



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ADRIANO OLIVEIRA DA SILVA**

**RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA PARA O  
DESENVOLVIMENTO DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2017**

**ADRIANO OLIVEIRA DA SILVA**

**RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA PARA O  
DESENVOLVIMENTO DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

**Área de concentração:** Meio Ambiente.

**Orientadora:** Profa. Dra. Djane de Fátima Oliveira.

**CAMPINA GRANDE - PB  
2017**

É expressamente proibida 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 da dissertação.

S586r Silva, Adriano Oliveira da.

Resíduos sólidos industriais [manuscrito] : uma fonte alternativa para o desenvolvimento de insumos para a construção civil / Adriano Oliveira da Silva. - 2017.

25 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação: Profa. Dra. Djane de Fátima Oliveira, Departamento de Química".

1. Resíduos sólidos industriais. 2. Rochas ornamentais. 3. Solo-cimento. 4. Tijolos ecológicos. I. Título.

21. ed. CDD 628.5

**ADRIANO OLIVEIRA DA SILVA**

**RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA PARA O  
DESENVOLVIMENTO DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

**Área de concentração:** Meio Ambiente.

Aprovada em: 03/08/2017.

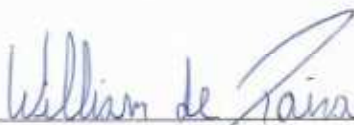
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Jane de Fátima Oliveira (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



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



Prof. Dr. William de Paiva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



A minha mãe, pela dedicação, companheirismo e amizade, **DEDICO**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu para tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A minha mãe *Maria Luciene Oliveira da Silva*, heroína que embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai José Oliveira da Silva, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

A minha irmã Leticia Oliveira da Silva, pelo apoio e incentivo.

A minha avó Maria de Lourdes, primos e tias pela contribuição valiosa.

À minha orientadora Profa. Dra. Djane de Fátima Oliveira pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação.

Aos professores do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UEPB, em especial a Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira, Prof. Dr. William de Paiva, Profa. Dra. Lígia Ribeiro, Prof. Dr. Fernando Fernandes, Profa. Dra. Neyliane Costa, Profa. Dra. Celeide Sabino e Prof. Dr. Rui de Oliveira, que contribuíram ao longo de mais de cinquenta meses, com os seus conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

A Banca Examinadora Prof. Dr. William de Paiva e Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa.

A esta Universidade Estadual da Paraíba, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, pela presteza e atendimento, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética, aqui presente.

Meus agradecimentos aos meus amigos Thiago Santos de Almeida Lopes, Isabella Vieira Santos e Camila Bonfim Miranda, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida sempre.

Aos colegas de classe e trabalho pelos momentos de amizade e apoio.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
2.1.1 <i>Resíduos de corte e serragem de mármore e granito</i> .....	10
2.1.2 <i>Solo-cimento</i> .....	11
2.1.3 <i>Impactos Ambientais</i> .....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4 RESULTADOS OBTIDOS .....	16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	22
ABSTRACT .....	23
REFERÊNCIAS .....	24



## RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA FONTE ALTERNATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Adriano Oliveira da Silva\*

### RESUMO

O grande potencial da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil e sua enorme geração de resíduos exige a constante necessidade de projetos de pesquisa que viabilizem o aproveitamento racional desses rejeitos na indústria da construção civil, uma vez que este setor sofre com elevados custos de produção devido à escassez de matéria prima. Em busca de melhorias na destinação adequada desses resíduos industriais, a pesquisa teve como objetivo estudar a potencialidade de insumos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais para a produção de uma mistura alternativa de solo-cimento para construções civis. Nesta atividade de pesquisa foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica dos resíduos das rochas e do solo, além da análise ambiental desses resíduos conforme as normas da ABNT. Com base nos resultados obtidos na pesquisa, chegou-se a conclusão de que a adição dos Resíduos de corte e serragem do Mármore e Granito possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento e Pisos intertravados ecológicos com qualidade e, o aproveitamento desses na fabricação de tijolos de solo-cimento pode configurar-se numa prática ecologicamente correta, podendo contribuir para reduzir o volume de material descartado na natureza, reduzir a exploração dos recursos naturais, e assim contribuindo para a preservação do meio ambiente.

**Palavras-Chave:** Resíduos de corte e serragem do Mármore e Granito. Tijolos ecológicos. Solo-cimento. Beneficiamento de rochas ornamentais.

### 1 INTRODUÇÃO

A indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais é uma das áreas promissoras de negócios no setor de mineração, apresentando nos últimos dez anos considerável crescimento na produção mundial. O grande crescimento populacional e o elevado déficit habitacional em todo o mundo fazem com que um dos maiores desafios para o século XXI seja a necessidade de se obter materiais de construção com baixo consumo de energia e capazes de satisfazer aos anseios de infraestrutura da população, sobretudo nos países em desenvolvimento (ANJOS et al., 2003).

