



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

ALISSON RUFINO ARAÚJO DE ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS DO DESDOBRAMENTO DE
GRANITOS NAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

ALISSON RUFINO ARAÚJO DE ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS DO DESDOBRAMENTO DE
GRANITOS NAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba no curso de Química Industrial do Departamento de Química do Centro de Ciências e Tecnologia em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Minerais não-metálicos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa.

**CAMPINA GRANDE -PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A553c Andrade, Alisson Rufino Araujo de.
Caracterização dos rejeitos do desdobramento de granitos nas indústrias do estado da Paraíba [manuscrito] / Alisson Rufino Araujo de Andrade. - 2018.
25 p.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2018.
"Orientação : Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa. , Departamento de Química - CCT."
1. Rejeito Industrial. 2. Sustentabilidade. 3. Rocha ornamental . 4. Resíduo solido . I. Título
21. ed. CDD 549.114

ALISSON RUFINO ARAÚJO DE ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DOS REJETOS DO DESDOBRAMENTO DE GRANITOS
NAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA**

NOTA
10,0 (08/2010)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba no curso de Química Industrial do Departamento de Química do Centro de Ciências e Tecnologia em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Minerais não-metálicos.

Aprovado em: 20/11/2012

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Lygia de Fátima Oliveira
Examinadora Externa



Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Para cada pensamento positivo, pensado ou colocado em minha cabeça, que tanto me impulsionaram.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe **Maria de Fátima**, meu pai **Arnaldo** e todos os que estiveram próximos à mim. Obrigado pelo apoio, palavras de incentivo, compreensão, confiança e por me deixarem voar atrás dos meus sonhos.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa** pelas portas que sempre me abriu e degraus que sempre me ajudou a subir. Devo agradecer também por tantas oportunidades dadas, tantos ensinamentos e tanta paciência. Foi imensamente importante fazer parte do seu grupo de pesquisa, tanto para meu crescimento profissional, quanto para meu crescimento pessoal.

Aos meus companheiros de turma, que sempre estiveram presentes e foram essenciais para que eu pudesse esboçar cada sorriso a cada segundo da rotina de estudos. Jamais poderei esquecer de **Hilda Camila**, pelos vários momentos vividos dentro e fora dos domínios universitários, pelas conversas jogadas fora e horas de laboratório, **Anna Paula**, que me impulsionou a cada dia em meu conhecimento universitário, **Mylena**, que conseguiu me arrancar sorrisos até mesmo quando eu não conseguia sorrir e **Zilberto**, que sempre compartilhou companheirismo e opiniões.

Às professoras avaliadoras **Profa. Dr. Djane de Fátima Oliveira** e **Profa. Dr. Maria Roberta de Oliveira Pinto** pela grande ajuda prestada durante toda a minha formação universitária e pessoal, por sempre serem gentis e prestativas, além de acreditarem em meu potencial.

E, finalmente, à Universidade Estadual da Paraíba e seus profissionais que fizeram de minha formação, algo memorável.

RESUMO

Diariamente nos deparamos com discussões entre empresários e ativistas, que dividem opiniões e preocupações, principalmente em questões relacionadas ao destino dos rejeitos das atividades industriais. Com a evolução tecnológica e científica, este problema vem ganhando solução, porém em pequenas escalas. Observando o setor de minerais não-metálicos do Estado da Paraíba, como o de beneficiamento de rochas ornamentais, em especial o granito, há uma geração de uma série de resíduos que causam impactos ambientais. Dentre eles, destaca-se a lama abrasiva, que provoca contaminação dos corpos hídricos, colmatação do solo, poluição visual e estética, dentre outros, devido a sua composição química. A possibilidade de redução dos resíduos gerados nos processos industriais apresenta limitações financeiras, limitações técnicas e de mobilidade de adequação de processos para as empresas, de forma que os resíduos sempre existirão, seja em pequena ou em larga escala. De acordo com o exposto, torna-se necessário o conhecimento do rejeito de rocha ornamental (RRO), sejam por suas propriedades químicas, físico-químicas ou mineralógicas. Como metodologia, efetuou-se a revisão bibliográfica, seguida de visitas *in loco* as indústrias de beneficiamento com a execução de levantamento de dados e a posterior coleta e caracterização do rejeito do desdobramento de granito do Estado da Paraíba. Como resultados, o levantamento de dados revelou uma produção anual de cerca de 7730 toneladas de passivos ambientais, que são descartados nos terrenos próprios das indústrias de beneficiamento. De acordo com as análises químicas realizadas, a fluorescência de raio-X mostrou que o rejeito pode ser classificado como sílico-aluminoso, já que soma cerca de 80% de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$. A lama apresentou um pH com caráter alcalino, apresentando um valor de 9,34. Já em relação a umidade, de 6,50%, mostrou que nem toda água do beneficiamento de rochas ornamentais evapora-se ou infiltra-se no solo após o descarte do resíduo.

