

MARIA GABRIELA ARAÚJO RANIERI

APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELO
PROCESSAMENTO INDUSTRIAL/ARTESANAL DE PEDRA-SABÃO
DA REGIÃO DE OURO PRETO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
do Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para a obtenção do título
de Doutor em Engenharia Mecânica na área
de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elson de Campos

Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva de Amorim

Guaratinguetá

2011

R197a

Ranieri, Maria Gabriela Araújo

Aproveitamento dos resíduos gerados pelo processamento industrial/artesanal de pedra-sabão da região de Ouro Preto / Maria Gabriela Araújo Ranieri - Guaratinguetá : [s.n.], 2011.

115 f. : il.

Bibliografia: f. 97-104

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Elson de Campos

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva de Amorim

1. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc) 2. Meio ambiente I. Título

CDU 628.4(043)

MARIA GABRIELA ARAÚJO RANIERI

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ELSON DE CAMPOS
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. ALEXANDRE ZIRPOLI SIMÕES
Unesp-Feg


Prof. Dr. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN
Unesp/Feg


Prof. Dr. LUIS ANTONIO GENOVA
IPEN


Prof. Dr. FRANCISCO CRISTÓVÃO LOURENÇO DE MELO
IAE/DCTA

Agosto de 2011

DADOS CURRICULARES

MARIA GABRIELA ARAÚJO RANIERI

NASCIMENTO	01.01.1972 – APARECIDA/SP
FILIAÇÃO	Kratus Ranieri Lúcia Helena Araújo Ranieri
1997/2000	Curso de Graduação em Decoração de Interiores FATEA – Faculdades Integradas Teresa D’Ávila – Lorena/SP
2005/2007	Mestrado Engenharia Mecânica, UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá

À minha família e ao meu querido
Alexandre Vianna.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades.

Agradeço à minha família e ao Alexandre Vianna, pelo apoio, compreensão e incentivo.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Elson de Campos e Prof. Dr. Carlos Eduardo Silva de Amorim pela paciência e dedicação a essa pesquisa.

Também agradeço a todos os professores e funcionários do DMT, representados pela Profa. Dra. Ana Paula Rosifini Alves, e em especial ao técnico Domingos Hasmann Neto pelo profissionalismo.

Muito obrigada ao Prof. Dr. Roberto Yzumi Honda e ao Prof. Dr. Rogério Pinto Mota e ao colega Alessandro Luiz Ribeiro dos Santos.

Às bibliotecárias e aos funcionários da secretaria da Pós-graduação pela boa vontade e paciência.

Às minhas queridas amigas Kamila Amato de Campos, Cristina Sayuri Fukugauchi, Flávia Zenith e Maria Isabel Kimaid pela amizade sincera.

Aos amigos e colegas Marcelo Sampaio e Jerusa Góes Aragão Santana.

Ao meu amigo Carlos Alberto de Almeida, por sempre ter acreditado no meu potencial.

Muito obrigada à Professora Marisa Helena de Oliveira Silva, da EEAR, pela amizade e apoio técnico.

Aos alunos do curso de Engenharia civil da FEG, Larissa Ferreira e Vítor Martello, pela dedicação a esse trabalho.

Meus agradecimentos a SOLVEN pela doação de material para este trabalho.

Especiais agradecimentos ao amigo Luciano Sacramento e a toda comunidade artesã de Santa Rita de Ouro Preto.

APOIO FINANCEIRO

Este trabalho contou com o apoio financeiro da CAPES

A ação nem sempre traz felicidade, mas não há felicidade sem ação.

(Benjamin Disraeli)

RANIERI, M. G. A. **Aproveitamento dos resíduos gerados pelo processamento industrial/artesanal de pedra-sabão da região de Ouro Preto**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

A região próxima à cidade de Ouro Preto, no Estado de Minas Gerais, possui tradição na produção de utensílios industriais e artesanais a partir da pedra-sabão (esteatito). Essa tradição remonta à época do artista conhecido como Aleijadinho (século XVIII), cujas esculturas feitas em pedra-sabão constituem um patrimônio artístico admirado internacionalmente. Atualmente, são observadas duas questões ligadas à manufatura com pedra-sabão. Uma delas está relacionada ao baixo poder aquisitivo dos pequenos artesãos e a outra está ligada aos problemas ambientais relacionados aos resíduos gerados pelas atividades artesanais e industriais. Portanto, além de solucionar um problema ambiental, o aproveitamento desses resíduos pode gerar rendimentos para os artesãos. No entanto, o processo a ser desenvolvido deve possibilitar ao artesão a produção em sua oficina, sem a necessidade de equipamentos ou ferramentas de elevado custo. Dessa forma, foram coletadas em Santa Rita de Ouro Preto três amostras de resíduos, duas de coloração amarelo-creme, obtidas em duas pequenas oficinas e um terceiro resíduo, de cor verde-acinzentado, obtido em uma fábrica de painéis. Também foram coletadas amostras das respectivas rochas. A partir dos resíduos, foram desenvolvidas pedras sintéticas por meio de prensagem uniaxial, utilizando como aditivos o cimento Portland, a cola PVA e a parafina granulada. As amostras de pedra sintética obtidas apresentaram propriedades mecânicas e de trabalhabilidade parecidas com as apresentadas pelas rochas. As amostras produzidas a partir dos resíduos de coloração verde-acinzentados atingiram valores de resistência mecânica maiores que os das amostras da rocha de coloração amarelo-creme. Além disso, as resistências mecânicas de todas as amostras de pedra sintética apresentaram-se mais homogêneas, com maior módulo de Weibull, em comparação às rochas. Lotes da pedra-sabão sintética foram enviados aos artesãos de Santa Rita de Ouro Preto, que

as avaliaram utilizando as mesmas ferramentas e maquinários, tintas e vernizes usados no trabalho com as rochas. Segundo os artesãos, as pedras sintéticas mostraram trabalhabilidade e acabamentos similares às rochas.

PALAVRAS-CHAVE: Pedra-sabão. Resíduos. Reciclagem. Meio ambiente. Resistência mecânica

RANIERI, M. G. A. Use of waste generated by industrial / handcraft production in Ouro Preto and other cities nearby. 2011. 116 f. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2011.

ABSTRACT

Ouro Preto, in Minas Gerais, Brazil, is a historical city and is known by its tradition in producing handcrafting and industrial utensils from soapstone rocks (steatite). In the 18th century, the famous Brazilian artist “Aleijadinho” started manufacturing his sculptures made from soapstone rocks and his works are artistically admired worldwide so far. Nowadays there are two problems connected with soapstone rocks that must be solved: one of them is closely related to the handcrafter social and economic conditions and the other one to the environmental problems caused by the waste generated by handcraft and industrial activities. Thus, by manufacturing handcraft and industrial utensils from soapstone waste, it is expected that the waste will have a correct destination and the handcrafters’ income will increase as well. So with this challenging and innovative work, handcrafters could manufacture their arts and crafts from soapstone waste in their workshops without employing high cost equipment or tools. Three different kinds of soapstone waste samples were collected in workshops in Santa Rita de Ouro Preto: two yellowish-cream soapstone waste samples, obtained in two small workshops and a greenish-gray soapstone waste sample obtained in a pan factory. Samples were also collected from the soapstone rocks. From the soapstone waste, synthetic soapstone was developed by uniaxial pressing and by using Portland cement, PVA glue and grain wax as additives. Synthetic soapstone samples showed mechanical strength and workability similar to the ones presented by the soapstone rocks. The samples produced from greenish-gray waste had higher mechanical strength than the yellowish-cream samples. Besides, the mechanical strength was more homogeneous, with higher Weibull module, in comparison to the soapstone rocks. Synthetic soapstone samples were sent to handcrafters in Santa Rita de Ouro Preto, who evaluated them by using the same tools, machinery, paints and

varnish they use to manufacture handcraft from soapstone rocks. According to handcrafters, working with synthetic soapstone was similar to working with soapstone rocks for the same finishing and workability could be obtained.

KEYWORDS: Soapstone rock, waste, recycling, environment, mechanical strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da região do quadrilátero ferrífero, em destaque a cidade de Ouro Preto	23
Figura 2	(a) Jazida de pedra-sabão em exploração, com ausência da vegetação natural; (b) vista de uma plantação de eucaliptos, em Santa Rita de Ouro Preto	24
Figura 3	Vista parcial da cidade de Ouro Preto	26
Figura 4	Típica panela de pedra-sabão fabricada atualmente em Santa Rita de Ouro Preto.	27
Figura 5	(a) Detalhe da decoração no estilo barroco em pedra-sabão de uma das igrejas de Ouro Preto; (b) escadaria e um pilarete em Ouro Preto.	28
Figura 6	Tradicional torno de uma oficina de Santa Rita de Ouro Preto.	29
Figura 7	Artesã de Santa Rita de Ouro Preto esculpindo peças em pedra-sabão.	30
Figura 8	Pedra-sabão com coloração creme (a) e verde (b) de Santa Rita de Ouro Preto.	33
Figura 9	Estrutura cristalina do mineral talco, principal constituinte da pedra-sabão.	33
Figura 10	Algumas peças do artesanato em pedra-sabão de Santa Rita de Ouro Preto.	36
Figura 11	Fluxograma mercadológico da pedra-sabão (esteatito) apud Suzana de Almeida (2006).	37
Figura 12	(a) Vista de uma típica oficina de Santa Rita de Ouro Preto; (b) Pedra-sabão sendo cortada para a confecção de peças artesanais em uma oficina domiciliar.	38
Figura 13	Resíduos de pedra-sabão acumulados em uma oficina de Santa Rita de Ouro Preto.	39
Figura 14	Dois tipos de resíduos gerados por uma fábrica de painéis em Santa	

	Rita de Ouro Preto, (a) resíduo em fragmentos e (b) resíduo em pó.	40
Figura 15	Aumento da geração de resíduos de 2008 a 2010.	42
Figura 16	(a) Destinação final em 2009 e, (b) em 2010.	42
Figura 17	Processo de prensagem uniaxial	54
Figura 18	Prensa hidráulica do laboratório de cerâmica do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP, Campus de Guaratinguetá, foi utilizada no processamento das amostras desse trabalho.	55
Figura 19	Corpos-de-prova em disco (a); e em barra (b), utilizados neste trabalho.	59
Figura 20	Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em barra.	60
Figura 21	Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em disco com 20 mm de diâmetro.	60
Figura 22	Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em disco com 40 mm de diâmetro, utilizados para o ensaio de compressão diametral.	61
Figura 23	Fluxograma da caracterização aplicada às amostras.	62
Figura 24	Representação esquemática do empuxo.	66
Figura 25	(a) Representação esquemática do ângulo de contato para uma gota d'água, ou líquido aquoso, sobre uma superfície sólida; (b) gota de água sobre uma amostra no momento exato da medida do ângulo de contato.	69
Figura 26	Distribuição de tensão e secção transversal em uma amostra submetida a ensaio de compressão diametral.	71
Figura 27	Curva granulométrica obtida por peneiramento.	76
Figura 28	Difratograma de raios-X do resíduo R1.	77
Figura 29	Difratograma de raios-X do resíduo R2.	77
Figura 30	Difratograma de raios-X do resíduo R3.	78
Figura 31	Difratogramas normalizados dos resíduos R1, R2 e R3.	79
Figura 32	Imagens obtidas por MEV da rocha verde.	80
Figura 33	Imagens obtidas por MEV da rocha creme.	80