Segundo Moura (2011) o segmento de rochas ornamentais é bastante significativo na economia brasileira. Abriga todas as atividades da cadeia produtiva principal: jazidas dos mais diferentes tipos de mármore e granitos, empresas para beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento e produtos acabados), além de todas as atividades

---

\* Aluno de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba – Campus I.  
Email: adriano\_able@hotmail.com

da cadeia de apoio, que incluem fabricantes de máquinas e equipamentos, fabricantes de insumos industriais, prestadores de serviços técnicos e administrativos, Centro Tecnológico do Mármore e Granito (CETEMAG), sindicatos e associações.

Os resíduos gerados no beneficiamento das rochas ornamentais são oriundos principalmente no momento do corte das placas ou blocos, onde a polpa constituída de água, granalha, cal moída e pó de pedra são acrescentados nos teares com o objetivo de lubrificar e resfriar as lâminas para evitar sua oxidação. O problema desses resíduos reside no fato de serem depositados nos arredores das empresas ou em barragens de rejeito improvisadas.

A necessidade de preservação ambiental e a tendência de escassez dos recursos naturais fazem com que a construção civil obtenha soluções técnicas modernas que ajudem na sustentabilidade de suas atividades. Nesse contexto, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos industriais se destacam como alternativas alinhadas a esses novos conceitos, buscando valorizar os materiais descartados nas indústrias, atribuindo-lhes a posição de material nobre, ao invés de simplesmente lançá-los na natureza.

A incorporação de resíduos poluentes na construção civil é atrativa devido à possibilidade no menor consumo do volume de matérias primas natural e o processo produtivo normalmente não sofre grandes alterações com a introdução do resíduo na composição da massa para formação do produto.

A falta de habitações dignas nos países em desenvolvimento em virtude dos grandes problemas são os elevados preços dos materiais de construção, e surge então a necessidade de utilizar meios alternativos que sejam ecológicos, de menor custo e com disponibilidade, de modo depreciação os custos das habitações. As atividades relacionadas à extração e beneficiamento de rochas ornamentais promovem um grande crescimento econômico no país, porém produz um alto volume de resíduos que geralmente é lançado no meio ambiente, acarretando graves consequências ambientais.

Diante disso, esse trabalho tem o objetivo geral o estudo da potencialidade de insumos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais para a produção de uma mistura alternativa de solo-cimento para construções civis. A pesquisa possibilitou de reutilizar parte deste resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais para a fabricação de tijolos e *paver's* ecológicos, em proporções que a qualidade e o bom desempenho do material não sejam danificados. O tijolo ecológico é composto por cimento portland, solo, resíduo e água; o resíduo neste trabalho de pesquisa substituirá parte da areia usada na produção do tijolo de solo-cimento, e o *paver* acrescentado brita na sua composição.

Em busca de melhorias na destinação adequada desses resíduos industriais, a pesquisa mostra como alternativa para esse propósito o desenvolvimento de tijolos de solo-cimento e *paver's*. As vantagens da utilização de tijolos ecológicos consistem desde a sua fabricação até a sua utilização na obra de construção civil. O equipamento utilizado é muito simples de se manusear e não há necessidade de mão de obra especializada para operar a máquina de produção, que podem ser instaladas no próprio canteiro, eliminando-se boa parte dos custos com transporte.

O uso de tijolos de solo-cimento apresenta várias vantagens como: dispensa o emprego de fôrmas, acelera a construção e facilita a passagem das instalações hidráulicas e elétricas. Os Tijolos de solo-cimento são produzidos utilizando-se prensa manual ou hidráulica. A mistura fresca de solo-cimento é colocada dentro de moldes e prensada. Depois de retirado da prensa, o bloco é estocado em local coberto, onde é molhado periodicamente durante o tempo de cura determinado, para adquirir a resistência necessária.

Os *Paver's* ecológicos são peças pré-moldadas de concreto utilizadas na construção de pavimentos ou calçamentos. Dentre as principais vantagens associadas à essa técnica está a economia de matéria prima, com repercussão direta no impacto ambiental de exploração; a regularidade das formas, influenciando na economia de argamassa de assentamento, desde que o *Paver's* esteja protegido da ação direta da água; e a redução dos agentes poluentes pela inexistência do processo de queima.

É viável lembrar que, o aproveitamento dos resíduos provenientes do desdobramento de rochas ornamentais deve ser encarado com uma atividade complementar, que poderá contribuir muito na redução de custos finais de produção, permitindo a adição de algum valor ao resíduo. Os depósitos de resíduos devem ser vistos como mais uma fonte de renda para a sociedade e não apenas simples armazenadores de resíduos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Com o crescimento da construção civil, existe em todo o planeta a preocupação com a sustentabilidade, para que, a cada dia, os impactos se tornem cada vez menores – através de medidas ecologicamente corretas, como plantar árvores, utilizar maior quantidade de matéria-prima reaproveitada (MOTTA et al., 2014).

Construções ecologicamente viáveis são metas da engenharia civil para o novo século. Essas construções baseiam-se no beneficiamento e redução de resíduos, desenvolvimento de

tecnologias limpas, uso de materiais recicláveis e/ou reutilizáveis e aplicação de resíduos como materiais secundários.