Palavras-chave: Rejeitos Industrial; Sustentabilidade; Caracterização de materiais não-metálicos.

ABSTRACT

Every day we are faced with discussions between entrepreneurs and activists, who share opinions and concerns, especially on issues related to the destination of the waste industrial activities. With scientific and technological developments, this problem has been gaining solution, however on small scales. Noting the non-metallic minerals industry in the State of Paraíba, as ornamental rock processing, especially granite, there is a generation of a number of waste that cause environmental impacts. Among them, there is the abrasive slurry, which causes contamination of water bodies, filling the ground, aesthetic and visual pollution, among others, due to their chemical composition. The possibility of reduction of waste generated in industrial processes has financial constraints, technical limitations and mobility adjustment process for businesses, so that the waste will always exist, whether in small or large scale. According to the above, it is necessary to know the waste of ornamental stone, by their chemical properties, physical-chemical and mineralogical. Through the methodology chosen, a bibliographical review was carried, followed by visits to the processing industries with the implementation of data collection and then the characterization of granite's waste of the State of Paraíba. As a result, the survey data revealed an annual production of some 7730 tonnes of environmental liabilities, which are discarded on the grounds of the processing industries. According to chemical analyzes, the X-ray fluorescence showed that the waste can be classified as silica-alumina, as it adds up to about 80% of $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$. The slurry had a pH of alkaline character, with a value of 9.34. Regarding the moisture of 6.50%, has shown that not all water from the processing will evaporate or infiltrates the soil after the disposal of waste.

Keywords: Industrial waste; Sustainability; Characterization of non-metallic materials.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO LITERÁRIA	9
2.1	Rochas ornamentais	9
2.2	Exploração e processo de desdobramento de rochas ornamentais	10
2.3	Rejeito do desdobramento de rochas ornamentais (lama abrasiva)	11
3	METODOLOGIA	14
3.1	Levantamento de dados sobre o percentual de rejeitos gerados pelas indústrias de desdobramento de granitos do Estado da Paraíba	14
3.1.1	Pesquisa de campo	14
3.1.2	Inventário dos resíduos gerados	14
3.2	Caracterização das propriedades química, físicas e mineralógicas dos rejeitos provenientes do desdobramento de granitos	15
3.2.1	Coleta e preparação da amostra	15
3.2.2	Fluorescência de raios X	15
3.2.3	Determinação do pH	16
3.2.4	Teor de umidade (CEMP 105)	16
3.2.5	Densidade aparente	16
3.2.6	Densidade absoluta	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1	Levantamento de dados sobre o percentual de rejeitos gerados pelas indústrias de desdobramento de granitos do Estado da Paraíba	18
4.2	Caracterização das propriedades química, físicas e mineralógicas dos rejeitos provenientes do desdobramento de granitos	19
4.2.1	Fluorescência de raios x	19
4.2.2	Determinação das propriedades químicas e físico-químicas	20
5	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

No setor de beneficiamento de rochas ornamentais o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais. A potencialidade brasileira em rochas ornamentais, principalmente em relação aos granitos é extraordinária, devido às amplas regiões do território que compreendem afloramentos pré-cambrianos. A potencialidade geológica do país pode ser comparada, no nível mundial, somente às da China e da Índia (VIEIRA JÚNIOR, 2001).

Para o uso destas rochas na construção civil, é necessário inicialmente a separação da rocha e depois o seu desdobramento por serragem para obtenção de blocos e chapas brutas. Em seguida é feito um processo de polimento nas peças serradas, resultando em produtos acabados para o mercado (SOUTO et. al, 2001).

Segundo Silva (1998), as indústrias de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil enfrentam problemas relacionados a poluição do meio ambiente, causados pela disposição final do rejeito gerado na serragem, polimento e desdobramento. Este rejeito pode alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, pois são lançados no ecossistema sem nenhum tratamento prévio. Além disso, o passivo ambiental, na forma de lama, afeta esteticamente a paisagem e necessita-se de grande espaço para a sua estocagem, bem como um alto custo de recolhimento e armazenamento. Ressalta-se, ainda, que esta lama quando seca constitui-se num pó fino que pode provocar danos à saúde humana.

No Brasil, a quantidade estimada de geração desse resíduo fino é de 800.000t/ano. Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba são os Estados que mais geram esse resíduo (CHIODI FILHO, 2005).

Em virtude da cobrança cada vez maior e eficaz por parte dos órgãos ambientais, torna-se essencial o estudo e reuso da lama abrasiva, oriunda do desdobramento de rochas ornamentais. Diante disso, este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar os rejeitos proveniente do beneficiamento de granito na Paraíba, como forma de controle e possível emprego em produtos com geração de renda extra para as empresas deste setor.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 Rochas ornamentais

Segundo Abreu et. al (1990), denomina-se por rochas ornamentais aquelas que após serragem, polimento e lustração, ressaltam características intrínsecas (como textura, estrutura, trama dos minerais, etc.) conferindo-lhes beleza e permitindo seu uso em revestimentos, pisos e ornamentação (como mármore e granitos).