Figura 34	Imagens obtidas por MEV do resíduo R1.	81
Figura 35	Imagens obtidas por MEV do resíduo R2.	81
Figura 36	Imagens obtidas por MEV do resíduo R3.	82
Figura 37	Resistência mecânica por flexão por três pontos.	86
Figura 38	Pedra sintética, contendo o resíduo R3, no momento da ruptura por compressão diametral.	88
Figura 39	(a) Corpos-de-prova da rocha verde e, (b) da rocha creme após ensaio de compressão diametral.	89
Figura 40	Resistência mecânica por compressão diametral.	90
Figura 41	Conjunto de fotos durante as várias etapas de testes práticos realizados pelos artesãos com as amostras sintéticas: (a) corte, (b) modelamento manual em máquina rotativa, (c) envernizamento e (d) pintura.	91
Figura 42	Amostras das pedras sintéticas testadas pelos artesãos; (a) Amostras das pedras sintéticas confeccionadas com R3; (b) Amostras confeccionadas com R1.	92
Figura 43	Amostras das pedras sintéticas testadas pelos artesãos; (a) Amostras R1 esculpidas e envernizadas e (b) Amostras R1, ao fundo as duas amostras envernizadas e, em destaque, amostra esculpida e pintada.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Resíduos utilizados nesse trabalho e suas origens.	48
Tabela 2	- Ensaaios realizados com os resíduos de pedra-sabão, em diferentes etapas desse estudo.	57
Tabela 3	- Composição das amostras obtidas durante a terceira etapa da pesquisa.	58
Tabela 4	- Análise granulométrica do resíduo R1 (amarelo-creme).	74
Tabela 5	- Análise Granulométrica do resíduo R2 (amarelo-creme).	75
Tabela 6	- Análise granulométrica do resíduo R3 (verde-acinzentado).	75
Tabela 7	- Média dos valores de absorção de água (AA), porosidade aparente (P.ap.) e densidade aparente (D.ap.).	83
Tabela 8	- Rugosidade das amostras naturais e sintéticas lixadas e não lixadas.	84
Tabela 9	- Ângulo de contato de amostras com a água.	84
Tabela 10	- Resistência mecânica por flexão por três pontos e os valores de “m” (módulo de Weibull).	87
Tabela 11	- Resistência mecânica por compressão diametral e os valores de “m” (módulo de Weibull).	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	- American Society for Testing and Materials
UNESCO	- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PAB	- Programa do Artesanato Brasileiro
UPA	- Unidade Produtiva de Artesanato
EPA	- Environmental Protection Agency
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
ABRELPE	- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
UICN	- União Internacional para a Conservação da Natureza
WCED	- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ONU	- Organização das Nações Unidas
PVA	- Acetato de polivinila
PVal	- Álcool polivinílico
MEV	- Microscopia Eletrônica de Varredura
MO	- Microscopia Óptica
MET	- Microscopia Eletrônica de Transmissão
MCI	- Microscopia Eletrônica de Campo Iônico

LISTA DE SÍMBOLOS

kg	- Quilograma
g	- Grama
tf	- Tonelada força
mm	- Milímetro
kgf	- Quilograma força
mm ²	- Milímetro quadrado
E	- Empuxo
m	- Massa
P	- Fluido de densidade
mi	- Massa imersa
mu	- Massa úmida
ms	- Massa seca
cm ³	- Centímetro cúbico
Ra	- Rugosidade média
Rt	- Rugosidade total
kN	- Kilograma Newton
<i>D</i>	- Diâmetro do corpo-de-prova
<i>h</i>	- Espessura do corpo-de-prova
μm	- Micrometro
#	- Mesh – abertura das peneiras
°C	- Graus Celsius
MPa	- Megapascal
σ ₅₀	- Resistência média
σ ₀	- Resistência característica do material

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa/motivação	19
1.2 Objetivo	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Definição e resumo histórico	22
2.2 O quadrilátero ferrífero	23
2.2.1 Aspectos geológicos do quadrilátero ferrífero	26
2.3 A tradição do artesanato em pedra-sabão	27
2.3.1 A importância do artesanato	31
2.4 A rocha esteatito	32
2.4.1 Aspectos mercadológicos da pedra-sabão, nome comercial do esteatito	36
2.4.2 A pedra-sabão utilizada pelos artesãos e a origem dos resíduos	38
2.4.3 Problema ambiental dos resíduos de pedra-sabão	38
2.5 Resíduos sólidos	41
2.5.1 Resíduos de rochas ornamentais	44
2.6 Desenvolvimento sustentável e o meio ambiente	45
2.6.1 O desenvolvimento sustentável e a mineração	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 Resíduo de pedra-sabão	48
3.2 Aditivos	49
3.2.1 Cimento Portland	50
3.2.2 Gesso	51
3.2.3 Acetato de polivinila (PVA)	51
3.2.4 Parafina granulada	52
3.3 Processamento	53
3.3.1 Prensagem uniaxial	53
3.4 Produção de amostras	55
3.5 Corpos-de-Prova	59
3.5.1 Corpo-de-prova em barra	59
3.5.2 Corpo-de-prova em disco	60
3.5.3 Corpo-de-prova para compressão diametral	61
3.6 Caracterização das amostras	62
3.7 Caracterização dos resíduos coletados	63
3.7.1 Análise granulométrica	63
3.7.2 Difração de Raios-X	64
3.7.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	64
3.8 Caracterização dos corpos-de-prova	65
3.8.1 Porosidade aparente, Absorção de água e Densidade aparente	65
3.8.2 Rugosidade	67
3.8.3 Molhabilidade	68
3.8.4 Resistência mecânica	69
3.8.4.1 Resistência mecânica por flexão por três pontos	69
3.8.4.2 Resistência mecânica determinada pelo ensaio de compressão diametral ...	70
3.8.5 Teste de campo	73

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1 Caracterização dos resíduos coletados	74
4.1.1 Análise granulométrica.....	74
4.1.2 Difração de raios-X	76
4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	79
4.2 Caracterização dos corpos-de-prova.....	82
4.2.1 Porosidade aparente, Absorção de água e Densidade aparente.....	82
4.2.2 Rugosidade	83
4.2.3 Molhabilidade.....	84
4.2.4 Resistência mecânica.....	85
4.2.4.1 Resistência mecânica por flexão por três pontos.....	85
4.2.4.2 Resistência mecânica determinada pelo ensaio de compressão diametral...	88
4.3 Teste de campo	90
5 CONCLUSÕES.....	94
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
REFERÊNCIAS	97
ANEXO A – Questionário enviado aos artesãos para avaliação das amostras de Pedra sintética.....	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa/Motivação

O esteatito, rocha metamórfica, conhecida como pedra-sabão, é uma das rochas mais macias que existem na natureza. Por isso, tem sido muito utilizada para a produção de utensílios industriais e artesanais, devido à facilidade que oferece à obtenção de acabamento. O principal constituinte desta rocha é o mineral talco, cuja dureza é 1 na escala de Mohs. No Brasil, os índios Tupinambás, que habitavam a região de Ouro Preto, Estado de Minas Gerais, foram os pioneiros na tradição de usar a pedra-sabão para confeccionar utensílios, desde antes dos portugueses chegarem ao Brasil. No entanto, a fama do uso da pedra-sabão surgiu no final do século XVIII com o artista barroco Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho. Suas esculturas feitas em pedra-sabão constituem um patrimônio artístico admirado internacionalmente.

No Brasil, o artesanato com pedra-sabão é tradicional nas cidades de Ouro Preto, Congonhas do Campo, São João Del Rei, Diamantina, Tiradentes e outras. Ouro Preto foi reconhecida em 1980, pela UNESCO, como “Patrimônio Artístico Internacional da Humanidade”, esse fato acabou atraindo turistas do mundo inteiro e a região passou a ter como uma das principais atividades econômicas a venda de artesanato em pedra-sabão.

Em Santa Rita de Ouro Preto, distrito de Ouro Preto, está o principal centro produtivo de artesanato. Há muitos artesãos e pequenas oficinas domiciliares nesse distrito, em que, normalmente toda a família trabalha nessa atividade e dela tira a principal renda para sua sobrevivência.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho ocorreu após observar dois problemas ligados ao artesanato em pedra-sabão: (a) as más condições socioeconômicas dos pequenos artesãos e (b) problemas ambientais ligados aos destinos dados ao pó da rocha, pois a atividade do artesanato em pedra-sabão gera grandes quantidades de resíduos.

Em 2006, o município de Ouro Preto solicitou ajuda às universidades da região para buscar uma solução para a grande quantidade de resíduos que são descartados no meio ambiente.

A partir de uma visita realizada a Santa Rita de Ouro Preto, em maio de 2009, verificou-se que esses problemas ainda estavam presentes. Por exemplo, as jazidas de pedra-sabão passaram a ser exploradas por empresas mineradoras que comercializam a rocha no formato de placas para serem usadas na construção civil. Com isso, as mineradoras passaram a dificultar o acesso dos pequenos artesãos, sendo que eles passaram a ter que comprar a rocha de menor qualidade.

Quanto à grande quantidade de resíduos que a atividade artesanal em pedra-sabão gera, os artesãos não têm outra alternativa a não ser descartar incorretamente esses resíduos. Os resíduos são depositados em terrenos baldios e rios ou riachos próximos das oficinas, pois eles não possuem infra-estrutura como caminhões e mão-de-obra para levar esses resíduos para um local mais apropriado. Uma das fábricas de painéis de Santa Rita de Ouro Preto enterra seus resíduos na jazida de onde foi retirada a pedra-sabão. Essa foi uma maneira encontrada para minimizar a agressão ao meio ambiente. Embora a comunidade local tenha consciência de que não se pode descartar os resíduos no meio ambiente, os artesãos não têm conhecimento de técnicas de aproveitamento e nem recursos para o descarte adequado.

1.2 Objetivo

Desenvolver um material a partir dos resíduos da rocha pedra-sabão (esteatito) gerados pelas atividades artesanais e industriais, por meio de um processo de baixo custo e de fácil exeqüibilidade. Este material deve apresentar propriedades similares às da rocha para voltar a ser matéria-prima para a atividade artesanal.

Para a realização deste trabalho, foram estabelecidas algumas premissas para a proposição de uma forma de aproveitamento adequado destes resíduos:

- 1 – Os resíduos deveriam ser aproveitados, mas evitando processos que exigissem fornos, reatores ou processamento de alto custo;

- 2 – O processo de aproveitamento deve ter reprodutividade para que os artesãos pudessem repeti-lo na comunidade;
- 3 – O aproveitamento deve ser ecologicamente correto;
- 4 – A qualidade final das amostras deve ser similar a da matéria-prima.

Inicialmente, a solução idealizada foi a de compactar os resíduos por prensagem uniaxial, utilizando ligantes de baixo custo, similar ao utilizado na área de materiais cerâmicos, para a produção de uma pedra sintética.

Atendendo a esses requisitos, essa proposta de aproveitamento dos resíduos de pedra-sabão pode se estender a toda região produtora de artesanato de esteatito.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição e resumo histórico

As rochas ornamentais são utilizadas para confecção de esculturas, objetos de artesanato e, na construção civil, são empregadas no revestimento de paredes, lareiras, pisos etc. Normalmente, essas rochas são extraídas no formato de blocos e depois cortadas em placas, ou seja, de forma mais apropriada para seu destino (ALMEIDA, 2006; ABIROCHAS, 2010).