Por esta razão diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca por materiais e técnicas construtivas que minimizem os impactos ambientais decorrentes das construções, desde a fabricação dos materiais até o acabamento da obra arquitetônica. De acordo com Sousa (2006) os tijolos de solo-cimento, obtidos a partir da mistura de solo, cimento Portland e água, ganham destaque entre os materiais de construção alternativa.

Novos estudos mostram que a incorporação de alguns resíduos industriais ao solo-cimento agrega ao material maior provento ambiental e maior desempenho tecnológico, dentre os resíduos estudados o resíduo de serragem de mármore e granito destaca-se pelas suas características e grande abundância no Brasil.

### *2.1.1 Resíduos de corte e serragem de mármore e granito*

De acordo com o Sumário Mineral 2012, a produção mundial de rochas ornamentais atingiu, em 2011, uma quantidade estimada em 116 milhões de toneladas com a China respondendo por cerca de 37%. As exportações mundiais foram estimadas em 49,6 milhões de toneladas (rochas brutas e beneficiadas). Segundo dados da Anuário Mineral Brasileiro (AMB) de 2013, as reservas recuperáveis, no Brasil, são de ordem de 6 bilhões de m<sup>3</sup> de rochas ornamentais, não existindo estatísticas consolidadas sobre as reservas mundiais. O Brasil se posiciona em 5º lugar no ranking mundial de produção e em 7º nas exportações (2,9 milhões de toneladas e US\$ 999,6 milhões).

A atividade de extração de minérios é muito intensa no Brasil e com o passar dos anos vem se intensificando muito mais, principalmente para suprir a necessidade do mercado de construções civis. As rochas ornamentais possuem grande importância econômica e largo campo de aplicação, mais especialmente no setor construtivo como revestimento de paredes e pisos (ARGONZ, 2007).

A utilização de rochas ornamentais em larga escala, apesar de ter grande importância no campo empresarial, pode também representar um grande problema à sociedade em geral, devido à grande quantidade de rejeito deixado pelas indústrias mineradoras, que na maioria das vezes não têm um projeto de beneficiamento dos resíduos, ou mesmo uma solução para o descarte desse material. Como resultado, o que se encontra são enormes aglomerados de resíduos, sem utilização.

A definição de resíduos sólidos pode ser encontrada em algumas resoluções normativas. De acordo com a legislação americana, resíduos sólidos são:

[...] qualquer tipo de lixo, refugo, lodo de estação de tratamento de esgoto, de tratamento de água ou de equipamento de controle de poluição do ar e outros materiais descartados, incluindo sólidos, líquidos, semissólidos, gás em contêineres resultantes de operações industriais, comerciais, de mineração e agrícolas, e de atividades da comunidade, porém não inclui sólidos ou materiais dissolvidos e esgoto doméstico, sólidos ou materiais dissolvidos na água de fluxo de retorno em irrigação e descargas pontuais [...]. (USA, 1989 apud PHILIPPI JR, 2005, p. 271)

Para a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 313/2002:

Resíduo Sólido Industrial é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso – quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento em rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (BRASIL, 2002).

Atualmente, existe uma grande discussão a respeito da dificuldade em se tratar e destinar de forma adequada os resíduos sólidos industriais, o que traz sérias consequências à sociedade em geral. A questão do tratamento e destinação dos resíduos sólidos industriais envolve interesses privados e públicos, uma vez que os investimentos e a responsabilidade legal são privados e o risco ambiental é público, de toda a sociedade (ABETRE, 2006).

Como soluções para a problemática dos resíduos sólidos que são descartados pelas indústrias surgem todos os dias novas tecnologias de reutilização e reciclagem. Silva e Vidal (2003) ressaltam a importância do aproveitamento dos rejeitos de lavras de granito e propuseram sua aplicação como matéria-prima para a construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros, britas de pós, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído.

### *2.1.2 Solo-cimento*

O solo-cimento é o produto resultante da cura da mistura íntima compactada de solo, cimento Portland e água, em proporções estabelecidas através de dosagem e executada conforme norma da ABNT NBR 12253/92 (CASTRO, 2008). É um material de baixo custo de produção e com muitas vantagens em termos ambientais como redução dos resíduos de construção, dispensa da queima em fornos, como acontece com os tijolos convencionais, entre outros.

Na construção civil, o solo-cimento possui hoje diversas aplicações como em edificações, paisagismo, pavimentação, contenção de encostas, contenção de córregos e pequenas barragens (CAMPOS, 2007).

A resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento é semelhante à do tijolo convencional, mas a qualidade final é superior, pois apresenta dimensões regulares e faces planas (FERRAZ, 2004).

No Brasil, as pesquisas com solo-cimento começaram a ganhar destaque a partir da década de 1930, com a regulamentação de sua aplicação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em 1941 toda a pavimentação do aeroporto de Petrolina-PE foi feita com solo-cimento e em 1970 a rede pavimentada de solo-cimento no Brasil completou 7500 km. A partir de 1948 o solo-cimento passou a ser utilizado também na construção de habitações, com a construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis-RJ. O bom estado de conservação destas obras após vários anos de utilização atestam a qualidade do produto e da técnica construtiva (SOUSA, 2006).