A aplicação do granito na construção civil, em substituição a outros produtos vem sendo crescente, pelo fato de suas características apresentarem vantagens de uso: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e estética. Seu dinamismo de mercado está fundamentado na sua elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais. Como é resistente ao ataque químico e ao desgaste abrasivo, a utilização do granito em revestimentos externos tem aumentado, tanto em pisos quanto em fachadas (PEITER, 2001).

O Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de granito, as principais estão localizadas no Espírito Santo, Minas Gerais e estados nordestinos, principalmente Bahia e Ceará. Com o crescimento do setor de mineração no país, a partir da década de 1960, houve o surgimento de muitas empresas de beneficiamento de granito. Apesar de o segmento significar consideráveis incrementos sociais e econômicos, não se pode desconsiderar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, em especial a geração de quantidades expressivas de resíduos os quais, em sua maior parte, são destinados de forma inadequada levando a contaminação dos corpos hídricos e do solo, poluição atmosférica, desfiguração da paisagem e prejuízos à saúde (PREZOTTI et. al., 2004).

Em estudos, Algranti et al. (2004) estimou que cerca de 86 mil trabalhadores, do setor de rochas ornamentais brasileiro, são expostos ao pó de sílica (em pelo menos 30% da jornada semanal de trabalho). As empresas pouco investem em programas eficientes de eliminação da sílica suspensa no ar.

A região Nordeste, por sua vez, apresenta destaque na mineração brasileira, com uma variada gama de ambientes geológicos, que contém diversos tipos de depósitos minerais, dentre os quais se destacam pelo volume das reservas, pela quantidade e valor da produção mineral, ou pelo reflexo na cadeia produtiva regional, os seguintes

minerais: cromita, ouro, titânio, pedra britada, bentonita, calcário, fosfato, gipsita, magnesita, potássio, rochas ornamentais e sal gema (BEZERRA, 2009).

A mineração no Estado da Paraíba possui um histórico que data da década de 40, mais especificamente na Microrregião do Seridó, pertencente à Mesorregião da Borborema, com a extração de minerais de pegmatitos e quartzitos, contando na época com incentivos resultantes da cooperação do Governo Brasileiro com as Forças Aliadas durante a 2ª Guerra Mundial. Naquela ocasião, foi promovida principalmente a produção de minerais de berílio, de lítio e de tântalo. Com o fim do conflito, houve um decaimento na produção, porém firmou-se na região uma cultura mineral que persiste até hoje (BEZERRA, 2009).

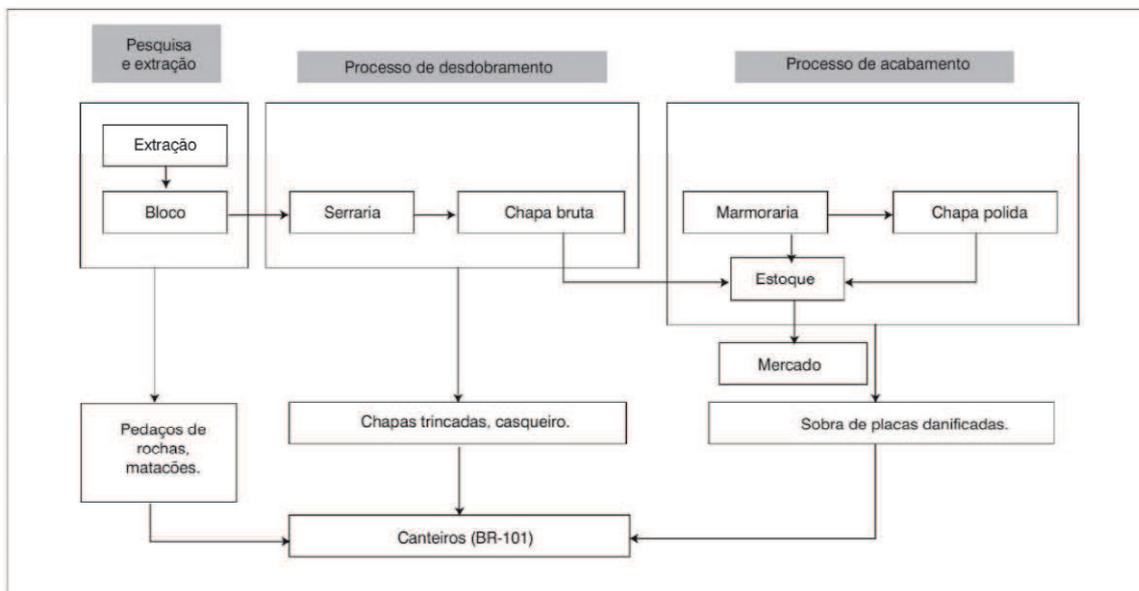
2.2 Exploração e processo de desdobramento de rochas ornamentais