As rochas ornamentais são utilizadas desde a pré-história e têm um papel importante para a história da humanidade. Conforme os homens foram adquirindo conhecimentos técnico-científicos, foram aprimorando o uso de rochas ornamentais como, por exemplo, para bases estruturais na construção civil (ALMEIDA, 2006).

Como ao longo da história várias construções foram preservadas, mesmo sofrendo intemperismo, vandalismos e catástrofes naturais, é possível conhecer uma cultura extinta, através de sua arquitetura, cujas rochas foram muito utilizadas, sendo exemplos, as culturas egípcia, grega e romana. O apogeu do uso das rochas ocorreu no século XIV, com a construção das catedrais em estilo gótico. Naquela época, havia o problema de se transportar as rochas e, então, as rochas utilizadas eram aquelas encontradas nos arredores da construção (ALMEIDA, 2006).

No Brasil, o uso das rochas ornamentais na construção civil iniciou-se no período colonial, como por exemplo, na construção de fortes para defesa do litoral e das cidades que administravam a colônia. Hoje, esse conjunto de construções é considerado precioso para a história da arquitetura brasileira (ALMEIDA, 2006).

A cidade de Ouro Preto foi a primeira do Estado de Minas Gerais a utilizar rochas em construções e esculturas que, felizmente, podem ser apreciadas até hoje em seu centro histórico. As rochas mais utilizadas eram as encontradas na região, sendo o quartzito utilizado para fabricação de pisos e paredes e a pedra-sabão mais utilizada em esculturas, devido à sua baixa dureza e fácil trabalhabilidade (ALMEIDA, 2006).

Com o surgimento de novos materiais, as rochas ornamentais deixaram de ser utilizadas como bases estruturais e passaram a serem empregadas em acabamento e revestimento, sendo prioritário somente o aspecto visual (BEZERRA, 1999).

2.2 O quadrilátero ferrífero

O quadrilátero ferrífero é uma região localizada no centro do Estado de Minas Gerais, que abrange uma área de, aproximadamente, 7.000 km², com cerca de quatro milhões de habitantes (IBGE, 2009). Na Figura 1 é apresentada a região do quadrilátero ferrífero, destacando a região de Ouro Preto.



Figura 1 – Mapa da região do quadrilátero ferrífero. Fonte: <http://www.mirantedocafe.org.br>

O quadrilátero ferrífero é uma região que, atualmente, tem como base econômica a exploração de minérios, a plantação de eucalipto para produção de carvão vegetal e o turismo nas cidades históricas, pois o solo não é apropriado para a agricultura. Estando a concentração fundiária no poder das grandes mineradoras (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).

A degradação ambiental é evidente na região, sendo a cobertura vegetal nativa transformada em áreas de mineração, pasto e reflorestamento de eucalipto. Nas Figuras 2 (a) e (b) podem ser observadas uma jazida de pedra-sabão e uma plantação de eucalipto, respectivamente, em Santa Rita de Ouro Preto. Na região, observa-se a ausência da vegetação e crateras formadas pela retirada das rochas (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).



Figura 2 – (a) Jazida de pedra-sabão em exploração, com ausência da vegetação natural; (b) vista de uma plantação de eucalipto, em Santa Rita de Ouro Preto. Fotos de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

Há vários empreendimentos na região que exploram jazidas de rochas e minerais como: bauxita, níquel, caulim, pedra-sabão, quartzo, entre outras. Devido às grandes concentrações de minérios, há na região grandes indústrias siderúrgicas e metalúrgicas (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).

Existe uma relação entre a ocupação do Estado de Minas Gerais e a mineração, pois devido às suas riquezas minerais, o Estado recebeu milhares de pessoas interessadas em enriquecer. O ouro foi o grande atrativo do século XVIII e a porta de entrada para sua exploração foi a cidade de Vila Rica, hoje chamada de Ouro Preto. Vila Rica vivenciou um momento de glória, por sua riqueza em ouro e este período durou, aproximadamente, sessenta anos. Na época do apogeu da mineração, houve um crescimento urbano e cultural de Vila Rica e arredores, chegando a uma população de oitocentas mil pessoas entre brancos e escravos, sendo a vila mais desenvolvida da região (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).

É importante mencionar que, durante o auge da exploração do ouro, houve também a explosão do barroco mineiro, mesmo tendo surgido numa época diferente do barroco europeu. Naquela época, a igreja católica exercia enorme poder sobre a população, mesmo sendo a coroa portuguesa responsável pela organização político-administrativo. E, por essa razão, num ato de agradecimento a Deus, muitos exploradores que enriqueceram com o ouro, encomendaram várias obras no estilo barroco. Além de grandiosas igrejas ricamente decoradas, havia enormes nichos e oratórios em pontos estratégicos da cidade. Dentre os principais escultores do barroco mineiro da época, estava Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho, autor das principais e mais importantes esculturas daquela região, e considerado um dos mais importantes artistas barrocos do mundo (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).

A maioria das esculturas barrocas mineiras era feita a partir do esteatito, rocha metamórfica, conhecida comercialmente, como pedra-sabão, que é abundante e peculiar naquela região. Por ser uma rocha “macia”, os escultores conseguiam obter detalhes precisos e delicados. Quando a exploração do ouro entrou em declínio, no final do século XVIII, houve um abandono da região. E assim, Ouro Preto não conseguiu manter-se como grande centro urbano. Não só a extinção das minas de ouro contribuiu para este fato, mas também o solo, que não era apropriado para a monocultura de cana-de-açúcar ou do café (atividade em pleno desenvolvimento na época). Além disso, a região era de difícil acesso e longe dos centros litorâneos. Portanto, houve um declínio brusco na economia e a cidade parou de se desenvolver. Estes fatores acabaram por contribuir para a preservação arquitetônica e artística da cidade, fato que não ocorreu na maioria das cidades brasileiras (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007).

No início do século XX, iniciou-se a exploração de jazidas de minério de ferro e bauxita no quadrilátero ferrífero, havendo na região, a instalação de grandes indústrias siderúrgicas e metalúrgicas. Conseqüentemente, gerou-se novamente uma grande movimentação na região, o que se tornou uma ameaça ao acervo histórico barroco. Com o intuito de preservar o patrimônio barroco, o governo brasileiro decretou em 1933 (decreto nº 22.928), a cidade de Ouro Preto como Patrimônio Histórico Nacional.

As cidades próximas também foram beneficiadas por esse decreto. Em 1938, todo o centro histórico de Ouro Preto foi tombado a partir da criação do Serviço do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (SPHAN). Em 1980, a United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) declarou Ouro Preto como “Cidade Monumental Mundial”. Com essa declaração, houve um significativo crescimento do turismo, que propiciou o fortalecimento do artesanato na região (SCARLATO, 1996; CASTILHOS et al., 2006; SILVA, 2007). Na Figura 3, é apresentada uma vista parcial, atual, da cidade de Ouro Preto.



Figura 3 – Vista parcial da cidade de Ouro Preto. Fonte: <http://www.ouopreto.org.br>

2.2.1 Aspectos geológicos do quadrilátero ferrífero

O quadrilátero ferrífero está localizado no limite meridional do cráton do São Francisco, correspondente à unidade tectônica de idade arqueana, que compreende entre 3,85 bilhões a 2,5 bilhões de anos atrás (SILVA, 2007).

O quadrilátero ferrífero possui uma geologia muito complexa, é uma província metalogenética onde ocorre ouro, ferro, manganês, bauxita, urânio e outros bens minerais. O quadrilátero ferrífero é dividido em três unidades estratigráficas:

- (1) Rochas Graníticas
- (2) Supergrupo Rio das Velhas

(3) Supergrupo Minas (SGM), do proterozóico inferior (BEZERRA, 1999).

A rocha esteatito ocorre na unidade estratigráfica SPRV, na seqüência Greenstone Belt junto com serpentinito. (SILVA, 2007).

2.3 A tradição do artesanato em pedra-sabão

O uso da pedra-sabão na região de Ouro Preto ocorre desde a época dos índios Tupinambás que ali habitavam. Eles utilizavam a pedra-sabão para fabricar utensílios, como as tradicionais panelas, que ainda hoje são fabricadas na região. A Figura 4 apresenta uma típica panela da região, produzida atualmente.



Figura 4 – Típica panela de pedra-sabão fabricada atualmente em Santa Rita de Ouro Preto. Foto de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

Porém, durante o período de colonização, a coroa portuguesa impôs restrições sobre o desenvolvimento de manufaturas na colônia, atitude que inibiu o desenvolvimento do artesanato (SCARLATO, 1996). Nessa época, o uso da pedra-sabão restringiu-se à construção civil, sendo utilizada na construção de alicerces, marcos, vigas, chafarizes e na canalização de água e esgoto, mas principalmente, na estatuária e ornamentação de obras barrocas, como se vê nas Figuras 5 (a) e (b). (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

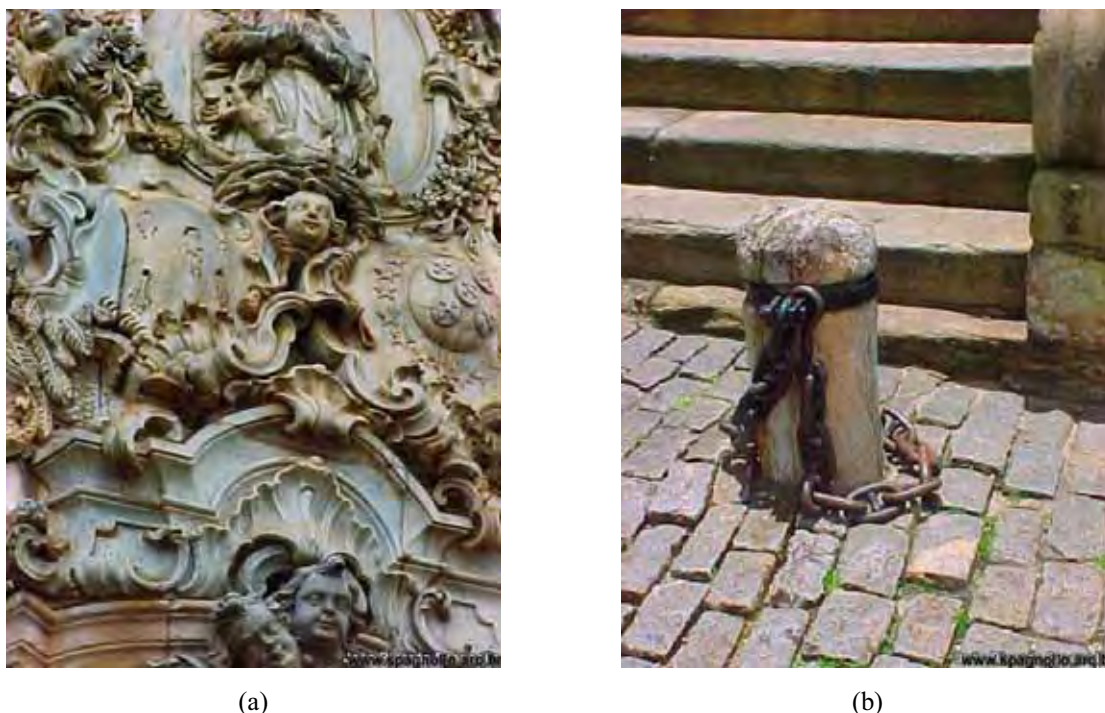


Figura 5 – (a) Detalhe da decoração no estilo barroco em pedra-sabão de uma das Igrejas de Ouro Preto-MG; (b) escadaria e um pilarete em Ouro Preto. Fonte: <http://www.spagnollo.arq.br>