### *2.1.3 Impactos Ambientais*

Durante as etapas de produção (tais como, extração, corte, serragem e polimento dos blocos de pedra), na maioria dos casos, não há qualquer preocupação com o meio ambiente, estando o rejeito lançado em lagoas, solo e rios, sem nenhum tipo de tratamento precedente, na qual as lamas de serragem não serem classificadas como resíduo perigoso (classe I), representam um sério problema ambiental. Em geral o resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais é descartado na própria região sem nenhum critério técnico (Figura 1).

Um dos grandes problemas do segmento de rochas ornamentais para a indústria mineradora são os problemas ambientais desinentes deste funcionamento que podem ocasionar contaminação do solo e dos corpos hídricos, além da poluição sonora, poluição atmosférica e danos à saúde como doenças respiratórias e silicose.

Figura 1 – Situação do córrego após lançamento inadequado de resíduos de rochas ornamentais.



Fonte: OLIVEIRA (2009).

As rochas ornamentais na construção civil são essenciais o seu desdobramento de blocos para placas, encarregado pelo resíduo na forma de lama abrasiva. Para Oliveira (2005) as lamas surgem devido à água que é utilizada para a refrigeração das máquinas, que em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento. As lamas geralmente são depositadas em terrenos próximos da indústria ou nos próprios terrenos desta, formando aterros de superfície com coloração escura, quase preta que facilmente se destaca na paisagem.

A problemática ambiental tem estimulado pesquisas sobre reciclagem de resíduos industriais nos últimos anos no Brasil. De acordo com Campos (2007) estas se encaixam dentro da recente abordagem ambiental cujo objetivo é principalmente o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte e aproveitamento de resíduos como insumo de novos produtos, visando economia de matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria da saúde e segurança da população.

As leis de controle ambiental ficaram mais severas e os órgãos de fiscalização ambiental tornaram-se mais eficiente. No entanto, os custos de disposição de resíduos de maneira ecologicamente correta são elevados. Para isso, a utilização de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de solo-cimento tem apresentado uma alternativa ao desperdício desse material e ao mesmo tempo à sustentabilidade do setor construtivo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa iniciou-se com o levantamento bibliográfico sobre a caracterização do resíduo do corte das rochas ornamentais e o levantamento de dados sobre aplicação de materiais de construção alternativos incorporando resíduo da lama abrasiva do proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais.

Para realização dos ensaios procedeu-se uma substituição dos agregados pela lama proveniente do corte e polimento do mármore e granito. A otimização do processo, na busca do melhor fator água/cimento (A/C) e percentual de resíduos foi realizado um delineamento composto com pontos centrais (DCC), ver o Quadro 1.

Quadro 1- Matriz de Planejamento.

Variáveis	Menor Valor	Ponto Central	Maior Valor
Fator água cimento (a/c)	2	2,5	3
% de Resíduos	30	45	60

Fonte: Autor 2017.

Após todo o estudo de referencial teórico, iniciou-se a parte experimental em laboratório. Primeiramente, foi realizada a fabricação de corpos de provas com os traços previamente obtidos no Planejamento Fatorial, variando a relação a/c e o percentual de resíduo (Figura 2). Para cada relação a/c foram moldados 4 (quatro) Tijolos de solo-cimento e 4 (quatro) *Paver's*.

Figura 2: (A) Variação do Fator a/c 3 e (B) Variação do Fator a/c 2,5.



Fonte: Autor 2017.



O ensaio de compactação foi conduzido de acordo com a norma NBR 12023 (ABNT, 1990), aplicada a solo-cimento, sendo a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, realizada conforme os procedimentos indicados pela norma NBR 12024 (ABNT, 1992). Na preparação das misturas, levou-se em conta a quantidade de água em relação à massa do cimento (fator água/cimento).

A mistura dos componentes foi feita manualmente, sendo para a produção de Tijolos ecológicos foram primeiramente misturados o cimento e a areia, até se conseguir homogeneidade, para depois adicionar-se o resíduo gerado no beneficiamento de rochas ornamentais, e, por último, a água. Já para a produção de *Paver* foi primeiramente misturados o cimento, a areia e o pedrisco, para seguir a mesma metodologia dos tijolos de solo-cimento. Os moldes foram previamente untados com óleo desmoldante, sendo a moldagem dos corpos de prova feita logo em seguida.

Observa-se na Figura 3, a realização da moldagem dos corpos de prova que foram feitas imediatamente após o amassamento e com a maior rapidez possível. Para tanto, foi necessário que o recipiente contendo a mistura estivesse junto aos moldes durante a compactação. A colocação da mistura na forma é feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com o soquete normal, homogeneamente distribuído.

Figura 3: (A) Confeção dos corpos de prova com golpes uniformes e (B) rasadura.