A região do Seridó apresenta uma riqueza mineral expressiva, tanto economicamente como no que se diz respeito à diversidade de recursos minerais existentes, visto que nela se localizam as principais jazidas de berilo, caulim, espodumênio, feldspato, mica, quartzo, tantalita, columbita, calcários, e gemas coradas do Estado da Paraíba. No entanto, a atividade de extração mineral local sempre foi caracterizada pelo alto índice de informalidade, baixo nível tecnológico, e altos índices de acidentes e de degradação ambiental (SETDE, 2011).

Para a utilização de técnicas exploratórias, pode-se lançar mão dos recursos de sensoriamento remoto, tais como análise morfo-estrutural em imagens de satélite e fotos aéreas convencionais, permitindo assim a identificação de rochas maciças e/ou isotropas, área com matacões, etc (GIACONI, 1998).

Após serem extraídas, as rochas graníticas em forma de matacões, são transportadas para as serrarias para o desdobramento ou serragem, processo de transformação dos blocos em chapas ou placas semiacabadas, de espessuras que variam de 1 a 3 cm, utilizando máquinas denominadas de teares. Os teares convencionais utilizam lamas abrasivas, que tem como principais objetivos: lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo ao abrasivo (granalha) e limpar os canais entre as chapas, sendo distribuída por chuveiros sobre o bloco através de bombeamento durante sua serragem (SILVA, 1998). A Figura 1 apresenta os resíduos das principais etapas de beneficiamento de rochas ornamentais, que normalmente são vendidos ou doados a canteiros ou depositados nos terrenos das empresas.

Figura 1 - Fluxograma de geração e destinação dos rejeitos de rochas ornamentais.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2000)

De acordo com NITES (1994), durante o desdobramento de blocos em chapas, há perdas de até 30% da rocha no processo de serragem, produzindo rejeito. A minimização na geração destes resíduos vem sendo feita com o uso de fio diamantado que corta a rocha com maior precisão e sem o uso do efluente abrasivo (FILGUEIRA, 2001).

2.3 Rejeito do desdobramento de rochas ornamentais (lama abrasiva)

No processo de beneficiamento de rochas ornamentais é gerado grande volume de resíduos. Na transformação do bloco em chapas são produzidas elevadas quantidades de rejeitos. O rejeito é constituído, basicamente, de finos (pó) originados durante o corte da rocha e água, podendo ter outros contaminantes como ferro e cal. O efluente gerado em teares convencionais é a chamada lama abrasiva, que contém alto teor de ferro, devido ao uso da granalha de ferro ou aço, usada na serragem dos blocos de granito (SOUSA E RODRIGUES, 2002; CAMPOS et al., 2009).

Algumas serrarias de granitos já possuem estação de tratamento de efluentes, composta basicamente por decantação, que recebe o efluente com a lama abrasiva para decantação com ou sem o auxílio de floculantes e depois os rejeitos decantados são levados para um filtro-prensa, que reaproveita a água utilizada no processo, e descarta o restante da lama, que é transportada para tanques ou lagos de decantação. Parte do líquido presente na lama evapora ou se infiltra no solo, enquanto a outra parte permanece como umidade nos rejeitos acumulados, sem nenhuma previsão de utilização ou reuso (PREZOTTI, 2003).

O processo de infiltração da água e sua movimentação no perfil do solo ainda é um assunto desconhecido no caso dos efluentes de lama abrasiva, mas dentre as várias possibilidades, esses rejeitos podem alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrâneo (BABISK, 2009).

Os rejeitos na cadeia produtiva de rochas ornamentais são classificados, normalmente, por tamanho: grossos, finos e ultrafinos. Os rejeitos grossos são encontrados: nas pedreiras, nas serrarias e nas marmorarias. Os rejeitos finos e ultrafinos são formados por ocasião do corte da rocha e nas atividades de acabamento (polimento e outros) (CAMPOS et al., 2009).

Quanto a sua morfologia e estrutura, o resíduo apresenta-se basicamente com três fases distintas: branca, cinza claro e cinza escuro. A fase branca é caracterizada pela presença do elemento ferro (93%) e por outros elementos, como silício (5%), cálcio e alumínio em menor quantidade, esta fase constitui a fração metálica do resíduo e é constituída de partículas de morfologia irregular e superfícies arredondadas. A fase cinza claro é caracterizada como sendo constituída de outros componentes da mistura abrasiva (cal e resíduo da própria rocha, silício (40%)) possuem morfologia regular e cantos arredondados. A fase cinza escuro é caracterizada pela presença de elementos da própria rocha granítica, com a mesma morfologia da fase anterior (SILVA, 1998).

