

## **APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS FINOS DAS SERRARIAS DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA/RJ**

*Eduardo Augusto de Carvalho<sup>1</sup>, Antônio Rodrigues de Campos<sup>1</sup>, Carlos César Peiter<sup>1</sup> e José Carlos da Rocha<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral – Av. Ipê 900, Cid. Universitária . Ilha do Fundão. Rio de Janeiro.RJ.  
ecarvalho@cetem.gov.br; acampos@cetem.gov.br; cpeiter@cetem.gov.br;

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnologia – Av. Venezuela, 82 . Santo Cristo. Rio de Janeiro. RJ.  
[techmat@techmat.com.br](mailto:techmat@techmat.com.br)

### **RESUMO**

A extração de rochas ornamentais em Santo Antônio de Pádua, RJ, teve o seu início nos primeiros anos da década de 50. A produção cresceu substancialmente nos últimos dez anos, quando as rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua passaram a ser utilizadas principalmente nos revestimentos de paredes e pisos, contrastando com o uso inicial de piso de currais. Em Santo Antônio de Pádua são comercializadas dois tipos de rochas: a pedra paduana (também chamada de miracema) e a pedra madeira.

O grande volume de perdas na lavra e no beneficiamento dessas rochas, estimado em cerca de 80% do extraído, vem ocasionado graves problemas ambientais na região. Um destes problemas é o lançamento no Rio Pomba e seus afluentes dos finos de serragem provenientes do corte das rochas em serras de disco diamantado. Após o tratamento do efluente das serrarias é gerado um resíduo sólido, que após uma etapa de secagem e desagregação pode ser utilizado na formulação de argamassas, em cerâmica vermelha e na formulação de borrachas.

O presente trabalho dará ênfase no estudo de alternativas tecnológicas para aproveitamento desses resíduos finos. Os melhores resultados foram obtidos na formulação de argamassas comum e colantes. As propriedades alcançadas pela argamassa gerada com os finos das serrarias de Santo Antônio de Pádua, nos estudos realizados até o momento, são no mínimo idênticas às das argamassas produzidas pelos fabricantes líderes desse segmento no mercado. A utilização dos finos dos resíduos do corte das rochas de Santo Antônio de Pádua na formulação de argamassas colantes e comum, além de mitigar o impacto ambiental, proporcionará um aumento do número de empregos na região, cuja economia hoje está bastante centrada na exploração, beneficiamento e comercialização das rochas ornamentais.

### **INTRODUÇÃO**

Localizada a cerca de 300 quilômetros da cidade do Rio de Janeiro, Santo Antônio de Pádua apresenta uma população de 39.000 habitantes e um Produto Interno Bruto em torno de R\$ 4.360,00. Sua economia está centrada na indústria de papel, na oleicultura e, principalmente, na indústria de rochas

ornamentais. O número de empregos diretos no setor está estimado em torno de 2.000, em empresas registradas. Na economia informal desse setor estima-se mais 4.000 empregos diretos em empresas que não se encontram legalizadas (Villaschi et al., 2000).

A extração de rochas ornamentais na região de Santo Antônio de Pádua começou a crescer a partir de 1980, com o início da utilização dessas rochas na construção civil. A rocha existente na região é classificada geologicamente como um milonito gnaise, sendo oriundo de um metamorfismo de rochas ígneas à semelhança dos gnaisses. A rocha apresenta variedades localmente conhecidas comercialmente como pedra madeira, olho de pombo, pinta rosa e granito fino. As três últimas variedades são comercializadas como pedra “paduana” e apresenta uma cor cinza. Esse tipo de material é o mais abundante na região, sendo utilizada no revestimento de paredes, muros, pisos, paralelepípedos e brita para construção civil. A pedra “madeira” apresenta como cores predominantes o rosa, o amarelo e o branco, sendo também utilizada no revestimento de paredes, muros e pisos.