Fonte: Autor 2017.

Esta operação foi terminada com a rasadura do topo dos corpos de prova, por meio da régua que o operador faz deslizar sobre as bordas da forma em direção normal à régua, dando-lhe também um ligeiro movimento de vaivém na sua direção. Após 24 horas da confecção, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 4) e submetidos ao processo imerso na água ou cura por 28 dias, como mostra a Figura 5.

Figura 4: (A) Corpos de prova moldados e (B) desmoldados.



Fonte: Autor 2017.

Logo, a cura tem uma forte atuação sobre as características do concreto endurecido tais como resistência, durabilidade e impermeabilidade à água.

Figura 5: Corpos de prova em cura.



Fonte: Autor 2017.

#### 4 RESULTADOS OBTIDOS

O estudo foi realizado com a confecção de corpos de prova com o traço 1/7 (cimento e solo) sendo incorporados percentuais de resíduos de 60%, 45% e 30% na substituição do solo. Para cada composição teve a variação da relação água/cimento de 3, 2 e 2,5. De acordo com o

planejamento fatorial da pesquisa foram obtidos sete unidades amostrais,  $2^2 + 3$  pc tipos sendo confeccionados no total de 28 corpos de provas.

Foram avaliados os ensaios de resistência à compressão simples, através do rompimento dos corpos de prova em uma prensa específica para este ensaio. Os resultados da determinação da resistência à compressão simples dos corpos de prova dos tijolos de solo-cimento fabricados com diferentes combinações em relação à A/C e o percentual de resíduo, aos 28 dias, estão apresentados no Quadro 2. Para cada experimento, foram obtidos quatro valores, na qual foi descartado o valor que menos se aproximava dos demais pontos do ensaio, sendo, portanto representado por três valores.

Quadro 2: Dados dos corpos de prova de tijolos ecológicos estudados.

Traço	Tipo	% Resíduo	A/C	Tempo (dia)	Código	Valor obtido no ensaio	Resistência (Mpa)
1/7	A	60	3	28	A1	110	1,476
					A2	110	1,476
					A3	102	1,275
	B	30	3	28	B1	105	1,409
					B2	103	1,383
					B3	117	1,570
	C	60	2	28	C1	147	1,973
					C2	179	2,403
					C3	180	2,416
	D	30	2	28	D1	178	2,389
					D2	189	2,537
					D3	189	2,537
	E	45	2,5	28	E1	155	2,080
					E2	156	2,094
					E3	165	2,215
	F	45	2,5	28	F1	155	2,080
					F2	155	2,080
					F3	150	2,013
	G	45	2,5	28	G1	165	2,215
					G2	177	2,376
					G3	180	2,148

Fonte: Autor 2017.

Os resultados da determinação da resistência à compressão simples dos corpos de prova dos Paver's fabricados com diferentes combinações em relação à a/c e o percentual de resíduo, aos 28 dias, estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Dados dos corpos de prova de Paver's estudados.

Traço	Tipo	% Resíduo	a/c	Tempo (dia)	Código	Valor obtido no ensaio	Resistência (Mpa)
1/7	A	60	3	28	A1	120	1,61
					A2	115	1,54
	B	30	3	28	B1	130	1,74
					B2	125	1,68
	C	60	2	28	C1	145	1,95
					C2	155	2,08
	D	30	2	28	D1	165	2,21
					D2	150	2,01
	E	45	2,5	28	E1	115	1,54
					E2	125	1,68
	F	45	2,5	28	F1	100	1,34
					F2	110	1,48
	G	45	2,5	28	G1	100	1,34
					G2	160	2,15

Fonte: Autor 2017.

O Quadro 4 apresenta um resumo descritivo para os valores de resistência a compressão simples da argamassa dos Tijolos de solo-cimento. Observa-se uma resistência média de 1,97 MPa e um coeficiente de variação de 21,83% o que mostra uma média dispersão dos dados.

Quadro 4: Valores Descritivos da Resistência a Compressão Simples dos Tijolos de solo-cimento.

Valores Descritivos da Resistência a Compressão Simples				
Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Máximo (MPa)	Mínimo (MPa)
1,97	0,43	21,83	2,53	1,39

Fonte: Autor 2017.

A resistência a compressão simples da argamassa dos Pavers apresenta uma resistência média de 1,74 MPa e um coeficiente de variação de 16,67% o que mostra uma baixa dispersão dos dados, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5: Valores Descritivos da Resistência a Compressão Simples dos Pavers.