Segundo Santos et al. (2010) a lama abrasiva provoca impactos consideráveis ao meio ambiente, como: contaminação dos corpos hídricos, colmatação de solo férteis, poluição visual e estética. Além da lama abrasiva o setor de rochas ornamentais acarreta com a sua produção vários rejeitos, sendo eles: pó de rocha, vários fragmentos de rochas nas pedreiras e suas serrarias, vibrações e constantes ruídos.

Para ajudar a resolver problemas como esses, as operações de reciclagem e reutilização apresentam-se como ferramentas úteis, sendo consideradas operações

prioritárias no gerenciamento de resíduos sólidos, já que, na maioria dos casos, a redução da geração é tecnicamente ou economicamente inviável (BENQUERER,2000).

Os resíduos de serragem de rochas ornamentais, aparentemente sem valor industrial, podem ser utilizados como componente importante de massas argilosas na fabricação de produtos cerâmicos para uso na construção civil (FALCÃO, 2001).

Estes resíduos são atrativos para o aproveitamento cerâmico por serem constituídos de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O e CaO . Compostos estes constituintes das matérias-primas usadas na fabricação de produtos cerâmicos, acarretando assim, a diminuição do consumo de matérias-primas naturais, resultando em ganhos ambiental e econômico (MOREIRA et al., 2005).

3 METODOLOGIA

3.1 Levantamento de dados sobre o percentual de rejeitos gerados pelas indústrias de desdobramento de granitos do Estado da Paraíba

3.1.1 Pesquisa de campo

Inicialmente, foram feitas visitas *in loco* em duas indústrias de desdobramento de granitos localizadas no município de Campina Grande – PB, com aplicação de formulários padronizados do inventário dos resíduos sólidos industriais conforme Resolução 313/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para quantificação e elaboração de planilhas que irão mensurar os passivos ambientais gerados pelas indústrias inventariadas.

3.1.2 Inventário dos resíduos gerados

Para a execução do inventário foram realizadas as seguintes atividades:

- a) Pesagem/Medição dos Resíduos - a pesagem/medição dos resíduos faz referência à medição do passivo ambiental existente nas áreas físicas de cada indústria estudada. Estes dados foram fornecidos pelos funcionários, através de estimativas feitas pela logística das empresas, nas datas das visitas e pesagem dos resíduos acumulados.
- b) Passivo Ambiental: os passivos ambientais foram medidos em volume utilizando-se de trenas, quando necessário. Em casos onde não se foi possível medir o material, fez-se uso de estimativas. Para os estudos, foram escolhidos os seguintes passivos ambientais: cascalho, pedaços de blocos, pedra rachão, entulho e madeira; lama abrasiva; abrasivos usados; sucatas metálicas; baldes velhos, revestimento de fio elétrico, lâminas usadas dos teares, lâmpadas fluorescentes usadas e pneus.
- c) Pesagem dos Resíduos Acumulados: as indústrias propuseram-se a armazenar seus resíduos durante o período de um mês, no entanto, alguns dados foram fornecidos por funcionários que desempenham controle dos resíduos gerados pela própria indústria. Os resíduos não orgânicos foram armazenados durante o mês de novembro de 2017.

Para a pesagem dos resíduos foi utilizada uma balança mecânica da marca FILIZOLA, com capacidade de 200 Kg, onde foram pesados os seguintes materiais: papel/papelão, plásticos, madeiras, sucatas metálicas, lâminas usadas, resíduos Classe I (óleo diesel, embalagens, pastilhas de abrasivos desgastadas), cacos e casqueiros, pedra rachão e solo-cimento (material de assentamento dos blocos nos carrinhos de transporte dos teares).

3.2 Caracterização das propriedades química, físicas e mineralógicas dos rejeitos provenientes do desdobramento de granitos

3.2.1 Coleta e preparação da amostra

Para a realização da coleta das amostras dos resíduos de rochas ornamentais (RRO) de lama abrasiva foram realizadas visitas técnicas em duas empresas situadas no município de Campina Grande – PB. A lama abrasiva que se forma no desdobramento dos blocos, em forma de polpa, após passar pelo filtro prensa da estação de tratamento de efluente – ETE da empresa foi exposta ao ar em temperatura ambiente para secagem natural durante 7 dias. Recolheram-se amostras do resíduo conforme a NBR10007/2004 - Amostragem de resíduos sólidos.

Após recolhidos, os resíduos sólidos sofreram pulverização com a utilização de almofariz e pistilo, tendo posterior peneiramento em malha #200 por 2 minutos, método utilizado para estabelecer uma padronização entre as amostras. Todas as análises foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Tecnologia Química (LETEQ) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

3.2.2 Fluorescência de raios X

A caracterização através da fluorescência de raios X foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande-PB (UFCG) em equipamento Shimadzu (EDX 720), com 10 g da amostra, previamente padronizada, para determinação dos elementos presentes através da aplicação de raios X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes emitidos, a geração de raios X é feita por meio de um tubo com alvo de Rh.