Com o declínio do ciclo do ouro, entre os, séculos XVIII e XIX, a cidade entrou em decadência e consequentemente, o uso da pedra-sabão também. No entanto, o seu uso permaneceu na zona rural, como matéria-prima para a fabricação artesanal de utensílios domésticos, principalmente, painéis (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

Em 1897, quando a sede do governo do estado de Minas Gerais transferiu-se para Belo Horizonte, a economia da região mudou novamente, passando a se basear na fundição de ferro, cultura de chá e na exploração de ouro subterrâneo. Os utensílios domésticos em pedra-sabão abasteciam o comércio regional. Na segunda metade do século XX, quando houve nova intensificação da mineração de ferro e de bauxita, foram atraídas mais indústrias siderúrgicas e metalúrgicas para a região, havendo uma recuperação na economia local. No entanto, nos anos de 1960 os utensílios domésticos em pedra-sabão foram substituídos por utensílios de alumínio e, assim, houve novamente um declínio no uso de peças em pedra-sabão. Na década de 1970, houve uma mudança na atividade, as painéis deixaram de ser fabricadas porque as mineradoras que exploravam as rochas da região tiraram o livre acesso dos artesãos às

jazidas, obrigando-os a comprar o material (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

Na década de 90, dez anos após a declaração da UNESCO, com o desenvolvimento do turismo e o declínio da produção de alumínio, os artesãos passaram a fabricar peças em pedra-sabão como meio de sobrevivência destinadas à venda para os turistas. Nesta mesma época, a população local passou a ter acesso à eletricidade e a utilizar o torno e a serra elétrica para fabricarem peças torneadas como as tradicionais panelas (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

Na Figura 6, é possível observar um torno tradicional, utilizado na região de Ouro Preto.



Figura 6 – Tradicional torno de uma oficina de Santa Rita de Ouro Preto. Foto de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

Essa atividade artesanal foi realizada sem cuidado com a segurança, sendo comum a ocorrência de acidentes envolvendo o uso do torno e das serras elétricas. No entanto o mais grave é a exposição do artesão ao pó da pedra-sabão.

A produção de peças com serras e tornos causa excessiva poeira, que não só atinge os artesãos, como também a população dos arredores, sendo que, normalmente, os locais de produção são próximos às residências. Essa poeira causa sérios problemas respiratórios na população e já foi constatado que grande parte dos artesãos de Mata

dos Palmitos, subdistrito de Santa Rita de Ouro Preto, possui problemas respiratórios graves e irreversíveis. Além do problema da inalação, o constante contato do pó com a pele causa uma série de problemas dermatológicos (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

A atividade com pedra-sabão é tipicamente de cunho familiar, sendo que o trabalho manual, como esculturas de animais, anjos, cinzeiros, entre outras, é realizado pelas mulheres, como se pode observar na Figura 7. A maioria dessas mulheres tem ensino fundamental incompleto e iniciou seus trabalhos no artesanato com idade entre sete e oito anos (CASTILHOS et al., 2006).



Figura 7 – Artesã de Santa Rita de Ouro Preto esculpindo peças em pedra-sabão. Fotos de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

As peças que precisam de torno e serra elétrica são feitas exclusivamente pelos homens. Segundo Castilhos et al. (2005), a produção do artesanato com serra e/ou torno aproveita em torno de 10% da rocha, gerando, portanto uma enorme quantidade de resíduos (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

Pode-se afirmar que, apesar de todas as dificuldades e precariedade da confecção das peças em pedra-sabão, essas famílias dependem quase exclusivamente desta atividade para sobreviverem. No entanto, nos últimos anos, devido às várias dificuldades, como o alto custo da pedra-sabão e de sua baixa qualidade, pois a matéria-prima, normalmente, é representada por rejeitos da lavra de pedra-sabão e o artesão paga por esses rejeitos, cerca de R\$ 200,00 (duzentos reais) por tonelada de fragmentos grandes ou rejeitos de rocha (informação cedida pelos artesãos, em agosto de 2009). Além disso, devido à pouca valorização das peças produzidas e dificuldades

de comercialização, esta atividade está sendo abandonada. Os mais jovens procuram, atualmente, outras fontes de renda, como o trabalho com carvão vegetal, que cresce na região, mas é considerado um trabalho penoso e mal remunerado. Mesmo assim a maioria das famílias da região obtém a maior parte da renda com o artesanato da pedra-sabão e, os mais velhos, são agradecidos a esta atividade, por garantir a sobrevivência de sua família e de seus filhos (SILVA, ROESER, 2003; CASTILHOS et al., 2006; CAMPOS, CASTILHOS, 2007).

2.3.1 A importância do artesanato

Uma definição para o artesanato pode ser: a produção realizada manualmente por um artesão (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009).

Hoje em dia, com a industrialização e o incessante desenvolvimento da tecnologia, qualquer produto confeccionado manualmente se diz pertencente à cultura popular (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009).

Uma das características mais importantes da atividade artesanal é que ela possui caráter familiar e seu aprendizado é adquirido pela prática que, normalmente, é passada de geração a geração. O ofício é adquirido com a vivência no meio onde o iniciante aprende observando e ajudando os mais experientes (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009).

Normalmente, o artesanato se desenvolve conforme os recursos naturais da região, estilo de vida, necessidades da população local e dos turistas, se for o caso, e das condições favoráveis à comercialização. Os produtos artesanais podem ser utilitários, decorativos, lúdicos ou religiosos, conforme o estilo de vida da comunidade.

A atividade artesanal é muito antiga, surgiu no período neolítico (6000 a.C) quando o homem deixou de ser nômade e passou a fabricar utensílios de cerâmica para armazenar alimentos. Foi quando aprendeu também a polir rochas para servir de ferramentas para as tarefas diárias e ainda a tecer, utilizando fibras vegetais e animais.

Objetos deste período foram encontrados também no Brasil, mais precisamente, no sudeste do estado do Piauí (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009).

No Brasil, do ponto de vista econômico, o artesanato possui grande potencial de crescimento, pois é uma atividade que gera trabalho e é fonte de renda para muitas famílias. Tal é sua importância, que atualmente existe o Programa do Artesanato Brasileiro (PAB) vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, elaborado por meio do Decreto nº 1.508 de 31 de maio de 1995. O objetivo principal desse programa é estimular a atividade artesanal, de modo a preservar a cultura regional e suas peculiaridades, incentivando o desenvolvimento de empreendimentos, inclusive de exportação (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009). Um dos desafios que o governo enfrenta é conscientizar os artesãos quanto às mudanças de certos comportamentos e atitudes pois, essa compreensão é importante para poderem enfrentar um mercado competitivo e exigente, principalmente se houver interesse em exportação, onde terão que obedecer à legislação (<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br>, 2009).

2.4 A rocha esteatito

Comercialmente e popularmente conhecida como pedra-sabão, Figuras 8 (a) e (b), a rocha esteatito é comum no Estado de Minas Gerais, mais especificamente, na região do quadrilátero ferrífero, onde há muitas jazidas de pedra-sabão, principalmente nos arredores de Ouro Preto, como no distrito de Santa Rita de Ouro Preto (PONTES; ALMEIDA, 2005).



Figura 8 – Pedra-sabão com coloração creme (a) e verde (b) de Santa Rita de Ouro Preto. Fotos de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

Geologicamente, o termo esteatito e/ou pedra-sabão é usado para designar uma rocha maciça, constituída principalmente pelo mineral talco (filossilicato de Mg), cuja fórmula é: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Na Figura 9, é possível observar a estrutura do mineral talco (PONTES; ALMEIDA, 2005).

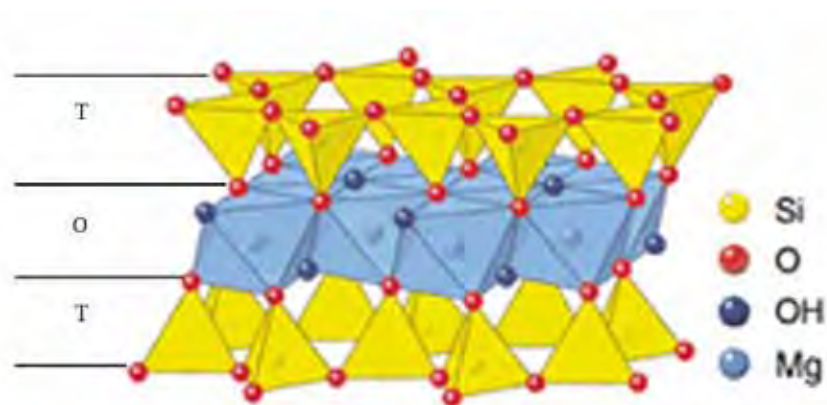


Figura 9– Estrutura cristalina do mineral talco, principal constituinte da pedra-sabão. Fonte: http://www.luzenac.com/talc_the_mineral.htm.

Seus constituintes Mg, Si, O e OH são organizados espacialmente com estrutura do tipo 2:1, ou seja, duas camadas tetraédricas (T) para uma camada octaédrica (O), T-O-T. A camada tetraédrica é composta por átomos de silício e oxigênio e a octaédrica é composta por magnésio e hidroxila. A ligação química entre as camadas

T-O-T ocorre pela ação de força de van der Waals, responsável por certas características peculiares como, por exemplo, o caráter hidrofóbico, a untuosidade, ação lubrificante e a capacidade de ser adsorvente de óleos (PONTES; ALMEIDA, 2005).

O mineral talco pode ser encontrado em rochas ígneas ultrabásicas como o gabro, o peridotito e em metamórficas. Nas rochas ígneas, o talco é originado da transformação dos silicatos de magnésio, como olivina e piroxênios. Nas rochas metamórficas, como o esteatito, chamada comercialmente de pedra-sabão, o talco apresenta forma granular e/ou criptocristalina (microcristais) e constitui quase toda a massa da rocha, que é compacta e macia. Para a obtenção do mineral puro é necessário que essas rochas passem por processos de beneficiamento, como a moagem e até operações de concentração.

Porém, além do mineral talco, pode-se encontrar outros minerais acessórios, também chamados de impurezas, como os do grupo da serpentina, sulfetos, carbonatos, magnesita, dolomita, quartzo, clorita e anfibólios. Segundo Castilhos et al. (2006), os anfibólios são representados principalmente pelo silicato composto por hidróxido de Fe, Mg e Ca, cujas fibras são extremamente pequenas, entram facilmente nos pulmões e danificam os alvéolos, sendo, portanto, altamente cancerígenas (SILVA, ROESER, 2003; PONTES, ALMEIDA, 2005; ALMEIDA, 2006; TEIXEIRA et al., 2008).

O esteatito é uma rocha de baixa dureza (1 na escala Mohs), devido às grandes quantidades do mineral talco em sua composição, sendo muito utilizada em esculturas. A rocha apresenta aspecto oleoso e saponáceo ao tato, daí o nome de pedra-sabão, apresentando coloração que varia do amarelo-creme até o cinza esverdeado, em várias tonalidades, devido à variação dos minerais constituintes. Quando intemperizados apresentam coloração acastanhada devido aos óxidos e hidróxidos de Fe e poros macroscópicos e cavidades resultantes da lixiviação de porfiroblastos de carbonato e sulfeto.