Valores Descritivos da Resistência a Compressão Simples				
Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)	Máximo (MPa)	Mínimo (MPa)
1,74	0,29	16,67	2,24	1,34

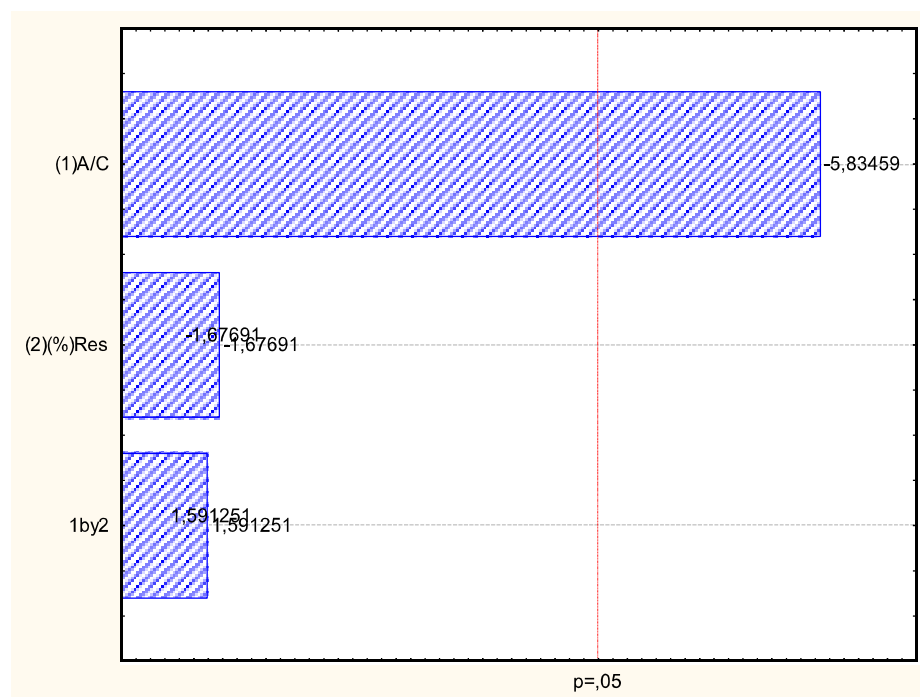
Fonte: Autor 2017.

Após a realização dos ensaios de resistência a compressão simples, observou-se que a variável independente fator água-cimento (a/c) é o único fator influente no processo, pois com

o aumento deste fator observa-se uma redução na resistência para tijolos ecológicos (Figura 6).

O gráfico de Pareto para resistência e compressão permitiu uma fácil visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes, possibilitando a concentração de esforços sobre os mesmos. Além disso, o gráfico de Pareto para as variáveis de resposta (Resistência a Compressão simples) permitem determinar quais coeficientes dos modelos realmente apresentam influência estatística ao nível de significância de 5%.

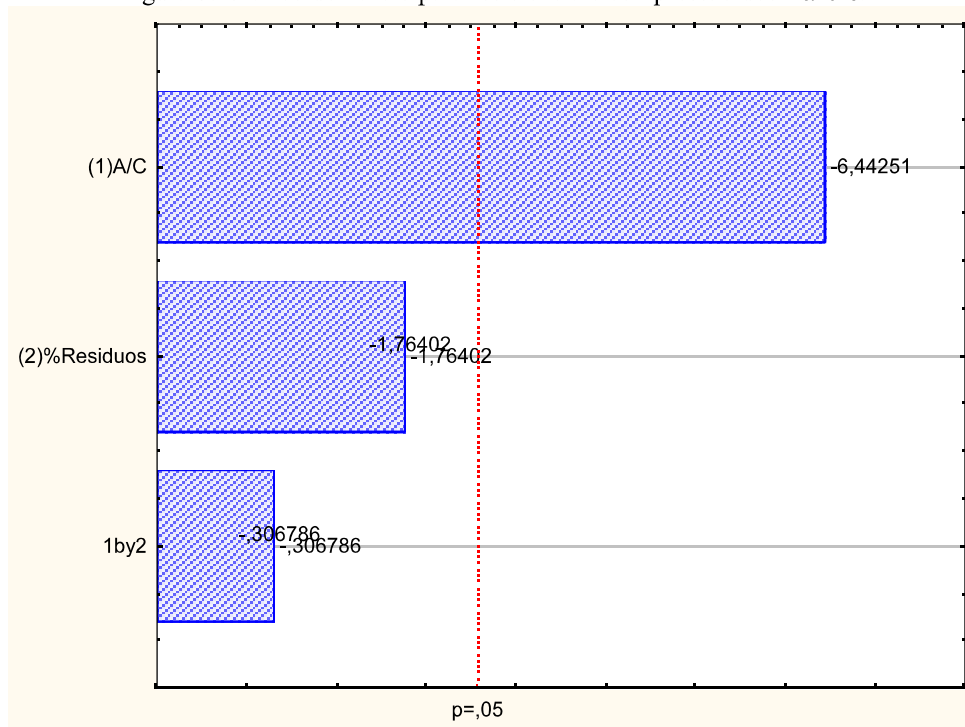
Figura 6: Gráfico de Pareto para resistência e compressão dos tijolos ecológicos.



Fonte: Autor 2017.

Observa-se que para a produção de *Paver's* após a realização dos ensaios de resistência a compressão simples, a variável independente fator água-cimento (A/C) é o único fator influente no processo, pois com o aumento deste fator observa-se uma redução na resistência (Figura 7).