O beneficiamento é feito manualmente e de maneira bastante rudimentar, com a presença de pouquíssimos especialistas. Nas serrarias, as lajes são serradas e abertas em lajotas de 47 x 47 x 4 cm (Figura 1), sendo em seguida desdobrada em lajinhas de 23 x 23 x 1,5 cm e 11,5 x 11,5 x 1,5 cm e bloquinhos de 23 x 11,5 x 4 cm. As perdas nas pedreiras e serraria da região são estimadas em torno de 80%, ocasionando profundos problemas ambientais, como acúmulo de rejeitos próximos a lavra e as serrarias, poluição sonora além da contaminação do Rio Pomba e seus afluentes com finos de serraria (resíduos sólidos) provenientes do corte das serras.

Recentemente, com a instalação de 46 unidades de tratamento de efluentes (Figura 2) nas serrarias de Santo Antônio de Pádua provocou uma forte redução da contaminação do Rio Pomba e seus afluentes. As 46 serrarias que apresentam unidades de tratamento de efluentes apresentam um total de 138 unidades operacionais de serras, gerando cerca de 720 t/mês de produto fino. Cerca de 95% da água presente nos efluentes das serrarias passou a ser reciclada, enquanto o resíduo sólido é removido dos tanques de decantação, através do uso de bombas auto-escovante, até uma área próxima aos tanques onde é realizado a pré-secagem do mesmo. O resíduo sólido após um período de secagem de cerca de 15 dias, apresenta cerca de 40% de

umidade. Devido a falta de locais adequados para o depósito desse resíduo sólido, o mesmo passou a ser um novo problema.



**FIGURA 1 –** Transformação da laje da rocha ornamental de Santo Antônio de Pádua em lajotas de 47 x 47 x 4 cm.



**FIGURA 2 –** Ao fundo, Unidade de tratamento de resíduos em serraria de Santo Antônio de Pádua. Na parte inferior da Figura, observa-se a pré-secagem do resíduo sólido, após a remoção do mesmo dos tanques de sedimentação.

#### **Características do resíduo sólido dos efluentes das serrarias**

Segundo Rocha (1999) O resíduo sólido é constituído basicamente de partículas com tamanho inferior a 100  $\mu\text{m}$ , apresentando um  $d_{50}$  (tamanho, no qual 50% das partículas são passantes) em torno de 26  $\mu\text{m}$ . Os resíduos oriundos do corte da pedra miracema apresenta composição de fases sempre com a presença de mica (biotita, moscovita), o que confere a cor escura a sua textura, sendo o seu feldspato do tipo plagioclásio (silicato alumínio, sódio e cálcio ou alumínio-sódio ou alumínio-cálcio), ao passo que a mesma não é observada nos resíduos da pedra madeira, sendo constituída de feldspato pagioclásio e feldspato K (microclina).

O resíduo apresenta uma densidade aparente de 1,43  $\text{g/cm}^3$ . A Tabela 1 apresenta a composição química típica tanto do resíduo oriundo do corte da pedra “paduana”, quanto da pedra miracema. Os teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se mostram maiores na pedra madeira, enquanto os teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são relativamente menores. As diferenças explicam a diferença de resistência a abrasão entre as duas rochas ornamentais (Tabela 2).

**TABELA 1 –** Composição química típica dos resíduos oriundos do corte da pedra “paduana” quanto da pedra madeira, de Santo Antônio de Pádua.

Elementos	Pedra “paduana” (%)	Pedra madeira (%)
$\text{SiO}_2$	70-75	70-75
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10-20	10-20
$\text{K}_2\text{O}$	1-10	1-10
$\text{Na}_2\text{O}$	1-10	1-10
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,1-5	1-10
$\text{CaO}$	0,1-5	1-10

**TABELA 2 –** Resistência ao desgaste Amsler das rochas de pedra madeira e pedra “paduana”.

Amostra	Resistência à abrasão (D500m / D1000m)
Pedra madeira	0,43 mm / 0,94 mm
Pedra “paduana”	1,20 mm / 2,2 mm