Uma das propriedades mais apreciadas é a sua capacidade de suportar temperaturas desde valores em torno 0°C até superiores a 1.000°C, além de resistir às

variações intempéricas (SILVA, ROESER, 2003; PONTES, ALMEIDA, 2005; ALMEIDA, 2006; TEIXEIRA et al., 2000).

No entanto, há muitos inconvenientes ao usar a pedra-sabão para o artesanato, devido à falta de seleção de rochas de melhor qualidade. O esteatito é uma rocha heterogênea, pois possui uma composição mineralógica variada, onde as diferenças estão nas proporções dos minerais: talco, carbonatos, cloritas e anfíbios (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007), os esteatitos com quantidade mais elevada de carbonatos, sempre apresentarão problemas estéticos e pouca durabilidade. Os principais problemas apresentados nos monumentos de pedra-sabão que sofreram e ainda sofrem ação do tempo, são alterações da coloração, relevos e fissuras. Foi constatado que esses esteatitos são heterogêneos no que diz respeito à sua composição, portanto sua aplicação é mais apropriada para ambientes internos de parede, peças artesanais (decoração) e utensílios domésticos (SILVA, 2007).

As rochas de esteatito são encontradas em formato globular, apresentando e há veios de outros minerais como os do grupo da serpentina. Esses veios dificultam e, às vezes até impedem a lavra em forma de blocos, pois a ocorrência de fratura nessas regiões é comum. Esse fator dificulta o trabalho de artesãos, que reclamam de fraturas durante o manuseio (SILVA, ROESER, 2003; PONTES, ALMEIDA, 2005; ALMEIDA, 2006; TEIXEIRA et al., 2000).

A variabilidade em pureza e qualidade do esteatito influencia diretamente sua aplicação, sendo que as rochas de melhor qualidade são exportadas e também direcionadas para a construção civil, em especial, para revestimento, fabricação de fontes, entre outras aplicações. O restante é utilizado no artesanato, cuja produção varia desde as tradicionais painéis até pequenas esculturas, porta-jóias, tabuleiros para jogos de xadrez e damas, vasos, entre outros. Na Figura 10 podem ser observados artesanatos de pedra-sabão expostos em lojas do distrito de Santa Rita de Ouro Preto.



Figura 10 – Algumas peças do artesanato em pedra-sabão de Santa Rita de Ouro Preto. Fotos de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

Segundo informações cedidas pelos próprios artesãos, em levantamentos realizados em 2009, a rocha é encontrada no formato de um grande glóbulo, e se divide em camadas, sendo que a camada externa, mais exposta à intempérie, possui coloração amarelo-creme e é a parte mais frágil e de menor qualidade. A camada subsequente, de cor verde-acinzentada, é um pouco mais resistente que a camada amarelo-creme e com a parte interna da rocha são fabricadas as tradicionais panelas de pedra-sabão.

2.4.1 Aspectos mercadológicos da pedra-sabão, nome comercial do Esteatito

A crescente demanda de esteatito por países de clima frio aumentou consideravelmente a comercialização desta rocha lavrada em Minas Gerais. Na década de 1990, e entre 2000 a 2005 esse aumento foi de 378,16%. O crescimento da taxa de exportação exigiu do poder público maior atenção e controle, no que diz respeito à preservação ambiental (ALMEIDA, 2006).

A lavra realizada pela atividade industrial produz blocos de pedra-sabão para exportação, e gera grande quantidade de rejeitos. Alguns são moídos e, na forma de pó, são destinados à indústria química e farmacêutica, enquanto outros são destinados à atividade artesanal (ALMEIDA, 2006). Na Figura 11, pode ser observado o fluxograma mercadológico do esteatito.

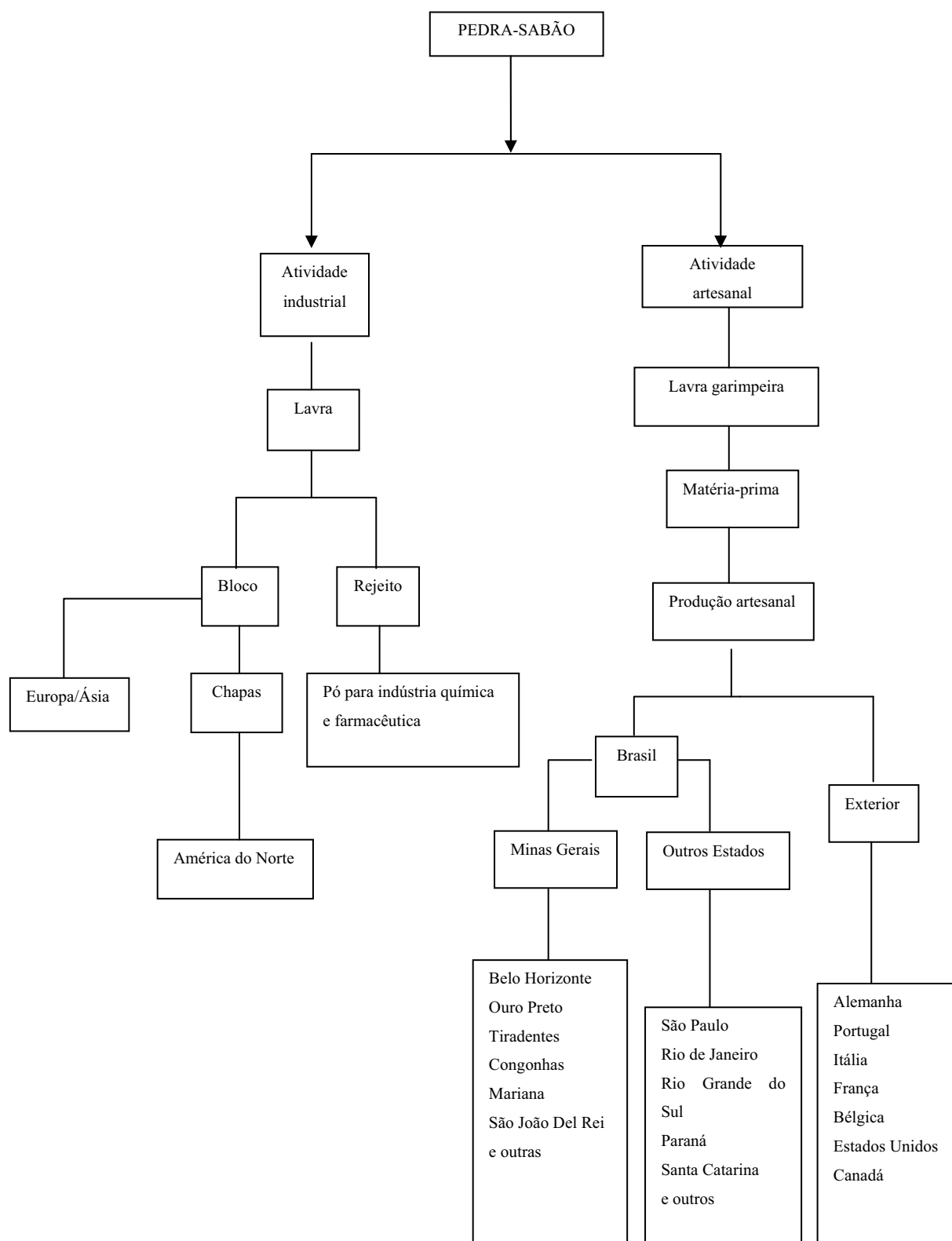


Figura 11 – Fluxograma mercadológico da pedra-sabão (esteatito) apud Suzana de Almeida (2006).

2.4.2 A pedra-sabão utilizada pelos artesãos e a origem dos resíduos

A atividade artesanal com pedra-sabão é normalmente desenvolvida com os rejeitos das mineradoras que são titulares dos alvarás de pesquisa e exploração. Atualmente (2011), devido ao aumento da demanda internacional de pedra-sabão e da escassez da mesma, as mineradoras estão dificultando cada vez mais o acesso dos garimpeiros informais às jazidas. Além dos garimpeiros não apresentarem autorização para acessar as jazidas, também não possuem equipamentos, nem conhecimento suficiente para a extração adequada da rocha e acabam por utilizar os rejeitos deixados pelas mineradoras. Como resultado, os artesãos utilizam rochas de baixa qualidade, com alta quantidade de impurezas, coloração indesejada e excessiva fragilidade. Na Figura 12 (a), é possível observar uma típica oficina de artesanato do distrito de Santa Rita de Ouro Preto e, na Figura 12 (b) artesãos trabalhando estas rochas em uma dessas oficinas (SILVA, ROESER, 2003; ALMEIDA, 2006).



(a)



(b)

Figura 12 – (a) Vista de uma típica oficina de Santa Rita de Ouro Preto; (b) Pedra-sabão sendo cortada para a confecção de peças artesanais em uma oficina domiciliar. Foto de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

2.4.3 Problema ambiental dos resíduos de pedra-sabão

As oficinas, também chamadas de Unidades Produtivas de Artesanato (UPAs), são responsáveis pelo descarte incorreto de seus resíduos. Com base em uma pesquisa

realizada com oitenta e seis oficinas de Ouro Preto, verificou-se que dos resíduos gerados da produção artesanal, 30% são despejados em terreno da própria oficina, 21% são descartados nos arredores, 28% em terrenos baldios, 10% são recolhidos pela prefeitura, 6% são jogados nos rios adjacentes, 3% são aplicados em plantações e 2% não foram identificados (ALMEIDA, 2006). Na Figura 13, é possível observar a quantidade de resíduos acumulado nas oficinas de artesanato.



Figura 13 – Resíduos de pedra-sabão acumulados em uma oficina de Santa Rita de Ouro Preto. Fotos de Carlos Eduardo Silva de Amorim (2009).

É importante salientar que o descarte de 6% de resíduos em rios adjacentes contribui para o assoreamento dos corpos d'água (RUTKOWSKI et al, 2002; ALMEIDA, 2006).

Segundo pesquisa realizada pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que envolveu toda a comunidade artesã de Santa Rita de Ouro Preto, constatou-se que há preocupação, por parte dos próprios artesãos, em relação à escassez da matéria-prima, com a disposição final dos resíduos, e com a necessidade de desenvolvimento de técnicas de aproveitamento desses resíduos (RUTKOWSKI et al, 2002; ALMEIDA, 2006).

Para se ter idéia da quantidade de resíduo gerado, para a fabricação de uma panela de 2 kg é necessária a lavra de um bloco de 20 kg, sendo os 18 kg restantes considerados resíduos dos quais, apenas 5% são utilizados para fabricar pequenas peças de artesanato e o restante é descartado (ALMEIDA, 2006). Nas Figuras 14 (a) e (b), observam-se dois tipos de resíduos gerados por uma fábrica de panelas de pedra-sabão em Santa Rita de Ouro Preto.



(a)



(b)

Figura 14 – Dois tipos de resíduos gerados por uma fábrica de panelas em Santa Rita de Ouro Preto, (a) resíduo em fragmentos e (b) resíduo em pó. Foto de Carlos Eduardo Silva de Amorim, 2009.