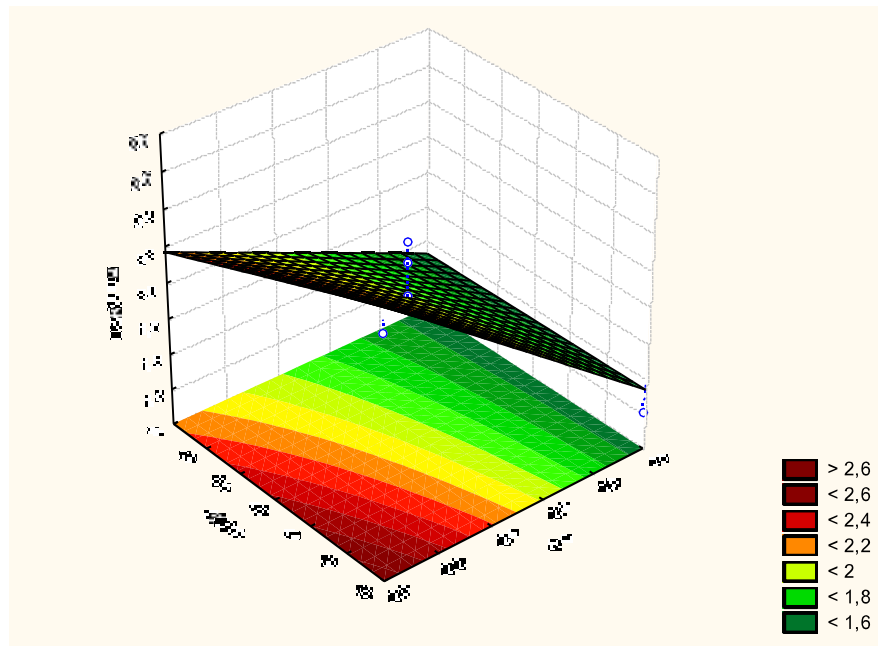
Figura 7: Gráfico de Pareto para resistência e compressão dos *Pavers*.



Fonte: Autor 2017.

A superfície resposta apresenta uma maior resistência para um fator água-cimento (a/c) e um percentual de resíduo em torno de 2 e 30%, respectivamente. A Figura 8 apresenta a superfície resposta do Planejamento Fatorial para tijolos ecológicos.

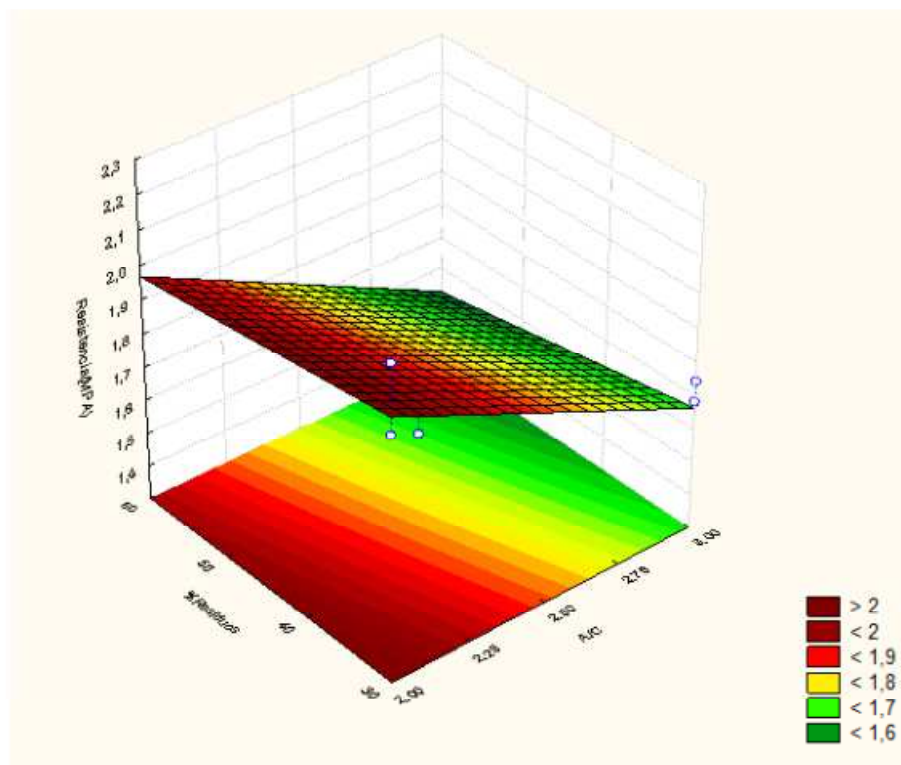
Figura 8: Superfície resposta do Planejamento Fatorial para tijolos ecológicos.



Fonte: Autor 2017.

A superfície resposta do Planejamento Fatorial dos *Paver's* também apresenta uma maior resistência para um fator água-cimento (a/c) e um percentual de resíduo em torno de 2 e 30%, respectivamente, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Superfície resposta do Planejamento Fatorial para Paver's.