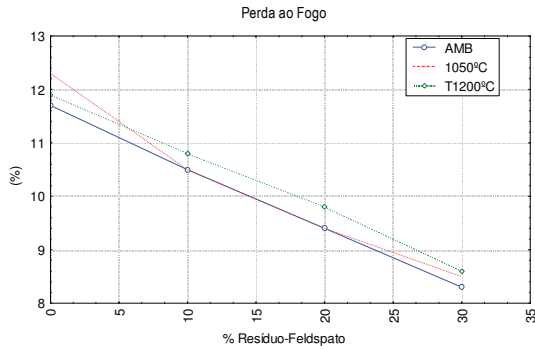
#### **Aproveitamento dos resíduos sólidos dos efluentes das serrarias de Santo Antônio de Pádua**

O resíduo sólido, principalmente da pedra “paduana”, vem sendo utilizado na formulação de tijolos para fins estruturais e de bloquetes para calçamento de ruas e calçadas. Até o momento, essa é a única alternativa tecnológica para os resíduos sólidos, mas de impacto limitado, já que a produção de tais produtos em Santo Antônio de Pádua é bastante reduzida. Nessas formulações, a quantidade de resíduos é bastante reduzida, já que um uso maior desse implicaria em um uso maior de cimento na composição, para a correção do fator água-cimento, elevando dessa forma o custo do produto.

Um estudo recente realizado pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), para o projeto RETECMIN-RJ, avaliou novas alternativas tecnológicas para a utilização desses resíduos, além daquela já mencionada anteriormente. Foram verificadas a utilização dos mesmos na formulação de argamassas, na fabricação de cerâmica vermelha e na formulação de borracha.

Na fabricação da cerâmica vermelha, os resíduos sólidos do corte da pedra paduana podem substituir a argila “magra” utilizada nessa formulação. Foram realizados ensaios com uma

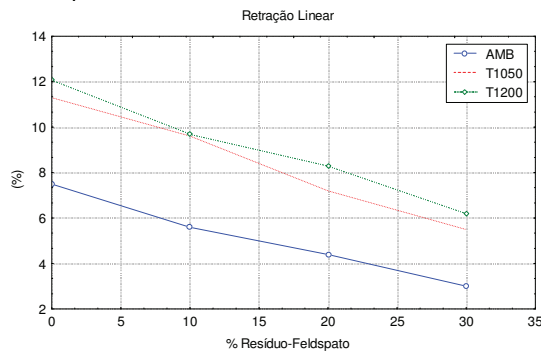
argila de Rio Bonito, município próximo a Niterói, RJ, utilizando 10%, 20% e 30% de uma mistura do resíduo sólido com feldspato, sendo realizada a queima dos tijolos produzidos em temperatura de 1050°C e 1200°C. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados de perda ao fogo, de retração linear e de absorção de água para diferentes teores da mistura do resíduo sólido com feldspato na formulação da cerâmica vermelha em diferentes temperaturas de queima.



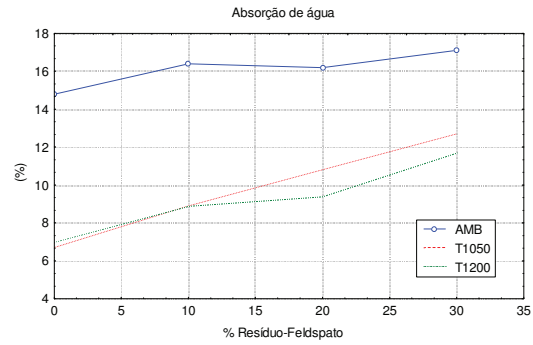
**FIGURA 3 – Perda ao fogo das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.**

A adição dos finos de serraria permitiu a redução de cerca de 25% da perda ao fogo da cerâmica vermelha, além de diminuir a retração linear da mesma. Essa menor retração linear pode ser explicada pela redução do teor dos óxidos fundentes da mistura.