3.2.3 Determinação do pH

Para a medição do pH das amostras padronizadas foi-se utilizado o método de solubilização segundo ABNT NBR 10006/2004. Nesta análise, 20 g da amostra, previamente seca, foram pesadas e adicionadas em um béquer de 200 mL, contendo 100 mL de água destilada, com o auxílio de um agitador mecânico a amostra foi homogeneizada, em baixa rotação, durante 5 minutos. A solução foi-se então coberta e deixada em repouso por sete dias em temperatura ambiente. Passando-se o tempo, filtrou-se utilizando de um filtro a vácuo com a coleta do extrato solubilizado, o pH foi-se então medido através de um pHmetro convencional, previamente calibrado.

3.2.4 Teor de umidade (CEMP 105)

O teor de umidade foi-se determinado utilizando do resíduo de rochas ornamentais (RRO) em seu estado de coleta e em conformidade com os requisitos da norma CEMP 105. Foram-se pesadas 10 g da amostra em vidro de relógio, com auxílio de uma balança analítica, sendo levadas para a estufa, com temperatura de 120 °C, durante vinte e quatro (24) horas. Após o tempo, a amostra foi transferida para o dessecador, onde ficou em repouso durante 30 minutos. Logo em seguida, foi-se pesado o sistema vidro de relógio contendo a amostra seca, tendo seu teor de umidade calculado através da equação (1).

$$\% U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

Onde: U (%) = Teor de umidade; Mu (g) = Massa úmida; Ms (g) = Massa seca.

3.2.5 Densidade aparente

Nesta análise, foi-se utilizada uma balança analítica de precisão, onde zerou-se o peso de uma proveta graduada de 50 mL vazia. Adicionou-se cuidadosamente na proveta cerca de 25 mL da amostra padronizada, batendo-se três vezes a proveta contra uma superfície dura e plana, em intervalos de 2 segundos entre as batidas. Após este

método, foi-se realizada a leitura do volume obtido, assim, pesou-se a proveta cheia e subtraiu-se o valor obtido pelo peso da proveta, obtendo o resultado correspondente à massa da amostra. Com a massa da amostra em gramas (g) e o volume aparente em mililitros (mL) realizou-se os cálculos utilizando a equação (2) e a conversão para kg/m^3 foi feita multiplicando o valor por 1000.

$$D_{ap} = \frac{m}{V_{ap}} \quad (2)$$

Onde: D_{ap} (g/mL) = Densidade aparente; m (g) = Massa da amostra; V_{ap} (mL) = Volume aparente.

3.2.6 Densidade absoluta

Adaptando a metodologia de Silva (2007), pesou-se um picnômetro vazio, enchendo-o com água destilada até transbordar, secando a água presente na superfície externa do picnômetro, sendo realizada uma segunda pesagem, com o auxílio de uma balança semi-analítica. Após a retirada e secagem do picnômetro que estava com água, foi-se adicionada a amostra padronizada, preenchendo o máximo permitido, sendo feita uma terceira pesagem. Com os valores das três pesagens, foram-se feitos cálculos utilizando-se da equação (3).

$$D = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \quad (3)$$

Onde: D = Densidade absoluta; m_1 (g) = Massa do picnômetro vazio; m_2 (g) = Massa do picnômetro com a amostra; m_3 (g) = Massa do picnômetro com água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Levantamento de dados sobre o percentual de rejeitos gerados pelas indústrias de desdobramento de granitos do Estado da Paraíba

Com base nas visitas *in loco*, feitas nas indústrias de desdobramento de granito do Estado da Paraíba, situadas no município de Campina Grande – PB, foi-se possível identificar e mensurar a quantidade de passivo ambiental produzido, através do acompanhamento no registro operacional e processos produtivos das indústrias.

A Tabela 1 apresenta os principais resíduos gerados nas indústrias de beneficiamento de granito do Estado da Paraíba com estimativa durante o período de janeiro a dezembro de 2017, aplicando-se o formulário padronizado pela Resolução 313/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Tabela 1 - Quantificação dos principais resíduos das indústrias inventariadas no ano de 2017 conforme a Resolução N° 313/2002 do CONAMA.