Fonte: Autor 2017.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa para a produção de tijolos ecológicos de solo-cimento, conclui-se que:

- A adição dos resíduos sólidos industriais possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade;
- O aproveitamento dos resíduos sólidos industriais na fabricação de tijolos de solo-cimento pode configurar-se numa prática ecologicamente correta, pois pode contribuir para reduzir o volume de material descartado na natureza, reduzir a exploração dos recursos naturais, e assim contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Para o estudo realizado para a produção de *Paver's*, concluiu-se que:

- Apesar dos escassos estudos sobre o efeito do uso do resíduo de corte de rochas ornamentais em *Paver's*, sabe-se que há minimização dos impactos no meio ambiente quando se reutiliza um resíduo, quer seja pela diminuição no consumo de cimento ou de agregados, materiais que demandam extração de recursos naturais, quer seja, pela incorporação do próprio resíduo, cujo volume é alto e cujo destino final ainda representa um problema.
- Mesmo com um percentual alto de resíduos, as resistências à compressão simples dos corpos de prova apresentam-se adequadas para utilização em locais de passeio público. O valor que otimiza essa resistência é de 2,0 e 30%, para fator água/cimento e percentual de resíduo incorporado nos *Paver's*, respectivamente. Com esses valores citados anteriormente obtém-se um *Paver* com resistência média de 2,0 MPa.



## INDUSTRIAL SOLID WASTE: AN ALTERNATIVE SOURCE FOR THE DEVELOPMENT OF INPUTS FOR CIVIL CONSTRUCTION

### **ABSTRACT**

The great potential of the ornamental stone processing industry in Brazil and its enormous generation of waste requires the constant need of research projects that enable the rational use of these wastes in the construction industry, since this sector suffers with high production costs Due to the shortage of raw material. In the search for improvements in the proper disposal of these industrial residues, the research had as objective to study the potential of inputs from ornamental stone processing for the production of an alternative mixture of soil-cement for civil constructions. In this research activity, physical, chemical and mineralogical characterization of rock and soil residues were carried out, as well as the environmental analysis of these residues in accordance with ABNT norms. Based on the results obtained in the research, the conclusion was reached that the addition of industrial solid wastes allowed favorable technical conditions to produce pressed earth-cement bricks and ecological paver with quality and the use of industrial solid waste in the manufacture of Soil-cement bricks can be configured in an ecologically correct practice, which can contribute to reduce the volume of material discarded in nature, reduce the exploitation of natural resources, and thus contribute to the preservation of the environment.

**Keywords:** Industrial solid wastes. Ecological bricks. Soil-cement. Processing of ornamental stones.

## REFERÊNCIAS

ABETRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. **Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais**. São Paulo: Abetre, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 9781/13** - Peças de concreto para pavimentação.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 9780/87** - Método de ensaio para determinação de resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 10004** - Resíduos Sólidos: Classificação. São Paulo, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 07215** - Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 12023** - Solo-cimento: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1990. 9 p.

ANJOS, M. A. S.; Ghavami, K.; Barbosa, N. P. **Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu**. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.346-349, 2003.

ARGONZ, R., et al. **Caracterização de Resíduos de Granito Rain Forest proveniente da serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria prima cerâmica**. In: 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Salvador-BA, 2007.

**Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS (2004)** Rochas Ornamentais no século XXI – Situação Brasileira. São Paulo – SP.

BRASIL, 2002. **Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, edição de 22 de novembro de 2002.

CAMPOS, I. M. **Solo-cimento, solução para economia e sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23>, 2007 > acesso em fevereiro de 2017.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduo de caulim para uso em solo-cimento em construções civis**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2008.

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, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS, 2005. 28p.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2012**. Brasília: DNPM, 2012. 136p. Disponível em:

<[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7366](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7366)>. Acesso em: 22 jan. 2017.

DOS REIS, Alessandra Savazzini; DE ALVAREZ, Cristina Engel. **A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais.**

FERRAZ, A.L.N. **Análise da Adição de Resíduos de Argamassa de Cimento em Tijolos Prensados de Solo-Cimento.** Dissertação (Mestrado) – UNESP. Ilha Solteira-SP, 2004, 92p.

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 2000.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. Belo Horizonte: **E-xata**, 2014. 13-26 p.

MOURA, Washington Almeida and LEITE, Mônica Batista. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2011, vol.64, n.2, pp.147-154.

OLIVEIRA, I. C. A., As lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais -recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em Pêro Pinheiro (sintra). Relatório de Conclusão de Curso. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal, 2005.

OLIVEIRA, C.; RIBEIRO, R. C. C; QUEIROZ, J. P. C. Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 23, 2009, Gramado/RS. **Anais...** Porto Alegre: 2009. p. 655 – 660.

PHILIPPI JR, A. (Ed.). **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri, SP: Manole 2005. 271p. (Coleção Ambiental, 2).

RODRIGUES, M. L. A. (2008) **Adição de resíduos de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás.

SILVA, D. C., VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena.** In: Morais J. O. Rochas industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza-CE, 2003.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. Ilha Solteira. -SP, 2006.