A utilização dos resíduos como carga em formulações de borracha foi avaliada comparativamente a outras cargas normalmente utilizadas. Verificou-se a possibilidade do uso do resíduo em até 40% em volume nas formulações elastoméricas. No entanto, a utilização do resíduo provocou uma forte redução da resistência a tração da borracha (Tabela 3). Essa redução pode ser explicada pelo problema de acoplamento entre a cadeia polimérica e o resíduo.



**FIGURA 4 – Retração linear das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.**

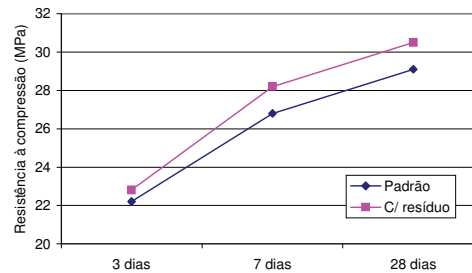


**FIGURA 5 – Absorção de água das misturas para a fabricação da cerâmica vermelha, com diferentes temperaturas de queima, onde houve substituição da argila “magra” por uma mistura resíduo-feldspato.**

A aplicação dos resíduos na formulação da argamassa industrial substituindo o calcário, matéria-prima normalmente utilizada nas formulações, apresentou excelentes resultados (Figura 6). A resistência à compressão da argamassa produzida com os resíduos do corte das serrarias após o terceiro dia de cura foi cerca de 2% superior a da argamassa existente no mercado. Após o sétimo dia e também após o vigésimo oitavo dia, a resistência à compressão foi cerca de 5% superior a argamassa de mercado.

**TABELA 3 – Valores de resistência à tração de diferentes formulações elastoméricas.**

Composição	Resistência à tração (MPa)
40% de negro de fumo	30
40% de caulim	5
40% de resíduos do corte de serrarias	3



**FIGURA 6 – Resistência à compressão da argamassa padrão e da argamassa produzida com os resíduos do corte das rochas ornamentais produzidas em Santo Antônio de Pádua.**

Em um ensaio realizado por um fabricante de argamassas industriais, a argamassa produzida com os finos de serraria foi aplicada em um tijolo cerâmico comum, sem chapisco, seco e escovado. Para aplicar a argamassa foi adicionado cerca de 14,3% de água, sendo que a mistura final apresentou boa trabalhabilidade e aderência à fresco e facilidade de corte na régua. A massa foi sarrafeada após 15 minutos da aplicação, sendo que após 15 minutos foi realizado o desempenho e, com mais 15 minutos, a massa foi queimada com desempenadeira de aço. Após esses procedimentos, pode-se verificar o bom acabamento (Emboço Paulista) obtido com a argamassa. Observou-se que o restante da massa, mesmo após 30 minutos da aplicação, apresentava boa plasticidade, facilitando o espalhamento. Por ser entregue ainda úmido ao fabricante e também por apresentar uma grande quantidade de partículas aglomeradas, os resultados dos ensaios de verificação da quantidade de ar incorporado (11,7%) e o de resistência à aderência, após 28 dias de cura (0,23 MPa) podem ter sido comprometidos. A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios com a argamassa produzida com os finos das Serrarias de Santo Antônio de Pádua, realizados pelo fabricante de argamassas industriais.

**TABELA 4 – Propriedades obtidas na argamassa produzida com os resíduos finos do corte de rochas de Santo Antônio de Pádua, em uma fabricante de argamassa industrial.**

Propriedade	Valor
Retenção de água	90,3 %
Consistência	254 mm
Densidade	2,017 g / cm <sup>3</sup>
Ar incorporado	11,7%
Resistência de aderência à tração 07 dias	0,20 Mpa
8 dias	0,23 MPa

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos tanto nos estudos realizados pelo Instituto Nacional de Tecnologia quanto por um fabricante de argamassa industrial pode-se observar que os resíduos do corte das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua podem ser aproveitados como matéria-prima para a fabricação de argamassa industrial. No entanto, serão necessários alguns ajustes das propriedades do produto, como por exemplo controle de granulometria (apenas 5% das partículas com tamanho superior a 74 µm) e da umidade (inferior a 1% de água presente na amostra) para que a resistência a aderência após 28 dias (superior a 0,3 MPa) e a quantidade de ar incorporado ao produto apresentem melhores resultados.

