método de extração atual, bem como propiciaram melhores condições ao desenvolvimento de uma pedreira piloto.

No minicurso de *blaster* foram transferidas aos mineradores as diferentes e melhores técnicas de manuseio com explosivos, visando diminuir o risco de acidentes nas pedreiras e racionalizar o uso de explosivos nas operações de desmonte de rochas.

No outro minicurso sobre boas práticas de extração e preservação ambiental foram passados aos mineradores, como fazer um plano de fogo, com estabelecimento de perfurações adequadas ao maciço de quartzito, bem como a utilização da quantidade adequada de explosivos nos furos.

Como resultado, conseguiu-se extrair placas de quartzito de maiores dimensões, com menos perdas na lavra e, conseqüentemente, com diminuição da quantidade de resíduos produzida nas pedreiras.

### 5.2.1 | Pedreira piloto

A partir do desenvolvimento da pedreira piloto, estima-se que cada frente de lavra terá três bancos de pelo menos 2 metros de largura e 5 metros de altura para facilitar o acesso dos operadores de perfuração e detonação e as operações de carregamento e transporte (PEREIRA, R. A., 2011).

Com a utilização da máquina de corte desenvolvida nas frentes de lavra dos maciços de Várzea, estima-se uma produção em torno de 90 m<sup>2</sup>/h de corte. No entanto, a máquina ainda necessita de duas melhorias importantes, a fim de ser útil para os pequenos mineradores, a saber: um mecanismo de rotação para realizar também cortes horizontais e um sistema de fixação mais leve e mais flexível que o do protótipo, que é pesado e difícil de posicionar na face do banco.

Para modificar as condições de operação nas etapas de lavra, foi indicada a abertura de rampas de acesso com ângulos suaves, com bancadas e bermas que permitam o tráfego e a operação de equipamentos mecanizados, tais como: empilhadeiras para carregamento da carga, acondicionadas em paletes de madeira e escavadeiras hidráulicas, para limpar as frentes da pedreira e realizar a abertura de novas frentes. Este procedimento é de fundamental importância para eliminar os taludes negativos e guinchos para erguer as placas, a fim de evitar acidentes.

Além de melhorar a produtividade e reduzir os impactos ambientais e os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores das pedreiras, a efetiva implementação das melhorias sugeridas permitiria também a lavra seletiva das distintas variedades de cor dos quartzitos existentes, em função das necessidades do mercado, mediante o trabalho simultâneo em várias cavas planejadas (PEREIRA, R. A., 2011).

Ao final da pesquisa, foram feitas recomendações para que fossem implementadas as melhorias tecnológicas associadas à capacitação de pessoal na prática rotineira nas frentes de extração do quartzito, visando o aprimoramento das técnicas de extração.

### 5.2.2 | Saúde e segurança

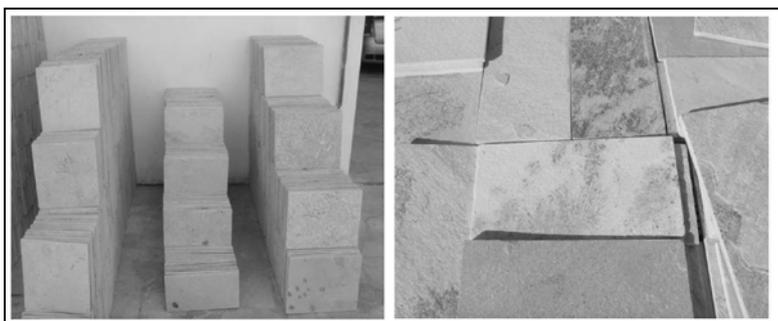
As condições de saúde e segurança devem ser melhoradas com as novas práticas extrativas propostas, especialmente no que se refere ao risco de acidentes. No entanto, muitas outras recomendações, feitas também no âmbito do projeto, devem ser seguidas, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e um plano de sinalização de segurança adequado em torno das pedreiras e das unidades de beneficiamento.

## 5.3 | Beneficiamento

### 5.3.1 | Melhoria introduzida no processo

Com a introdução dos 16 novos equipamentos (12 máquinas de corte manuais e semiautomáticas e 4 prensas), as placas brutas de quartzito extraídas das pedreiras e enviadas às

serrarias puderam ser mais bem aproveitadas, diminuindo a quantidade de resíduos gerados nas serrarias, além de possibilitar a fabricação de produtos de melhor qualidade e maior competitividade para o mercado consumidor. A Figura 20, a seguir, ladrilhos quadrados e retangulares, com formas e dimensões bem definidas.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 20.** Ladrilhos de formas quadrada e retangular produzidos pela serrarias.