Código	Tipo de resíduos	Média Anual Estimada	Destinação Final
A001	Resíduos gerados fora do processo industrial (escritório, embalagens, etc.)	Não mensurado	Coleta municipal
A003	Resíduo de varrição de fábrica	Não mensurado	Coleta municipal
A004	Sucata de metais ferrosos	5,5 t	Venda
A104	Embalagens metálicas (latas vazias)	91 uni	Coleta municipal
A204	Tambores metálicos	8 uni	Venda
A006	Resíduo de papelão e papel	430 kg	Venda
A009	Resíduo de madeira contendo substâncias não tóxicas	Não mensurado	Doação
A011	Resíduos de minerais não-metálicos (lama abrasiva)	7730 t	Armazenamento em terreno próprio

Fonte: Setor de produção das empresas inventariadas (2017)

Através das visitas nas empresas, observou-se que a lama abrasiva é disposta de forma dispersa e inadequada dentro da área da empresa. Como apresentado na Tabela 1

anualmente há uma geração de 7730 toneladas do passivo ambiental, que não pode ser descartado no meio ambiente. Assim, deve-se conhecer quais são as características desse resíduo para, possivelmente, o destiná-lo para alguma forma de reutilização adequada.

4.2 Caracterização das propriedades química, físicas e mineralógicas dos rejeitos provenientes do desdobramento de granitos

Os resultados apresentados a seguir são frutos de análises feitas em triplicata sendo mostrados como forma de média aritmética nas tabelas.

4.2.1 Fluorescência de raios X

Os dados descritos na Tabela 2 apresentam os principais analitos encontrados na amostra de lama abrasiva.

Tabela 2 - Composição química por fluorescência de raios X da amostra de lama abrasiva.

Analito	Composição (%)
SiO₂	63.033
Al₂O₃	16.967
Fe₂O₃	6.147
K₂O	5.999
CaO	3.125
Na₂O	2.611
MgO	0.807
TiO₂	0.712
P₂O₅	0.379
MnO	0.091
ZrO₂	0.063
SrO	0.038
Rb₂O	0.014

Fonte: Própria (2018)

Pode-se concluir que o resíduo é constituído, principalmente, por dióxido de silício (SiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3), totalizando cerca de 80% dos analitos presentes na amostra. Estes valores são decorrentes da natureza e composição da rocha ornamental, que consta com a presença de quartzo (SiO_2), granada $[(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca})_3(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr})_2(\text{SiO}_4)_3]$, microclina $[\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$, albita $[\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$, dentre outros. A quantidade de óxido de ferro presente pode ser explicada pela utilização de granalha de ferro durante a etapa de corte da rocha. Já os demais analitos, possuem origem da natureza biotita da rocha estudada.

4.2.2 Determinação das propriedades químicas e físico-químicas

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises de pH, umidade, densidade aparente e densidade absoluta.

Tabela 3 – Determinação das propriedades químicas e físico-químicas da amostra de lama abrasiva.

Parâmetro	Resultado
pH	9,34
Umidade (%)	6,50
Densidade aparente (kg/m^3)	1179,70
Densidade absoluta	3,57

Fonte: Própria (2018)

De acordo com os resultados obtidos, vê-se uma tendência dos resíduos de rocha ornamental (RRO) ao caráter alcalino, devido a composição química da amostra analisada e adição de cal durante o processo de desdobramento da rocha. Em relação a análise de umidade, observa-se um valor expressivo, confirmando a presença de água que permanece como umidade nos rejeitos acumulados após o descarte. Vale acentuar que este valor de umidade tende a decair com o passar dos dias de exposição, causando desprendimento de rejeitos finos e ultrafinos, com baixa granulometria, que podem causar prejuízos à saúde.

Quando em solução aquosa, as amostras de lama abrasiva analisadas tendem a decantar naturalmente, resultado confirmado através das análises de densidade.

5 CONCLUSÃO

Conforme o estudo, identificação e avaliação dos rejeitos proveniente do desdobramento de granito do Estado da Paraíba, pode-se concluir:

- Mediante a mensuração dos dados, observou-se que cerca de 7730 toneladas de resíduos de minerais não metálicos (lama abrasiva) são geradas anualmente pelas indústrias de beneficiamento de rocha ornamental, sendo descartados em terrenos próprios das empresas, com a geração de custos e provocando impactos ambientais.
- Com a análise química do resíduo de rocha ornamental (RRO), pode-se classificar a amostra como sílica-aluminosa somando cerca de 80% de SiO_2 + Al_2O_3 , ao qual a quantidade de alumina foi superior ao valor máximo permitido (14-16%).
- A análise de pH demonstrou um caráter alcalino, como esperado, devido à natureza da rocha e adição de aditivos químicos como a cal, durante o estágio de corte da rocha ornamental. A umidade mostrou que nem toda água do beneficiamento de rochas ornamentais evapora-se ou infiltra-se no solo após o descarte do resíduo.
- Finalmente, obteve-se sucesso no que se diz respeito a caracterização da lama abrasiva, porém melhorias precisam ser feitas quanto aos ensaios e ambiente mais adequado para a realização dos testes, assim viabilizando resultados mais conclusivos sobre o RRO.