A utilização dos resíduos em formulações elastoméricas provocou uma forte redução da resistência a tração da borracha, devido a dificuldades no acoplamento entre a cadeia polimérica e o resíduo.

Outra aplicação dos resíduos com bom resultado foi na fabricação da cerâmica vermelha, substituindo a argila “magra”. A adição dos resíduos ocasionou uma redução de cerca de 25% da perda ao fogo, além da diminuição da retração linear da cerâmica vermelha.

O presente estudo visualizou duas novas alternativas para consumo dos finos gerados durante o corte das rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua, reduzindo dessa forma o impacto ambiental provocado por esses e permitindo a criação de novas frentes de emprego para a região. Além da utilização na fabricação de tijolos estruturais e bloquetes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Villaschi Filho, A.; Pinto, M.M. Arranjos Produtivos e Inovação Localizada: o caso do segmento de rochas ornamentais do noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Final para o Contrato BNDES/FINEP/FUJB – Arranjos e Sistemas Produtivos Locais e Novas Políticas de Desenvolvimento Industrial e Tecnológico, Instituto de Economia da UFRJ, dezembro, 2000.

Rocha, J.C. Apoio ao Setor Produtivo de Pedras Ornamentais de Santo Antônio de Pádua. Relatório Parcial 02 para a REDE RECOPE/RETECMIN, julho, 1999.

## APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE ROCHA ORNAMENTAL

José Lins Rolim Filho<sup>1\*</sup>, Márcio Luiz de S. C. Barros<sup>2\*</sup>, Júlio César de Souza<sup>1\*</sup>, Ana Isoíla C. F. Fonseca<sup>3\*</sup>, Kílma C. B. da Cunha<sup>3\*</sup>, Antônio C. S. dos Santos<sup>3\*</sup> e Gustavo Alexandre Silva<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Dr., Prof. DEMINAS/UFPE

<sup>2</sup>M. Sc., Prof. DEMINAS/UFPE

<sup>3</sup>Bolsista/PIBIC, Graduanda, DEMINAS/UFPE

\*Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – CEP 50.670-901 – Recife – PE

Fone: (81) 3271-8245 / 3271-8246

E-mail: mlbarros@npd.ufpe.br; jcsouza@npd.ufpe.br

### RESUMO

O trabalho realizado constitui em levantar formas de reaproveitar os resíduos de marmoraria e de serrarias, associado a rejeitos em geral da indústria mineral, principalmente aqueles que apresentam granulometria apropriada e minerais que mostrem iridiscência.

O trabalho em si constitui-se em associar um aglomerante resinoso e transparente de baixo custo com resíduos de rocha ornamental e rejeitos de mineração de caulim.

A resina associada com os resíduos minerais apresenta uma boa iridiscência o que salientou a estética e qualidade do material elaborado. Como a resina epóxi apresenta um custo relativamente alto a sua finalidade é apenas para servir de suporte, agente aglomerante e transparente para a placa formada.

A espessura que mostrou os melhores resultados em termos de beleza estética e resistência mecânica, sem interferir na qualidade da matéria e custo excessivo de produção foi de 7 mm.

Posteriormente a forma foi complementada com aglomerante de maior resistência e baixo custo de aquisição de forma a não permitir flexão, nem ruptura na placa então formada. No que se refere a qualidade estética das placas obtidas, estima-se grande possibilidade de uso como material de decoração de interiores como por exemplo no acabamento de móveis e confecção de tampos de mesa, etc.

### INTRODUÇÃO

Na indústria mineral são gerados diversos tipos de rejeito sólido em várias faixas granulométricas e em grande quantidade, com amplas possibilidades de serem aproveitados na confecção de objetos de decoração na indústria de construção civil.