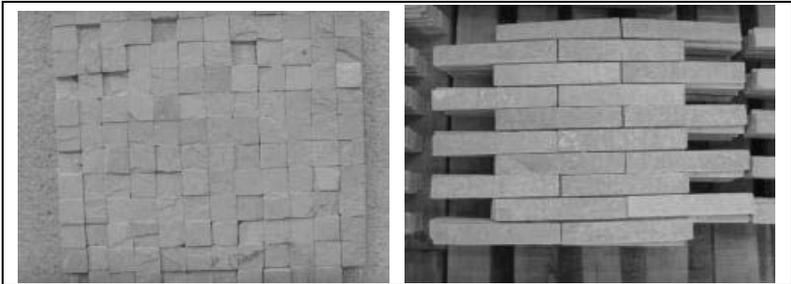
Ainda com a introdução desses novos equipamentos, pequenos blocos (Figura 21, à esquerda), até então sem muita utilização, passaram a ser aproveitados na confecção de mosaicos e listelos. O mesmo ocorreu com aparas de maiores dimensões (Figura 21, à direita). A produção de mosaicos, listelos e outros, tornaram-se possíveis pela cessão desses novos equipamentos de beneficiamento à Cooperativa de Mineradores de Várzea – COOPVÁRZEA.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 21.** Pequenos blocos de quartzito para produção de mosaicos e outros.

A Figura 22 apresenta os produtos que são comercializados, com muita aceitação pelo mercado.



Fonte: Viera *et al.* 2012.

**Figura 22.** (a) Mosaico de peças quadradas; (b) mosaicos de peças retangulares.

Outras realizações importantes, ainda, na área das serrarias (beneficiamento) foram a melhoria no sistema de tratamento de efluentes e o estudo desenvolvido, em escala piloto, para o aproveitamento industrial das aparas (resíduo grosso) geradas e parte dos resíduos finos, na fabricação de argamassa.

### 5.3.2 | Melhoria no tratamento do efluente da serraria

Os resultados dos ensaios mostraram uma boa taxa de sedimentação, já nos tempos de 10 e 15 minutos de duração do ensaio, onde a sedimentação do material já era quase completa.

Na determinação do volume de efluente a ser tratado optou-se por ter como referências as capacidades dos tanques de decantação já existentes. Estes valores foram multiplicados pelo fator  $F= 2,5$  para se obter as capacidades dos novos tanques de decantação. Com essa premissa, as capacidades dos novos tanques de decantação passariam de 5,0 para 12,5  $m^3$ , para a Serraria Itacolomy; e de 8,0 para 20  $m^3$ , para a Serraria Revestir Pedras. Nessas novas capacidades dos tanques já estariam incluídas possíveis ampliações dessas serrarias, como, por exemplo, aquisições de novas máquinas de corte. As vazões de efluentes estimadas corresponderam a 2,4  $m^3/h$  para a Serraria Itacolomy, e a 4,7  $m^3/h$  para a Serraria Revestir Pedras.

Outra mudança sugerida foi no *design* dos tanques. Os tanques passariam a ter grande área superficial, pequena altura e a parte inferior afunilada (Figura 23), para facilitar a sedimentação e a acomodação das partículas na parte inferior dos tanques e sua subsequente remoção.



Fonte: UFCG.

**Figura 23.** Perfil sugerido para os novos tanques de decantação.

A Figura 24 mostra os novos tanques de decantação, já em operação em uma das serrarias.



Fonte: UFCG.

**Figura 24.** Novos tanques de decantação em operação em uma das serrarias.

Na Serraria Itacolomy seriam construídos dois tanques de  $6 \text{ m}^3$  e na Serraria Revestir seriam construídos 2 tanques de  $10 \text{ m}^3$  de capacidade para o tratamento dos efluentes dessas serrarias. As capacidades dos tanques de decantação das Serrarias Itacolomy e Revestir passariam então para  $12 \text{ m}^3$  e  $20 \text{ m}^3$ , respectivamente.

A água que sai desses tanques pode ser recirculada nas serrarias, desde que esta seja passada em filtros para a remoção de algum material sólido ainda em suspensão na mesma.

Apesar do estudo ter indicado o uso de filtros, foram obtidas informações de que na Serraria Itacolomy a água que sai dos tanques está sendo recirculada na serraria sem o uso de filtros, sem causar nenhum problema aos discos das serras.

Considerando-se que as duas serrarias em estudo ocupam áreas bem próximas uma da outra, com os resultados dos estudos essas podem dispor de Unidades de Tratamento separadas ou, em comum acordo, instalar apenas uma Unidade para o tratamento compartilhado de seus efluentes.

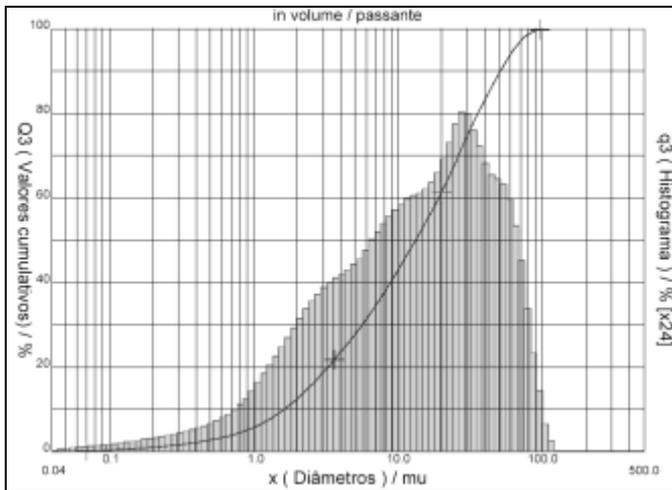
## **5.4 | Estudos de Aproveitamento dos Resíduos**

### **5.4.1 | Aplicação na fabricação de argamassa**

Os resultados do conjunto cominuição/peneiramento foram considerados satisfatórios, apresentando um rendimento de 50% de material abaixo de 35 malhas.