Todos esses problemas acontecem por falta de fiscalização efetiva, de locais apropriados para a deposição dos resíduos e, principalmente, pelo fato desse resíduo não ter nenhuma aplicação prática adequada. Portanto, o consumo desses resíduos em um processo produtivo que pode contribuir para a preservação ambiental e com a diminuição da exploração das rochas. De acordo com Torres (2007), novos materiais poderão ser produzidos a partir desses resíduos em busca de produtos ecologicamente corretos e com maior valor agregado.

2.5 Resíduos sólidos

Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010, Capítulo II, Art. 3º, XVI, resíduo sólido é definido como:

resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (LEI FEDERAL nº 12.305/ 2010).

De acordo com Cavalcanti (1998), a década de 1970 foi dedicada à água, a de 1980 ao ar e a de 1990 a dos resíduos sólidos. No começo da década de 1980 iniciou-se nos Estados Unidos da América (EUA) uma abordagem sobre resíduos sólidos, quando foi estabelecido o Superfund, que era uma legislação específica que focava a recuperação dos grandes lixões espalhados nos EUA. Essa abordagem favoreceu a Environmental Protection Agency (EPA) a elaborar uma legislação sobre resíduos sólidos, que constava no Federal Register nº40 (Federal Register é um diário oficial de regras e notícias do Governo norte-americano). No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) baseou-se na legislação americana para escrever a legislação do Estado de São Paulo (CAVALCANTI, 1998). Na Europa, a preocupação é voltada à recuperação dos resíduos e ao reaproveitamento energético devido à escassez de seus recursos naturais (KRAEMER, 2007).

Os resíduos sólidos podem ser originados de diversas atividades humanas, entre elas a industrial, onde são geradas grandes quantidades de resíduos, com características peculiares. Assim, torna-se extremamente necessário um tratamento prévio para que esses resíduos sejam dispostos de forma adequada no ambiente. Por serem prejudiciais, à saúde pública e ao meio ambiente, esses resíduos devem ser dispostos em aterros sanitários industriais, construídos e preparados para o tratamento e a disposição final, com a intenção de diminuir ao máximo o impacto ambiental e os danos à saúde pública (FLOHR et al., 2005).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2010), no período de 2008 a 2010 houve um crescimento considerável na geração de resíduos sólidos, devido ao crescimento

populacional urbano, bem como, ao aumento da renda per capita (<http://www.revistasustentabilidade.com.br/reciclagem/geracao-de-residuos-aumenta-em-2010-mas-reciclagem-continua-estacionada> - 2011).

Na Figura 15, é possível observar o aumento da geração de resíduos no período de 2008 a 2010.

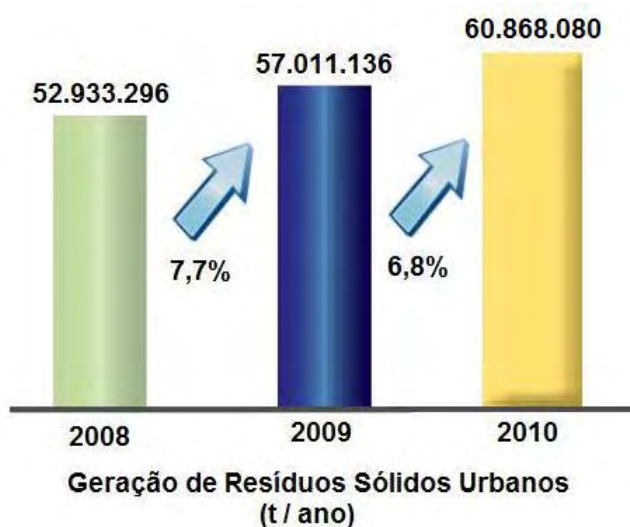


Figura 15 – Aumento da geração de resíduos de 2008 a 2010 (adaptado de ABRELPE, 2010).

Em relação à destinação correta, como se pode observar nos gráficos das Figuras 16 (a) e (b), no ano de 2010, houve um aumento na quantidade de resíduos que receberam uma destinação adequada. No entanto, a quantidade de resíduos gerados também aumentou (ABRELPE, 2010).

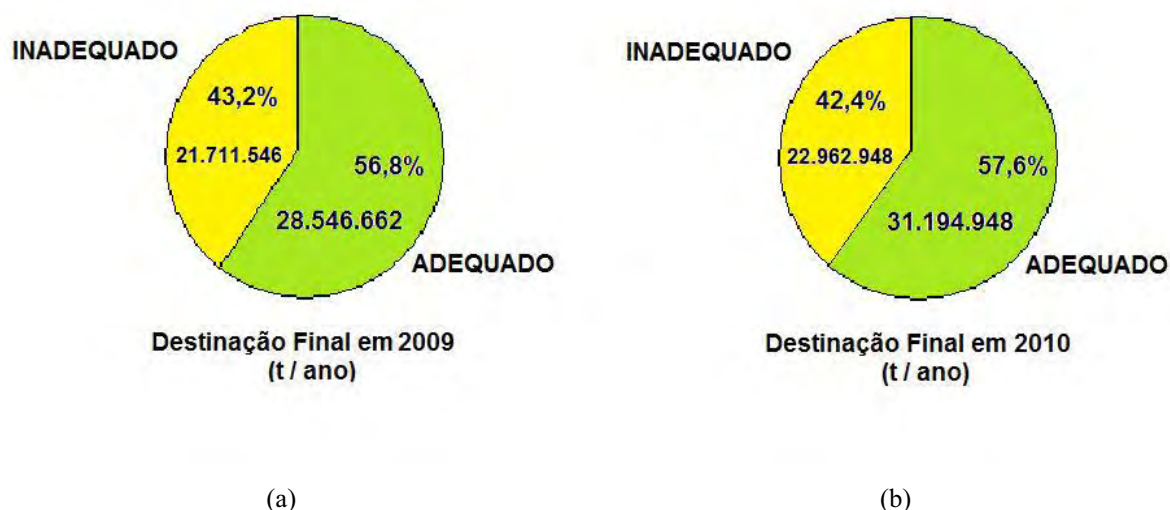


Figura 16 – (a) Destinação final em 2009 e, (b) em 2010 (adaptado de ABRELPE, 2010).

No tratamento adequado, os resíduos são levados aos aterros sanitários, onde passam por um processo classificatório para a determinação de seu potencial poluidor, sendo possível determinar qual o destino mais apropriado para cada tipo de resíduo. O processo classificatório segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2004a envolve o conhecimento da atividade/processo em que foi gerado o resíduo, seus constituintes e características. Após o conhecimento da composição do resíduo é realizada comparação com listagens de substâncias catalogadas para avaliar os potenciais impactos ao meio ambiente e à saúde pública. De forma geral, a classificação é feita a partir de análises físico-químicas sobre o extrato lixiviado de amostras brutas dos resíduos e das respectivas concentrações das substâncias encontradas. Há limites máximos de concentrações estabelecidas em listagens constantemente atualizadas da NBR 10.004 (ABNT, 2004a). De acordo com a NBR 2004a, os resíduos são classificados segundo sua periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, e/ou patogenicidade. Os resíduos que apresentam pelo menos uma das características citadas acima são classificados como classe I e os que não apresentam tais dessas características são classificados como classe II.

Então, de acordo com a NBR 10.004 –os resíduos (ABNT, 2004c) são divididos em 3 classes:

- a) Resíduos de classe I – Perigosos
- b) Resíduos de classe II – Não-perigosos
 - resíduos classe II A – Não-perigosos e não-inertes
 - resíduos classe II B – Não-perigosos e inertes

De acordo com a legislação em vigor, as indústrias são responsáveis pelos resíduos gerados. Nesse cenário, várias pesquisas têm sido desenvolvidas visando o reaproveitamento do resíduo na mesma linha de produção que o gerou ou em outras atividades industriais (FLOHR et al., 2005).

A reciclagem dos resíduos industriais é uma das formas mais atraentes para solucionar os problemas de gerenciamento de resíduos, tanto do ponto de vista ambiental quanto do industrial. A função principal da reciclagem é diminuir o desperdício e a quantidade de resíduos encaminhados aos lixões e/ou aterros sanitários,

e aumentar os insumos, pois muitos materiais descartados podem ser reutilizados na própria indústria que o gerou e descartou como em outros tipos de processamento e áreas. Se a indústria encontrar uma forma de reaproveitar ou vender os resíduos gerados por ela, estará designando uma forma atraente de resolver o problema e, ainda, conseguir uma nova fonte de renda. Do ponto de vista ecológico, a reciclagem e/ou aproveitamento diminui a quantidade de resíduos jogados no ambiente e contribui para a preservação das matérias-primas não-renováveis. Infelizmente, a reciclagem e/ou aproveitamento dos resíduos industriais ainda é pouco diante das enormes quantidades gerados nos processos industriais e, dia após dia, agride mais o meio ambiente. Portanto, é necessário investir cada vez mais em alternativas para reaproveitar esses resíduos e contribuir para um meio ambiente mais saudável e limpo (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2001).

2.5.1 Resíduos de rochas ornamentais

Este setor industrial de extração de rochas é muito similar ao da indústria cerâmica tradicional. Essas rochas são empregadas na construção civil (acabamento e revestimento) e esculturas. As rochas ornamentais mais conhecidas são os mármore, os granitos, a ardósia, a pedra São Tomé e a pedra-sabão. Só a extração de mármore e granitos correspondem a 90% da produção mundial de rochas ornamentais (SPÍNOLA et al., 2004).

O Brasil é um grande exportador de rochas ornamentais, pois possui grandes reservas, principalmente de mármore e granito, que concorrem com os revestimentos cerâmicos (MOREIRA et al., 2003).

Durante os processos de extração e corte das rochas ornamentais são gerados grandes quantidades de resíduos em forma de lama abrasiva. Essa lama é constituída pelo pó das rochas que normalmente correspondem a 20-25% do bloco da rocha beneficiada e outros materiais em menores quantidades como a granalha metálica¹, cal e água. Esse resíduo é classificado como pertencente à Classe II A – Não-perigoso e

¹ Material de jateamento

não-inerte, porém não passa por tratamento antes de sua disposição no ambiente podendo contaminar solos, rios, lagos e reservatórios naturais de água. Muitas indústrias mineradoras armazenam esses resíduos em pátios, que em grandes quantidades, tornam o armazenamento oneroso para a indústria. Além disso, quando essa lama é seca, transforma-se num pó muito fino que pode provocar doenças respiratórias (MOREIRA et al, 2003; PONTES, STELLIN JÚNIOR, 2005).

Estima-se que o Brasil produza por volta de 240.000 toneladas de resíduos provenientes apenas da indústria mineradora de mármore e granitos nos estados da Bahia, Espírito Santo, Ceará e Paraíba entre outros estados. Diante das atuais preocupações com o meio ambiente, há muitos estudos que pesquisam alternativas para esses resíduos (FORMIGONI et al., 2006).

2.6 Desenvolvimento sustentável e meio ambiente

Entre as diversas ciências existentes, seja na área de exatas, humanas ou biológicas, existe um objeto de estudo em comum: o meio ambiente e, conseqüentemente, o estudo do desenvolvimento sustentável.