Estes rejeitos quando relacionados apresentam características estéticas adequadas e

que mostram padrões de beleza capazes de serem aceitos pelos consumidores, no caso obras de decoração e mesmo obras industriais, como placas de revestimento, tampos de mesas, etc.

Com tal pensamento e associado ainda a redução dos danos ambientais, pois todo o material utilizado é material rejeitado no processo de fabricação de mesas e placas de rochas ornamentais, e de outras indústrias minerais do Nordeste, fez com que o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco (DEMINAS/UFPE), dentro da disciplina Empreendedorismo, através de seus professores e alunos, partisse para experimentos com tais substâncias.

A princípio foram utilizados para ensaios os rejeitos resultante de indústria de beneficiamento do caulim, serrarias e marmorarias das indústrias do setor de rochas para fins ornamentais.

### REJEITO DE CAULIM

Foram analisados os rejeitos de caulim, seus componentes básicos, e granulometrias, ficando descartado parcialmente o material mais fino, abaixo de 20 mesh (ABNT), para posterior aproveitamento em outros experimentos.

Do rejeito grosseiro com elevado teor de mica (muscovita), foi associado a este, incluindo-se aí os grãos de minerais opacos (quartzo e feldspatos), um aglomerante transparente e obtendo-se assim placas com efeito de grande iridiscência (minerais que apresentam uma série de cores espectrais em seu interior ou sobre uma superfície), e beleza ornamental, Figura 01.



**FIGURA 01 – Placas de resina com associação de rejeitos de caulim e outros resíduos minerais**

O procedimento de confecção de tais placas foi realizado segundo as seguintes medidas:

Sobre uma superfície plana e polida (vidro), foi montada um desmoldante pastoso de forma a não interferir na escultura (placa) formada. Em seguida foi adicionado sobre o molde uma resina de poliéster cristal até o ponto de início da pega (endurecimento), foi então adicionado sobre esta primeira camada, o material com a granulometria e coloração desejada (rejeito de caulim mais alguns minerais coloridos: vermelho; verde; azul, etc. e, posteriormente completado a forma com resina associada a fibras de vidro em forma de trama (colocadas umas sobre as outras de maneira transversal), para evitar assim a ruptura e ou a deformação da placa então formada desta forma.

Neste primeiro experimento foi obtido placas com excelentes qualidades tecnológicas, com resistência ao impacto de corpo duro de até 50 cm, para placas de 1 cm (um) de espessura. Tal placa quando retirada do seu molde e dado acabamento com polimento manual apresentou a mesma uma grande iridiscência, na muscovita e translucidez, isto demonstra uma grande beleza quando usado em tampos de móveis, Figura 02.



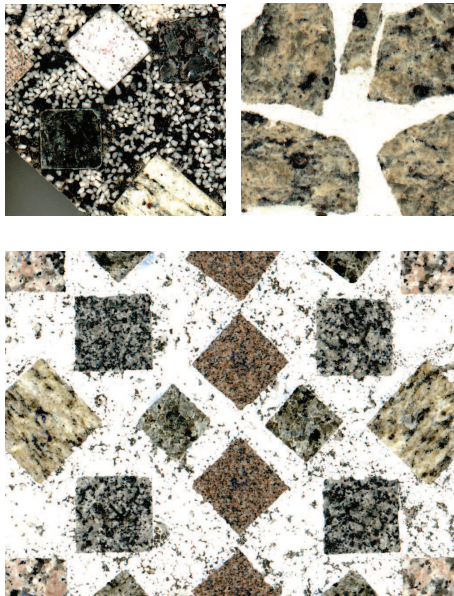
**FIGURA 02 - Placas de resina com associação de rejeitos de caulim e outros resíduos minerais**

A desvantagem de tal material reside na sua baixa dureza superficial, sendo facilmente riscável e um pouco inflamável, entretanto tais desvantagens, podem ser contornadas conforme a experiência seguinte na qual a resina foi utilizada sem o desmoldante ficando assim associada ao vidro de espessura de 1mm, conferindo a este um padrão de beleza, resistência de segurança na ruptura.