Os resultados dos ensaios realizados nos misturadores, com os finos abaixo de 35 malhas obtidos no peneiramento do produto da moagem com os aditivos, foram muito bons, obtendo-se um produto homogêneo.

O resultado da análise microgranulométrica dos finos produzidos na usina piloto coletados nos misturadores, já com a adição dos aditivos, podem ser vistos na Figura 25, a seguir.



Fonte: **UFCG**.

**Figura 25.** Resultado análise microgranulométrica dos finos produzidos na Usina Piloto, coletados nos misturadores, já com adição de aditivos.

Pela Figura 25, observa-se que 50% de todo o material encontra-se em uma granulometria inferior a 13,2 micrômetros. É importante frisar que o  $d_{90} = 51$  micrômetros no produto final. Isso quer dizer que o 90% de todo o material encontra-se numa granulometria inferior a 51 micrômetros (~270 malhas).

O equipamento utilizado nessa microanálise granulométrica foi um granulômetro marca CILAS, modelo 1064.

Com diferentes dosagens dos aditivos, principalmente o cimento, são produzidas argamassas tipos AC1, AC2 e AC3. Essas argamassas produzidas são descarregadas e ensacadas em sacos de 15 kg para o mercado consumidor, conforme mostra a Figura 26.



Fonte: CETEM/MCTI.

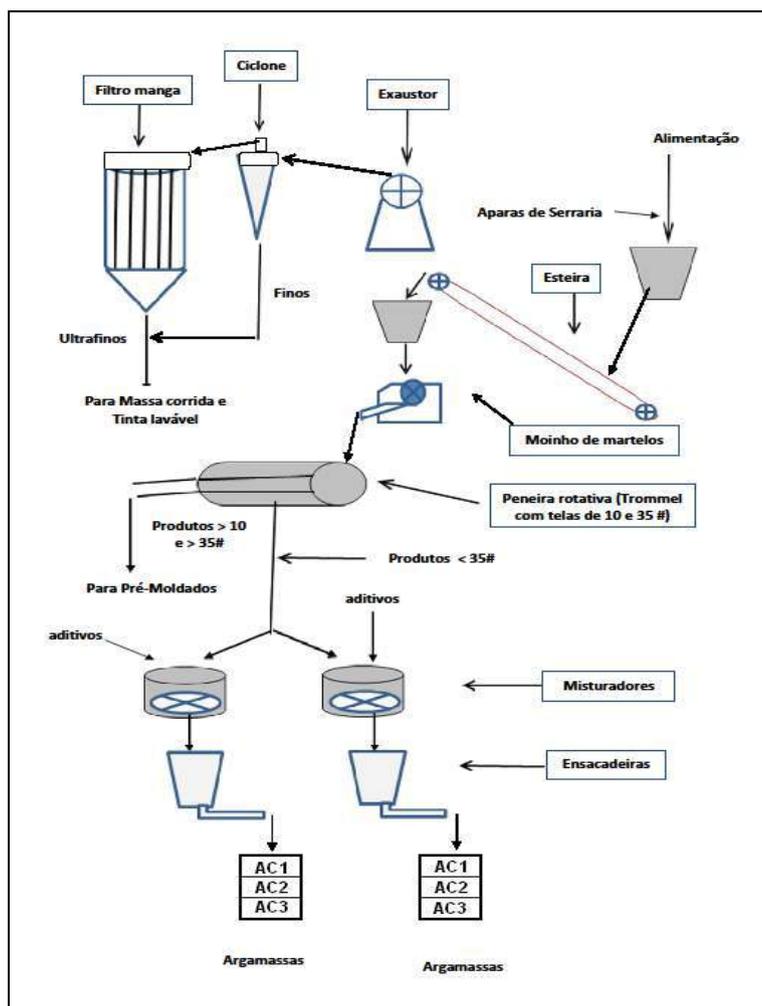
**Figura 26.** Argamassa empacotada em sacos de 15 Kg para o mercado consumidor.

A Figura 27, a seguir, mostra o fluxograma da Usina Piloto de Argamassa, montada em Várzea do Seridó-PB, para o aproveitamento, principalmente das aparas das serrarias na fabricação de argamassas, dos tipos AC1, AC2 e AC3 e subprodutos, como pré-moldados (tijolos estruturados).

Como pode ser visto no fluxograma da Figura 27, a usina piloto consta das seguintes etapas de processo: cominuição das aparas em moinho de martelos; peneiramento do produto da cominuição em peneiras rotativas cilíndricas (tromel), de dois decks (10 e 35 malhas); mistura dos finos abaixo de 35 malhas com os aditivos, para a produção de argamassa, realizada em 2 (dois) misturadores; e sistema de ensacamento das argamassas produzidas nos misturadores.