Atualmente (2011), é comum o termo: “ciências ambientais” ou “ciência do meio ambiente”. Esse é um assunto de extrema importância, pois envolve o nosso meio ambiente, tudo o que há de recursos disponíveis e a nossa total dependência de tais recursos. O ser humano sempre explorou os recursos naturais à sua volta. Essa exploração se intensificou com a revolução industrial no século XVIII, onde o objetivo era apenas o desenvolvimento econômico. Naquela época, não havia a mínima preocupação com o meio ambiente, porque se acreditava que os recursos naturais eram ilimitados. Apesar do enorme progresso econômico, grandes problemas sociais e ambientais foram criados. Esses problemas agravaram-se, porque somente no século XX o homem passou a ter consciência de que a exploração desordenada causa danos ao meio ambiente e, conseqüentemente, percebeu que grande parte dos recursos naturais não são renováveis, e que a humanidade é totalmente dependente desses. Um

dos recursos dos quais o homem e o progresso são dependentes são os minerais, chamados também de recursos finitos (NUNES, 2006).

A expressão *desenvolvimento sustentável* surgiu em 1980, quando a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) elaborou um documento, chamado de Estratégia de Conservação Mundial, cujo objetivo é conservar os recursos naturais e assim alcançar o desenvolvimento sustentável. A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) definiu desenvolvimento sustentável como sendo o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações de satisfazerem suas necessidades.

Com o apoio da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1986 na Conferência de Ottawa no Canadá, foi determinado que o desenvolvimento sustentável deve obedecer a cinco requisitos básicos:

- (1) Que as necessidades humanas básicas devem ser atendidas;
- (2) Preservar a igualdade e a justiça social;
- (3) Preservar as diversidades sociais e culturais;
- (4) Almejar o desenvolvimento junto ao preservacionismo;
- (5) Preservar a integração ecológica.

Espaço e meio ambiente são conceitos dependentes das relações sociais e, conseqüentemente, do que chamamos de desenvolvimento sustentável (BARONI, 1992; JACOBI, 1999; FARIA, 2002; NUNES, 2006).

2.6.1 O desenvolvimento sustentável e a mineração

Mesmo que a mineração tenha colaborado para o progresso da civilização no aspecto técnico-científico, é uma atividade exploracionista e, normalmente, acarreta degradação ambiental. A mineração é, sem dúvida, uma atividade essencial para o desenvolvimento da economia mundial, porém, desde que seja realizada com responsabilidade social e ambiental, ou seja, que vise o desenvolvimento sustentável, senão as consequências podem ser devastadoras ao meio ambiente. A Constituição Federal de 1988 dedica um capítulo ao meio ambiente e inclui um dispositivo que

obriga àquele que explora os recursos minerais a recuperar o meio degradado (Constituição Federal, art.225, § 2º, 1988).

No que diz respeito à exploração de rochas ornamentais, como a pedra-sabão, por exemplo, os principais impactos causados ao meio ambiente são o desmatamento e a remoção do capeamento do solo, a poluição atmosférica, sonora e visual e os depósitos de rejeito (rochas consideradas de baixa qualidade para exportação) (MACHADO, 1989; BEZERRA, 1999).

Segundo Bezerra (1999), alguns rejeitos de determinadas pedreiras têm sido usados para aterramentos, barragens e como matéria-prima na construção civil, porém o desmatamento tem afetado principalmente a fauna e a flora (BEZERRA, 1999).

A extração mineral, se não for realizada com responsabilidade, poderá degradar o ar, a água e o solo. Não há dúvidas de que, se houver um planejamento adequado, há possibilidade para a atenuação dos danos ao meio ambiente e para que a mineração seja bem sucedida em todos os sentidos, tanto economicamente, quanto ecologicamente (MACHADO, 1989).

Um dos mais importantes meios para a economia de energia e de material é indiscutivelmente, a reciclagem. Tecnicamente, quase todos os materiais são passíveis de reciclagem. Segundo Machado (1989) a reciclagem apresenta inúmeras vantagens, como por exemplo, as citadas abaixo:

- Diminui a necessidade de aterros próprios para os rejeitos;
- Diminui o impacto sobre o meio ambiente;
- Diminui a drenagem de recursos naturais.

Portanto, pesquisar e analisar os rejeitos que no futuro poderão ser recuperados, com certeza, ajudará na conservação dos recursos naturais (MACHADO, 1989).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Resíduos de pedra-sabão

Os resíduos utilizados neste trabalho foram obtidos da produção de artesanato em pedra-sabão do distrito de Santa Rita de Ouro Preto, Ouro Preto, Estado de Minas Gerais. Esse tipo de artesanato gera grandes quantidades de resíduos, que atualmente são descartados no ambiente por não ter utilização ecologicamente correta. Foram trazidas de Santa Rita de Ouro Preto amostras de três tipos de resíduos, duas originadas da rocha esteatito com coloração amarelo-creme coletadas em duas oficinas domiciliares, e uma de resíduo originada da rocha verde-acinzentado, coletada em uma fábrica de painéis de Santa Rita de Ouro Preto. A produção dessas painéis é realizada com a presença de água, pois assim evita-se a liberação de poeira para o ar, que poderia causar problemas respiratórios aos funcionários. Esse resíduo é despejado em um tanque de decantação, onde fica estocado com a água, e, quando cheio, o resíduo é despejado num terreno dentro da própria fábrica sem proteção, estando sujeito à mistura com terra e vegetação. O resíduo de coloração verde-acinzentado, originado da fábrica de painéis, é um pó aparentemente fino.

Os resíduos de coloração amarelo-creme, coletados nas oficinas domiciliares de artesanato são originados tem origem do mesmo tipo de rocha, porém com algumas características diferentes, devido ao tipo de equipamento utilizado pelos artesãos, podendo estar na forma de pó fino ou de pó de granulometria grosseira.

Para a identificação dos resíduos, foi adotada a nomenclatura apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Resíduos utilizados nesse trabalho e suas origens.

RESÍDUO	COLORAÇÃO	ORIGEM
R1	Amarelo-creme	Oficina domiciliar 1
R2	Amarelo-creme	Oficina domiciliar 2
R3	Verde-acinzentado	Fábrica de painéis

3.2 Aditivos

Aditivos são os lubrificantes, plastificantes, ligantes, defloculantes, entre outros elementos, que podem ser adicionados para aumentar a plasticidade ou o escoamento e/ou diminuir o atrito do material com as paredes do molde (NORTON, 1973; RAHAMAN, 2003).

No processo de conformação de cerâmicas, o uso de aditivos são essenciais para controlar as características do material para alcançar o formato desejado e a uniformidade do empacotamento das partículas dos corpos verdes, ou seja, antes do processo de queima. Em métodos como a colagem, no preparo de uma barbotina, por exemplo, a escolha de aditivos adequados é de vital importância (RAHAMAN, 2003).

Os aditivos podem ter composições orgânicas e inorgânicas. Os aditivos orgânicos, que podem ser sintéticos ou naturais, são muito utilizados na fabricação de cerâmicas avançadas, porque eles podem ser removidos quase por completo antes da etapa de sinterização. Assim, a maior quantidade de resíduos que poderia degradar a microestrutura do material é eliminada. Aditivos orgânicos sintetizados têm uma grande variedade de composições para aplicações específicas. Já os aditivos inorgânicos, geralmente não podem ser removidos após a etapa de conformação e são mais usados na fabricação de cerâmicas tradicionais, onde os resíduos não têm um efeito nocivo nas propriedades finais do produto (RAHAMAN, 2003).

Os aditivos apresentam uma variedade de funções especializadas, que podem ser divididas em quatro categorias principais:

- (1) Solventes;
- (2) Dispersantes (também chamados de defloculantes);
- (3) Ligantes;
- (4) Plastificantes.

Os ligantes têm a função de aderir às partículas formando uma ponte entre elas causando uma ação aglomerante entre as partículas. Eles fornecem resistência à peça antes do processo de sinterização (resistência a verde). Em alguns processos de conformação, eles também proporcionam um aumento de plasticidade na matéria-

prima. Um grande número de substâncias orgânicas podem ser utilizadas como ligantes sendo que alguns, são solúveis em água (RAHAMAN, 2003).

Os plastificantes são substâncias orgânicas, com peso molecular mais baixo do que os ligantes. A função principal dos plastificantes é suavizar a ação de um ligante no estado seco e com isso, aumentar a flexibilidade do corpo verde. Nos processos em que o ligante é introduzido como uma solução, o plastificante precisa ser solúvel no mesmo líquido usado para dissolver o ligante. No estado seco, o ligante e o plastificante são misturados homogeneamente. As moléculas do plastificante formam uma cadeia polimérica de ligante, através disso interrompem e/ou reduzem a ligação do tipo van der Waals entre as cadeias adjacentes, o que suaviza a ação do ligante, mas também pode reduzir a sua resistência (REED, 1995; RAHAMAN, 2003).

3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um material cerâmico muito fino, que possui propriedades aglutinantes, atuando como ligante, sendo matéria-prima básica para a fabricação do concreto (cimento Portland + água + areia + pedra britada).

Há alguns anos, havia apenas um tipo de cimento Portland no mercado. Atualmente (2011), com o desenvolvimento de novas técnicas e materiais alternativos, foram criados vários tipos de cimento Portland, com aplicações específicas (BOLETIM TÉCNICO – ABCP, 2002).

O cimento também pode ser chamado de aglomerante hidráulico, isso por que sua ação aglomerante é ativada com a adição da água (ARAÚJO, RODRIGUES, FREITAS, 2009).

Os principais e mais comuns tipos de cimento Portland disponíveis no mercado são: o cimento Portland comum, o cimento Portland composto, o cimento Portland de alto-forno e o cimento Portland pozolânico. Os cimentos menos consumidos e que possuem características peculiares, são; o cimento Portland de alta resistência inicial, o cimento Portland resistente aos sulfatos, o cimento Portland branco, o cimento Portland de baixo calor de hidratação e o cimento específico para poços petrolíferos.

Todos os tipos de cimento Portland são normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O cimento escolhido para este trabalho foi o tipo CPIII (cimento Portland de alto-forno), principalmente devido à facilidade de ser encontrado no mercado e o seu baixo custo. O cimento CPIII foi produzido pela necessidade de diminuição do consumo de energia e uma alternativa bem-sucedida, foi o uso de escória de alto-forno em sua composição. O uso dessas escórias também é uma alternativa ecologicamente correta, pois estas são consideradas como lixo pela indústria siderúrgica. Esse cimento é adequado para uso em construções e fundações em regiões litorâneas, pois são mais resistentes, duráveis, econômicos e de fácil trabalhabilidade (BOLETIM TÉCNICO – ABCP, 2002).

3.2.2 Gesso

O gesso é um material cerâmico, comercializado na forma de pó de coloração propriedades aglomerantes branca e é um dos materiais com propriedades aglomerantes mais antigos. O gesso é obtido do mineral gipsita (sulfato de cálcio), que após a calcinação e moagem dá origem ao gesso. Uma das propriedades mais interessantes da mistura, gesso e água é o seu endurecimento rápido, pois como o cimento, o gesso também é um aglomerante hidráulico. Quando a pasta gesso e água endurece, forma-se uma superfície lisa. O gesso é muito utilizado na construção civil, como material de revestimento, placas de rebaixamento de teto, entre outras aplicações (ARAÚJO, RODRIGUES, FREITAS, 2009).

O gesso utilizado neste trabalho foi fabricado pela empresa Mossoró S.A.