REFERÊNCIAS

ABREU, U.A., RUIZ, M.S., CARUSO, L.G Perfil 7 - **Rochas dimensionadas e aparelhadas**. In: RUIZ, M.S., NEVES, M.R. (Coord.). Mercado produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo: I.P.T., 1990. p.137 – 151.

ALGRANTI, E.; HANDAR, Z.; RIBEIRO, F.S.N.; BOM, A.M.T.; SANTOS, A.M. BEDRIKOW, B. **Exposición a Sílice y Silicosis em Brasil (PNES)**. Ciência do Trabalho. 2004. p.1-13.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006 – 2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007 – 2004 - Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO E AÇO. **CEMP-105: Materiais para fundição**.: [S.l. : s.n.], 1983. 2. Número de Chamada: N CEMP 105 1997. CEMP-105: materiais para fundição: determinação do teor de umidade; método de ensaio – NORMA.

BABISK, Michelle P.. **Desenvolvimento de Vidros Sodo-Cálcicos A Partir de Resíduos de Rochas Ornamentais**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2009.

BENQUERER, R. A. **Gerenciamento de resíduos sólidos em siderúrgicas integradas a coque**. 2000. 225f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Belo Horizonte. 2000.

BEZERRA, M. S. (Coord.). **Plano de Desenvolvimento Preliminar (PDP): Arranjo Produtivo Local de minerais de pegmatito do Rio Grande do Norte e Paraíba**. Fundo Setorial CT Mineral, fev. 2009.

CAMPOS, A. R. de; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.; BORLINI, M. C.. **Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental**. Anais: CETEM 2009 – XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste & VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza-CE, 2009.

CHIODI FILHO, C. **Situação do setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil – mercados interno e externo**. IN: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5. Anais... Recife: Deminas, DAU, PPGE Minas, SBG, SINDIPEDRAS, 2005. p.28.

CONAMA. Resolução nº 313, de 29 de Outubro de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; “**Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industrial**”; publicada no Diário Oficial da União em 22/11/2002; Brasília, Distrito Federal.

FILGUEIRA, M., **Tese de Doutorado**, Universidade Estadual do Norte Fluminense, PPGECM-CCT, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2001.

GIACONI, W.J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)** - Dissertação de Mestrado na Área de Administração e Políticas de Recursos Minerais. Campinas, SP, 1998. p.85.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito, como adição, em concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000. p.135.

I. P. FALCÃO, A. S. JÚNIOR, Anais das Jornadas Ibero-americana de Materiais de Construção, Madri, Espanha. 2001. p. 1-9.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. **Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica. Ed. 51. 2005. p.180-186.

NITES - Núcleo Regional de Informações Tecnológicas do Espírito Santo. **Rochas de qualidade, desperdício na indústria de mármore e granito**. Ed. 118. 1994.

PEITER, C.C. **Rochas Ornamentais no Século XXI: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: Ed. CETEM/ABIROCHAS. 2001. p.160.

PREZOTTI, J. C. S. et al. **Resultados de monitoramentos de estações de tratamento de efluentes líquidos de indústrias de beneficiamento de mármore e granito, implantadas no município de Cachoeiro de Itapemirim**. In: Sesma – Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, FAESA, 5. Vitória, 2003.

PREZOTTI, J. C. S. et al. **Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: **I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais**. Guarapari, ES. 2004.

SANTOS, J. G.; SILVA, S. S. F. da; NASCIMENTO, N. M. da S.; TRAJANO, M. F.; MELLO, V. S. e. **Caracterização da Lama Abrasiva Gerada Nos Processos de Beneficiamento do Granito: Um Estudo de Caso Na GranFuji Localizado em Campina Grande-PB**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos-SP, 2010.

SETDE - Secretaria de Turismo e Desenvolvimento Econômico do Estado da Paraíba. **Governança do APL de Pegmatitos PB/RN**. In: Conferência Brasileira de Arranjos Produtivos Locais, Campina Grande. 2011. p.5.

SILVA, F. A. N. G. **Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema – Seridó.** 2007. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

SILVA, S.A.C. **Caracterização de Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo Potencial de Aplicação na fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento.** Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Vitória – ES. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. 1998. p.159.

SOUSA, A. A. P. & RODRIGUES, R., **Consumo dos Principais Insumos no Desdobramento de granitos do Nordeste, de Diferentes Grau de Dureza.** In: III Simpósio de Rochas Ornamentais. 2002, Recife-PE. Anais. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério das Ciências e Tecnologia. Recife/PE, 2002. p.171-178.

SOUTO, K. M.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., SILVA, M. C., Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, Santa Catarina. 2001. p.701-712.

VIEIRA Júnior. **Proposta de recuperação de granalha não ativada no desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas.** 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia De Minas, UFRGS, Porto Alegre, 2001.