Como o processo de cominuição (moagem) das aparas é a seco, para evitar a emissão de poeira oriunda dessa etapa do processo, foi montado um sistema de coleta de pó, constituído de exaustor, ciclone classificador pneumático e filtro de mangas.

O pó coletado pelo exaustor é classificado no ciclone, onde a fração ultrafina vai para o filtro de manga, evitando, assim, a emissão de poeira na usina piloto.



Fonte: A. Campos, C.A. Santos. CETEM/MCTI.

**Figura 27.** Fluxograma da usina piloto de argamassa, instalada em Várzea do Seridó-PB, para fabricação das argamassas AC1, AC2 e AC3.

Com o pó coletado e classificado no sistema de despoeiramento (“underflow” do ciclone + fração ultrafina dos filtros de manga), podem ser produzidos ainda outros subprodutos, tais como: massa corrida e tinta lavável. A função do ciclone é mais para aliviar a operação do filtro de manga.

No momento, o pó coletado no sistema de despoeiramento está sendo aproveitado também na produção de argamassa.

A Figura 28, a seguir, mostra vistas parciais da usina piloto de argamassa, nas fases de montagem e instalação dos equipamentos.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 28.** Vistas da Usina Piloto de Argamassa.

A foto superior da Figura 28 mostra, da direita para a esquerda, o moinho de martelos e seu produto alimentando o tromel (peneira rotativa), que está enclausurado; o transportador de rosca, que conduz os finos produzidos no peneiramento aos misturadores; o ciclone pneumático fabricado para classificar o pó produzido no sistema de despoeiramento; e ao fundo, a estrutura para montagem do filtro de mangas. A foto inferior mostra, à esquerda, os dois misturadores; e à direita, a argamassa já empacotada para o mercado consumidor.

A Figura 29, a seguir, mostra outras vistas da Usina Piloto de Argamassa instalada em Várzea do Seridó-PB. À esquerda, placa do Parque Industrial; à direita, a entrada da Usina Piloto, com uma pilha de aparas a ser processada.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 29.** Outras vistas da Usina Piloto de Argamassa, em Várzea do Seridó–PB.

O aproveitamento desses resíduos das serrarias (pequenas placas, pequenos blocos, aparas e parte do pó gerado pelas serrarias) colaborou bastante na mitigação do impacto ambiental causado pelas serrarias, além de agregar valor a

esses resíduos, que são gerados em grande quantidade pelas serrarias da região, além da geração de emprego e renda e diminuição de conflito com a comunidade e órgãos ambientais.

É importante ressaltar que os resíduos oriundos da lavra, tecnicamente, também poderão ser aproveitados na fabricação de argamassa e já há planos neste sentido para um futuro próximo.

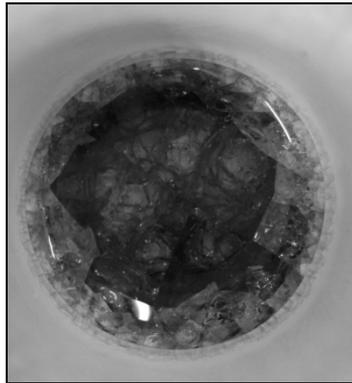
#### 5.4.2 | Aplicação na indústria de vidro

Na análise de fluorescência de raios-x foi identificada a composição química do resíduo de quartzito, em % peso. A análise confirmou que o  $\text{SiO}_2$  é o óxido majoritário em sua composição, que é o principal óxido formador da rede vítrea, seguido pela alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido intermediário, que na rede da sílica atua também como formador de rede.

Quantidades significantes de  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  foram encontradas, na rede vítrea atuam como óxidos modificadores de rede e são responsáveis por romper a estrutura vítrea, reduzindo, assim, a viscosidade e o ponto de fusão do vidro.

Teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foram identificados e nesta aplicação terão papel fundamental, pois atuam como colorante na formulação de vidro, e dão a cor verde ao vidro produzido.

A mistura aquecida a  $1450^\circ\text{C}$  apresentou-se totalmente fundida resultando, assim, em um vidro de coloração verde claro bem homogêneo, devido à presença do óxido de ferro no resíduo, que atua como colorante, tal como apresentado na Figura 30. O vidro não apresentou bolhas aprisionadas em sua espessura e nem nas interfaces com o cadinho, porém apresentou trincas resultantes do resfriamento rápido ao qual o mesmo foi submetido.



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 30.** Imagem do vidro obtido a partir de resíduos de quartzito.

O vidro obtido foi caracterizado quanto à densidade pelo método de Arquimedes e análise de fases cristalinas por difração de raios-x; esta foi realizada em um equipamento *Bruker-D4 endeavor*, operando com radiação de  $\text{Co-K}\alpha$ , em uma varredura de 5 a  $80^\circ$  ( $2\theta$ ).