### **REJEITOS DE MARMORES**

Num segundo experimento foram utilizados resíduos de placas de indústria de marmoraria junto com aglomerantes nos mesmos moldes dos experimentos já descritos anteriormente. Entretanto neste caso a forma passou a ser preenchida com argamassa de cimento. Obteve-se placas com excelentes qualidades técnicas e um belo padrão de beleza.

No experimento aqui denominado de experimentos básicos para pisos, foi utilizado como aglomerante o cimento branco em película de 3 mm (três) e preenchido a forma com cimento convencional. Neste caso obteve-se placas para ornamentação em pisos e paredes com grande atrativo comercial, Figura 03.

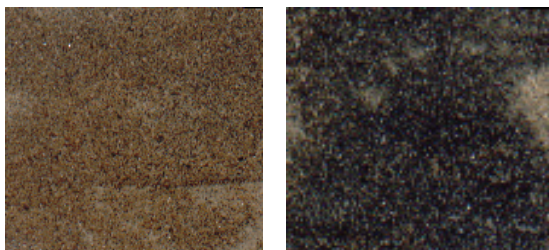


**FIGURA 03 – Ladrilhos de granito produzidos com cimento branco para confecção de piso**

#### **REJEITOS DE MINERAIS DE FERRO E GRANADAS**

Neste experimento, observando a dureza decorrente de alguns minerais em rejeito de mineração, foi ensaiado a fabricação de lixas para os mais devidos fins.

Neste experimento usou-se rejeito de granadas moídas e minerais de ferro, descartados dos processos de beneficiamento das indústrias. De tal experimento resultou numa lixa de alta qualidade principalmente no uso com madeiras, com boa aderência no filme aglomerante, provocando um menor desgaste na lixa, Figura 4.



**FIGURA 4 – Lixas confeccionadas com rejeitos de granada**

#### **REJEITO DE CAULIM**

Com o rejeito de caulim após lavados com escrubagem e depois secados foi possível a confecção de placas de fulget de excelente qualidade podendo ser associado a este material pigmento e ou mesmo minerais que apresentem fluorescência, o que resultam num excelente revestimento de paredes internas e ou externas, a pigmentação (minerais fluorescente), tem

perspectivas excelentes de mercado em obras de arte e em construção civil, como: boates, casas de show, e com uso de uma iluminação incidindo diretamente sobre o revestimento com luz ultra violeta, Figura 5.



**FIGURA 5 – Placas de fulget obtidas com rejeitos minerais diversos (vermiculita, granada, mármore e ferro)**

## **OUTROS ENSAIOS**

Outros experimentos que se pretende desenvolver está intimamente ligado aos rejeitos argilosos das minerações de gipsita do Araripe, tal trabalho em fase inicial de processamento tende a reconduzir tal aproveitamento em formação de pigmentos, cargas para tintas, papéis e vernizes.

## **CONCLUSÃO**

As dificuldades iniciais são enormes devido á vários fatores: inicialmente o projeto não conta com apoio financeiro de órgãos oficiais, e tampouco de apoio privado; toda a compra de material para a execução dos ensaios é fornecido pelos professores e alunos envolvidos no projeto; além da dificuldades iniciais de se trabalhar com resinas, colantes, vidro, papel, etc., pois isto se apresentou de uma maneira mais difícil do que o pensado no início do projeto, além de outras dificuldades inerentes ao projeto, mas que vão pouco a pouco sendo sanadas.

Do exposto, acima vimos, que as oportunidades de aproveitamento de rejeitos de várias minerações com diferentes minerais envolvidos, que hoje causam problemas ambientais. Os mesmos poderiam ser utilizados em vários produtos que podem ser comercial e economicamente explorados, gerando empregos em regiões carentes a contribuindo para diminuir os problemas ambientais que ocorrem no em torno das minerações.