A composição do vidro desenvolvido está dentro da faixa de composição de vidros sodo-cálcicos descrita por Akerman (2000), em se tratando de valores de  $\text{Na}_2\text{O}$ , que está entre 12 e 17%, e de  $\text{CaO}$  entre 8 e 12 %, estrutura do vidro comum, família de vidros mais antiga e largamente utilizada e constituem a maior parte das garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas.

O vidro apresentou uma densidade de  $2,51\text{g/cm}^3$ , que é compatível com o valor citado na literatura em relação aos vidros sodo-cálcicos. A densidade dos vidros é controlada pelo volume livre da rede vítrea e pelas massas dos íons presentes.

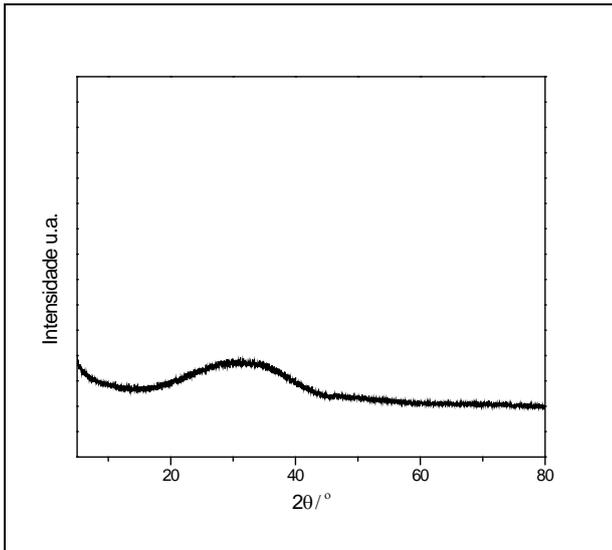
Geralmente, a adição de espécies que entram nos interstícios da rede vítrea tenderá a aumentar a densidade, reduzindo o volume livre. Portanto, devido à presença dos óxidos modificadores de rede, os vidros sodo-cálcicos têm densidade nominal de  $2,5 \text{ g/cm}^3$ .

A mistura previamente calculada e desenvolvida resultou em um vidro completamente amorfo que, devido à presença de óxido de ferro, apresenta coloração verde clara, com densidade nominal de vidros sodo - cálcicos.

A composição preparada resultou em um vidro completamente amorfo. O vidro produzido apresentou densidade equivalente a de vidros sodo-cálcicos.

Observou-se que estes resíduos têm grande potencial de aplicação neste tipo de material, o que contribui ambientalmente em dois fatores, encontrando destinação aos resíduos que poluem ao serem lançados diretamente na natureza e também diminuindo a extração de areia.

O difratograma de DRX (Figura 31) não apresenta nenhum pico de cristalização, mostrando um material completamente amorfo indicando, assim, que foi obtida a vitrificação total da composição, pois, diferente dos cristais, os vidros não possuem arranjo atômico regular e sistemático ao longo de distâncias atômicas relativamente grandes, por isso são referenciados como materiais amorfos (significando, literalmente, sem forma).



Fonte: CETEM/MCTI.

**Figura 31.** Difratograma de raios-x do vidro produzido a partir de resíduos de quartzito.

Essa alternativa é inovadora, e se apresenta como mais uma aplicação desses resíduos, agregando valor a eles, e minimizando o impacto ambiental que eles causam. Como consequência, pode-se ter, também, uma diminuição na utilização de areia comum, uma atividade de extração mineral que apresenta forte perfil desfavorável ao meio ambiente.

### 5.4.3 | Aplicação na indústria cerâmica

Na fluorescência de raios – X foi identificada a composição química (Tabela 2).

**Tabela 2.** Composição química do resíduo de quartzito e da massa cerâmica (% em peso).

Composição	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PF
Resíduo de Quartzito	0	0,63	9,99	83,13	0	3,33	0,54	0,13	0	0,94	1,3
Massa Cerâmica	1,57	2,06	24,2	54,98	0,2	2,54	1,3	0,56	0,14	5,02	7,5

Fonte: **UFCG**.

A análise química do resíduo de quartzito revela que o SiO<sub>2</sub> é o componente majoritário (83,13%), com quantidades significantes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9,99%) e K<sub>2</sub>O (3,33%). Por outro lado, a análise química da massa cerâmica indica predominância de sílica (54,98%) e de alumina (24,2%), com quantidades significantes de MgO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O.

No difratograma da análise de raios - X foram observados os picos do quartzo (SiO<sub>2</sub>), que é o responsável por reduzir a plasticidade e atuar como inerte durante a queima; da mica muscovita (KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>), que é um mineral de textura lamelar, e que em tamanho reduzido pode atuar como material fundente devido à presença de óxidos alcalinos, ou seja, facilitador da formação da fase líquida, de grande importância durante a sinterização das peças ; e da microclina (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), que um feldspato alcalino.

Na análise mineralógica da massa cerâmica foram observados os picos de quartzo, da mica muscovita e da caulinita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O), que é um argilo mineral presente no caulim e em muitas argilas utilizadas para a fabricação de produtos cerâmicos destinados a construção civil, sendo este mineral responsável pelo desenvolvimento da plasticidade.

Nos corpos de prova com incorporações de até 30% de resíduo não ocorreram variações nas propriedades. Na composição de 40%, houve diminuição no valor da densidade.

Pode-se observar que a retração linear de todas as composições aumenta significativamente com o aumento da temperatura de 800 para 1050°C. A retração linear de queima depende fundamentalmente da massa específica aparente da peça prensada, da composição da massa e das condições de queima.

A 800°C, a incorporação até 20% de resíduos de quartzito favoreceu e diminuiu a retração linear. As incorporações de 30 e 40% apresentaram uma expansão, devido à maior quantidade de resíduo de quartzito incorporado que, como citado anteriormente, é composto majoritariamente por quartzo.

Com relação à absorção de água, notou-se que, para a temperatura de 800°C, não ocorreu variação significativa de absorção de água. Já a 1050°C houve uma brusca redução de absorção, isto devido à maior formação de fase líquida, que contribui para diminuição da porosidade.

Observou-se que a absorção de água aumenta, gradativamente, com a incorporação de resíduo.

A resistência mecânica de todas as composições aumenta, significativamente, com o aumento da temperatura de 800 para 1050°C. Isto ocorre devido aos mecanismos de sinterização, que possibilitam maior formação de fase líquida reduzindo, assim, a porosidade do material e promovendo uma melhor consolidação das partículas.

Considerando o valor médio, observou-se uma tendência de redução da resistência mecânica com o aumento do teor de resíduo incorporado. Isto ocorre devido ao caráter inerte do quartzo, mineral predominante do resíduo, bem como as eventuais trincas acarretadas pela sua transformação alotrópica.

Nas composições de 0%, 20%, e 40%, à temperatura de 800°C, os resultados não foram bons. Isso pode estar relacionado à baixa temperatura de sinterização, devido ao fornecimento insuficiente de energia para a formação da fase líquida na cerâmica.

Foi possível observar que na composição de 40% de resíduo, à temperatura de 1050°C, o resíduo de quartzito está relativamente bem distribuído na massa cerâmica.

Entretanto, aumentando a quantidade incorporada, reduz-se muito a quantidade de argila, principal responsável pela consolidação das partículas da cerâmica. Isto pode explicar a redução da resistência mecânica das peças com incorporação de dosagens mais elevadas de resíduos.

## 6| CONCLUSÕES

Como principais conclusões, no projeto realizado, podemos destacar:

- As mudanças no método de lavra, associadas ao conhecimento geológico do maciço rochoso, possibilitaram melhorias no acesso às frentes de extração, bem como nas técnicas de extração;
- os minicursos teórico – práticos ministrados, capacitaram melhor os microempresários e mineradores na extração da rocha quartzito, resultando em maior produtividade e qualidade do produto, além de uma melhor consciência ambiental no desenvolvimento de suas atividades;
- o desenvolvimento da pedreira piloto, com equipamento inovador, contribuiu, ainda mais, para uma melhor recuperação da rocha, melhoria da qualidade do produto; aumento de produtividade; e redução da geração de resíduos nas atividades de extração;
- as orientações repassadas aos mineradores sobre segurança e higiene no trabalho, entre outros, contribuíram para uma maior segurança nas realizações de suas atividades, diminuindo o risco de acidentes de trabalho;
- na etapa de beneficiamento, com a introdução de máquinas mais modernas, observaram-se melhorias substanciais nos produtos para fins ornamentais e de revestimento, tanto no que concerne a calibração, como também na padronização de tamanhos e cores, contribuindo para o aumento da qualidade,

produtividade, competitividade e, conseqüentemente, contribuindo com o aumento do número de emprego e renda da região;

- a introdução dessas novas máquinas no processo de serragem das placas provenientes das minas possibilitou a diversificação de produtos comercializáveis das serrarias, contribuindo ainda, com o aproveitamento das aparas de maiores dimensões (sobras de ladrilhos nas serrarias) e de pequenas placas da mina (não aproveitáveis no aparelhamento dos ladrilhos). A partir desses materiais foram obtidos mosaicos quadrados e retangulares, listelos, etc., que tiveram boa aceitação do mercado consumidor;
- os trabalhos realizados no tratamento do efluente da serraria resultaram, principalmente, em um aumento da capacidade dos tanques de decantação e variação no *design* dos mesmos, a fim de tornar a separação água/sólido mais eficiente;
- os ensaios de caracterização realizados com os cinco tipos de quartzitos, de diferentes cores, mostraram que as amostras de quartzito dourado e rosa apresentaram a menor concentração de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que foi de 0.93% e 0.99%, respectivamente. Os quartzitos de coloração branca, verde e preto por apresentarem teores de ferro mais elevados podem ser utilizados na indústria de vidro sodo-cálcicos, contribuindo, inclusive, para a diversificação de cores nesses vidros;
- nesses ensaios de caracterização observou-se que todos esses resíduos têm grande potencial de aplicação neste tipo de material (vidro tipo sodo-cálcico), o que

- contribui ambientalmente em dois fatores: encontrando mais uma destinação aos resíduos que poluem ao serem lançados diretamente na natureza e também diminuindo a extração de areia natural;
- os ensaios de caracterização mostraram, também, que os os resíduos de quartzito podem ter utilização na indústria da cerâmica vermelha;
  - a Usina Piloto instalada está funcionando, produzindo três tipos de argamassas (AC1, AC2 e AC3), em que AC1 é argamassa comum; as argamassas AC2 e AC3 são argamassas tipo colantes, sendo estas últimas de maior valor agregado;
  - com os resíduos grossos da Usina Piloto (+ 10 e + 35 malhas), resultantes do peneiramento realizado no tromel (peneira rotativa), podem ser fabricados tijolos estruturais, canaletas etc., para a construção civil;
  - outra alternativa a ser considerada para esses resíduos mais grossos (+10 e + 35 malhas), seria a remoagem dos mesmos e retorno ao processo de produção de argamassa;
  - o pó retido no sistema de coleta de pó da usina piloto está sendo aproveitado, também, na produção de argamassa, agregando à mesma uma melhor plasticidade. Futuramente, esse pó poderá ser aproveitado, também, na produção de massa corrida e tinta lavável;

- a Usina Piloto de Argamassa foi montada no parque industrial de Várzea - PB, próxima às empresas de beneficiamento do município. A usina encontra-se em pleno funcionamento, com 6 empregados, produzindo cerca de 4 toneladas/dia de argamassa, e, eventualmente, 300 tijolos/dia e 3 m<sup>3</sup>/dia de brita fina;
- com a instalação da usina piloto para o aproveitamento de resíduos das serrarias, a fabricação de argamassa a partir desses resíduos já foi consolidada, com atenuação dos problemas ambientais da região, além de proporcionar melhoria de saúde para a comunidade vizinha às serrarias, podendo ainda se constituir em uma grande oportunidade para o desenvolvimento da região, como um todo, agregando valor aos resíduos, até então com muita pouca utilização, geração de empregos e acréscimo de renda ao município;
- apesar dos estudos na usina piloto terem sido desenvolvidos, utilizando resíduos das serrarias para a produção de argamassas, em um futuro bem próximo, poderá passar a utilizar, também, os resíduos da lavra para esse mesmo fim;
- a pesquisa de aproveitamento dos resíduos na fabricação de vidro foi bem sucedida, produzindo um vidro tipo sodo-cálcico de boa qualidade, com as especificações requeridas. Este tipo de vidro tem muita aceitação no mercado consumidor;
- foi desenvolvido um vidro do tipo sodo-cálcico utilizando resíduos de quartzito como única fonte de sílica na mistura. A composição preparada resultou em um vidro

completamente amorfo. O vidro produzido apresentou densidade equivalente a de vidros sodo-cálcicos do mercado;

- outra investigação feita para o aproveitamento dos resíduos foi a sua aplicação na indústria da cerâmica vermelha. Considerando os ensaios realizados, os resultados demonstraram a possibilidade de aproveitamento do rejeito do quartzito na matriz cerâmica analisada. A pesquisa mostrou que com a incorporação de 40% de resíduos, à uma temperatura de sinterização de 1050<sup>0</sup>C, o resíduo de quartzito pode ser utilizado como matéria prima alternativa para a fabricação de produtos cerâmicos (telhas, tijolos e blocos) para a construção civil, atendendo todas as especificações exigidas pelo mercado.

Com 20 toneladas diárias de resíduos é possível produzir: 20 mil telhas, 16,7 mil tijolos e 16,7 mil blocos (RIBEIRO, 2011).

Em relação à abrangência do trabalho, a usina piloto de argamassa trabalha com resíduos provenientes de 10 serrarias da região, onde trabalham 400 pessoas. As empresas que realizam o beneficiamento da rocha quartzito só conseguiram obter a licença ambiental porque a usina piloto desenvolvida absorve boa parte dos resíduos produzidos pelas mesmas.

Os beneficiários dos resultados deste trabalho são os pequenos produtores integrantes da Cooperativa de Mineradores de Várzea – COOPVARZEA, em especial, as empresas de beneficiamento Itacolomy e Revestir Pedras; e, finalmente, a empresa Tecquímica, que se dedica à fabricação de argamassa de uso na construção civil, no município.

## **7 | AGRADECIMENTOS**

À FINEP/MCTI e SEBRAE/PB, pelo apoio financeiro.

Ao CETEM/MCTI, pelo apoio logístico e técnico.

À interveniente microempresa TECQUIMICA pela condução dos ensaios tecnológicos na Usina Piloto, bem como montagem e posta em marcha da mesma.

À ATECEL, pela logística prestada.

À UFCG, pelo apoio técnico ao projeto.

Ao IFRN, por conceder seus laboratórios para a realização de ensaios.

À UENF, por conceder seus laboratórios para a realização de ensaios.

Ao Econ. Marcos Magalhães, do SEBRAE/PB, pelo apoio ao projeto.

Ao Eng. Marcelo Falcão, da SETDE/PB, pelo apoio ao projeto;

Ao Prof. Antônio Pedro Ferreira de Sousa, pelo apoio ao projeto;

Ao graduando Ranieri Pereira, pela sua contribuição no projeto;

Ao Assistente em C&T, Áureo Monteiro Tavares da Silva, pela ajuda nas figuras;

Ao Dr. Eng. Adão Benvindo da Luz, pela revisão técnica do texto.

À Dra. Eng. Regina C. Casseres Carrisso, pela revisão técnica do texto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H. "Aproveitamento de Rejeitos do Beneficiamento de Quartzito na Produção de Vidros e Cerâmicas". Relatório Final de Atividades Programa Bolsa PCI – CETEM (RRB-0023-00-13). Vigência: 01 de maio de 2011 a 30 de junho de 2013. Junho de 2013.
- CAMPOS, A. R. "Relatório Técnico de Atividades Realizadas de Bolsista, no Período de Junho a Novembro de 2010". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", Processo CNPq 554555/2010-7, 2012.
- CAMPOS, A. R. "Relatório de Viagem às Jazidas de Quartzito de Ilicínia em São Tomé das Letras e empresa AS – Sales Andrade (MG)". Projeto "Tecnologia Avançada para a Mineração de Quartzito". 2010.
- CAMPOS, A. R.; VIDAL, F. W. H; MARINHO, J. B. "Relatório de Visita Técnica à Empresa RIOMIX Argamassa, em Itaboraí – RJ". Projeto "Tecnologia Avançada para a Mineração de quartzito. 2010.
- CORREIA, J. C. G.; VIDAL, F. W. H; VIERA, E. V.; CAMPOS, A. R.; COSTA, J. B. M. "Aproveitamento de Rejeitos de Quartzitos da Região de Várzea do Seridó". In: Anais IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VIII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Campina Grande - PB. Novembro de 2012.
- JARDIM DE SÁ, E. E.; MACEDO, M. H. F.; FUCH, R. A. KAWASHITA, K. "Terrenos Proterozóicos na província Borborema e margem norte do Cráton São Francisco". Rev. Bras. Geoc., 22, 472-480. 1992.
- MENEZES, R. R.; Neves, G. A.; Ferreira, H. C. (2002). "O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias primas cerâmicas alternativas". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 6, nº 2, p. 303-313.

- MORELLI, M. (1999). "Fundamentos da formulação de materiais cerâmicos." UFSCar/UNESP, São Paulo, 15 a 16 de julho, 82p.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais. Mapa Geológico do estado da Paraíba: Texto explicativo. S.L. 1982.
- PEREIRA, R. A. "Acompanhamento e Execução de Atividades de Pesquisa Mineral, Extração e Beneficiamento do Quartzito de Várzea-PB." Monografia – UFCG, 2011.
- RIBEIRO, W. S.; VIDAL, F. W. H. "Reaproveitamento dos rejeitos de quartzito na fabricação de cerâmica vermelha". Projeto Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito. 2011.
- SILVA, S. S. "Relatório Técnico de Atividades Realizadas de Bolsista no Período de Maio a Novembro de 2010". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", 2012.
- SOUSA, A. P. F; LIMA, A. A.; GOPINATH, T. R.; NADLER, H. C. S. "Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzitos no estado da Paraíba". I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador-BA. 2001.
- SOUZA, M. M; Felipe, L. C. O.; Viera, E. V.; Neves, G. A.; Souza, J. B. M. "Caracterização tecnológica de Resíduos de Quartzitos da Paraíba e Rio Grande do Norte visando seu aproveitamento na indústria cerâmica". Anais do 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho, Porto de Galinhas, PE. 2011.
- VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. "Relatório Técnico de Pesquisa Mineral e Lavra". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0008-00-12, CETEM/MCTI, 2012.

- VIDAL, F. W. H.; CORREIA, J. C. G. ; CASTRO, N. F. "Relatório Técnico de Atividades Realizadas no Período de junho de 2009 a março de 2012". Projeto "Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito", convênio entre a FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0009-00-12, CETEM/MCTI, 2012.
- VIERA, E. V.; SOUZA, M. M.; GONZAGA, L. M. "Caracterização dos Resíduos da Lavra de Quartzito da Região do Seridó, visando a Produção de Cerâmica para Porcelanato". Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VIII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Novembro de 2012.
- VIERA, E. V. " Projeto de Implantação de um Unidade de Tratamento de Efluentes para os Resíduos do Beneficiamento de Rochas de Quartzito no Estado da Paraíba". Anais IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VIII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, em Campina Grande-PB. Novembro de 2012.

## **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 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 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 Mineral**

**STM-92 - APL Gemas e Joias do Rio Grande do Sul: Estudo de Caso, Pesquisa Geológica, Lavra e Beneficiamento.**

José Ferreira Leal, Altair Flamarion Klippel e Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2013.

**STM-91 - Terras Raras: Aplicações Atuais e Reciclagem.**

Flávia Alves Ferreira e Marisa Nascimento, 2013.

**STM-90 - Moinho Vertical de Carga Agitada: uma revisão.**

Douglas B. Mazzinghy, Claudio L. Schneider e Roberto Galéry, 2013.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto: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

A missão do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é desenvolver tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 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 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 22 laboratórios, 3 usinas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 37 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 720 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.