3.2.3 Acetato de polivinila (PVA)

A princípio, foi utilizado o álcool polivinílico (PVal) como ligante no processamento, porém devido ao seu alto custo e dificuldade de aquisição, que poderia inviabilizar seu uso pelos artesãos, foi substituído pela cola branca.

Popularmente conhecido como cola branca, o PVA é um polímero sintético encontrado no mercado em embalagens, que variam de 40g a 50 kg e possui aspecto líquido pastoso, opaco, de coloração branca. Quando seca, forma uma película brilhante e transparente e seu tempo de cura varia de 18 a 24 horas. O PVA é uma cola atóxica, inodora, barata e solúvel em água, sendo por isso, muito utilizada por crianças em idade escolar. A cola branca é indicada para a colagem de materiais porosos como papel, madeira e cerâmica porosa. A cola utilizada neste trabalho foi fabricada pela Henkel Ltda.

3.2.4 Parafina granulada

A parafina é um produto derivado do petróleo, composto por misturas de hidrocarbonetos saturados, que tendem a cristalizar como placas ou nódulos. Possui aspecto sólido branco, inodoro e sem gosto, seu ponto de fusão varia entre 58°C e 62°C. A parafina é insolúvel em água, porém é solúvel em éter e em benzeno e possui propriedades termoplásticas e repelência à água. Existem vários tipos de parafina, que variam, em geral, em relação às suas aplicações, e podem ser comestíveis. As parafinas são fornecidas de diversas formas, granuladas, em tabletes, no formato de lentilhas, entre outras. Sob baixas temperaturas, a parafina se torna frágil e sob aquecimento transformam-se em um fluido plástico (REED, 1995).

A parafina utilizada neste trabalho foi cedida pela Solven Solventes Químicos Ltda. O tipo escolhido foi a parafina Wax Plus granulada, indicada para impermeabilização de lonas e papéis, na fabricação de velas, na composição de ceras em geral, em aditivos de borrachas e em indústria química. Porém, a escolha baseou-se apenas no formato do granulado, pois facilita o processamento do resíduo de pedra-sabão. Essa parafina é composta, basicamente, por hidrocarbonetos saturados e baixos teores de hidrocarbonetos poliaromáticos e possui excelente estabilidade química. É um produto atóxico e não volátil, seu ponto de fusão é de 61,4°C. Por ser quimicamente inerte, foi constatado que não causa danos ao ambiente, conforme ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO CEDIDO PELA SOLVEN Ltda em 2009.

3.3 Processamento

Pela facilidade de utilização e pela necessidade de obtenção de resistência a verde, o método de conformação escolhido foi a prensagem uniaxial para a confecção de todas as pedras-sabão sintéticas.

3.3.1 Prensagem Uniaxial

Segundo Albero (2000), a prensagem é uma operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, que possui forma apropriada, pela aplicação de tensão de compressão.

A prensagem é um método utilizado para fabricar peças com materiais argilosos e não-argilosos. O pó granulado geralmente está misturado com pequena quantidade de água e com algum aditivo, com característica aglomerante e/ou ligante. Durante a compactação, as partículas do material cerâmico não sofrem nenhuma deformação plástica, como geralmente acontece com os pós-metálicos (CALLISTER, 2002).

A principal função do aglomerante/ligante, quando misturado ao pó é a de unir as partículas durante a compactação. A proporção de pós com diferentes granulometrias garantem um melhor grau de compactação (CALLISTER, 2002).

Esse processo envolve três etapas:

- (1) Preenchimento da cavidade do molde;
- (2) Compactação da massa;
- (3) Extração da peça (ALBERO, 2000).

Existem três modalidades de prensagem de pós, a prensagem uniaxial, a isostática e a prensagem a quente. Na prensagem uniaxial, a direção da pressão aplicada é unidirecional, conforme ilustrado na Figura 17 (ALBERO, 2000; CALLISTER, 2002).

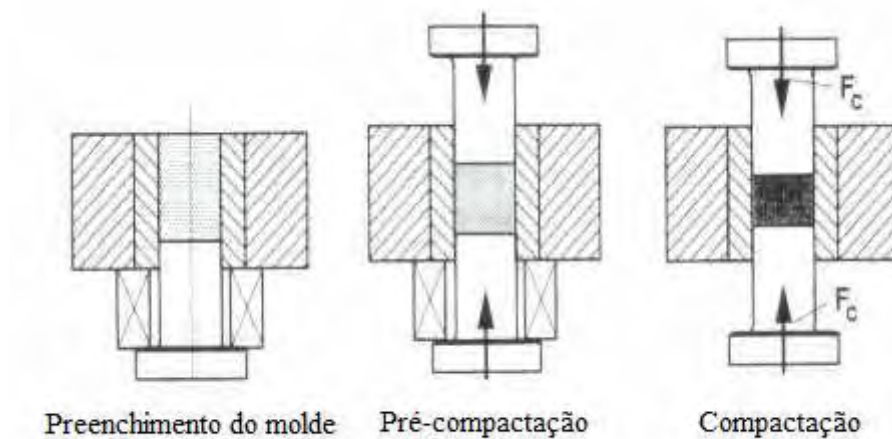


Figura 17 – Processo de prensagem uniaxial (THÜMMLER; OBERACKER, 1993).

A prensagem é um processo de conformação muito utilizado pelas indústrias cerâmicas. Esse método possui alta produtividade, porque pode ser facilmente automatizado, e também é capaz de produzir peças com formas e tamanhos diversos (ALBERO, 2000).

Pela facilidade de utilização e pela necessidade de obtenção de resistência a verde. O método de conformação escolhido foi a prensagem uniaxial para a confecção de todas as rochas sintéticas.

A prensagem uniaxial consistiu em colocar o pó preparado dentro de um molde de aço. Esse molde, chamado também de matriz, é composto por uma cavidade e um êmbolo que possuem a forma final da peça. Depois de colocar o pó nessa cavidade, leva-se o molde para uma prensa hidráulica (Figura 18), e aplica-se uma pré-carga para melhor acomodação do pó e liberação do ar. Logo após, retira-se o espaçador e aplica-se uma carga, que varia conforme o tamanho do molde. A prensa hidráulica utilizada, da marca Ribeiro, tem capacidade para aplicar até 10 tf e pertence ao Laboratório de Cerâmica do Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Guaratinguetá.



Figura 18 – Prensa hidráulica do laboratório de cerâmica do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP, campus de Guaratinguetá, utilizada no processamento das amostras desse trabalho.

3.4 Produção de amostras

O objetivo deste trabalho foi o de aproveitar os resíduos de pedra-sabão (R1, R2 e R3) como matéria-prima principal para confeccionar “pedra-sabão sintética”, sendo que o processo deve ser de baixo custo e de fácil exequibilidade. Essas pedras sintéticas devem atender às necessidades dos artesãos no que diz respeito à similaridade com as rochas.

Para atingir esse objetivo, foram realizados alguns testes preliminares. Portanto, optou-se em dividir este trabalho em três etapas distintas.

Na **primeira etapa**, foram produzidos corpos-de-prova, sendo utilizado apenas o resíduo R3, de coloração verde-acinzentado, e dois tipos de aditivos, o gesso e o cimento tipo CPIII, que atuaram como ligantes. O processamento utilizado foi a conformação por prensagem uniaxial. O primeiro ligante a ser utilizado foi o gesso, que compôs o primeiro lote de amostras.

Essas amostras eram compostas por:

R3 + gesso + água destilada + ligante solução 5% de PVal

O segundo lote de amostras foi confeccionado com o cimento, em substituição ao gesso:

R3 + cimento + água destilada + ligante solução 5% de PVal

Estes dois lotes de amostras foram levados aos artesãos de Santa Rita de Ouro Preto para uma avaliação preliminar. Os artesãos não aprovaram essas amostras porque, segundo eles, ficaram muito “secas”. Esse resultado preliminar indicou que a rocha sintética não apresentou a propriedade peculiar da pedra-sabão natural, que é a untuosidade². Os artesãos também observaram que a pedra-sabão sintética, ao ser lixada, apenas se desgastava e não apresentava diferença de textura, pois estava muito homogênea. Por outro lado, aprovaram a trabalhabilidade, que consideraram similar à da natural. Essa trabalhabilidade diz respeito à facilidade de se esculpir com as mesmas ferramentas com que se trabalha com a matéria-prima natural (pedra-sabão).

A partir destas observações preliminares, deu-se início à **segunda etapa**, onde foram realizados experimentos buscando-se a obtenção de materiais que fornecessem propriedades similares às da rocha. Assim, foram testados os três tipos de resíduos, R1, R2 e R3, e, para dar o aspecto de “untuosidade”, foram avaliados aditivos como a vaselina, o óleo mineral e o óleo vegetal. Os resultados não foram positivos, porque alguns materiais possuíam alto custo e dificultaram o processamento por prensagem uniaxial.

Na **terceira etapa**, foram confeccionados corpos-de-prova utilizando parafina granulada com o intuito de obter o aspecto “untuoso”. Na Tabela 2 são apresentados de forma sintetizada, todos os testes realizados em laboratório, que constaram também da imersão em água.

² Untuosidade: untuoso, que tem gordura, oleoso. Fonte: <http://www.dicio.com.br/untuoso/>), 2011.

Tabela 2 – Ensaios realizados com os resíduos de pedra-sabão, em diferentes etapas desse estudo.

	Materiais	Massa (g)	Processamento	Observações
1ª ETAPA	Resíduo	100	Prensagem uniaxial	• Não houve ação efetiva do ligante; • Boa trabalhabilidade; • Resistência quando imersas em água.
	Cimento Portland	10		
	Água destilada	10		
	PVal = 5 gotas			
2ª ETAPA	Resíduo	100	Prensagem uniaxial	• Não houve ação efetiva do ligante; • São atacados pela água; • Boa trabalhabilidade.
	Gesso	10		
	Água destilada	10		
	PVal = 5 gotas			
3ª ETAPA	Resíduo	100	Prensagem uniaxial	• Pedras com aparência “oleosa”; • Ação efetiva do ligante; • Resistência quando imersas em água; • Difícil o processamento durante a prensagem; • Boa trabalhabilidade.
	Cimento Portland	10		
	Água destilada	10		
	Cola branca	10		
	Vaselina líquida	10		
	Resíduo acrescido com óleo vegetal	100	Prensagem uniaxial	• Ação efetiva do ligante; • Resistência quando imersas em água; • Difícil o processamento durante a prensagem; • Boa trabalhabilidade.
	Cimento Portland	10		
	Água destilada	5		
	Cola branca	5		
	Resíduo	100	Prensagem uniaxial	• Ação efetiva do ligante; • Resistência quando imersas em água; • Difícil o processamento durante a prensagem; • Alto custo do óleo mineral; • Boa trabalhabilidade.
	Óleo mineral	10		
	Cimento Portland	10		
	Água destilada	10		
	Cola branca	10		
3ª ETAPA	Resíduo	100	Prensagem uniaxial	• Resistência quando imersas em água; • Formação de “ilhas” de parafina; • Aparência de “untuosidade”; • Acabamento diferenciado ao lixar; • Boa trabalhabilidade.
	Cimento Portland	10		
	Água destilada	5		
	Cola branca	5		
	Parafina granulada	10		
	Resíduo	100	Prensagem uniaxial (O resíduo foi “parafinado” e o excesso retirado)	• Resistência quando imersas em água • Aparência de “untuosidade” • Acabamento diferenciado ao lixar • Boa trabalhabilidade
	Cimento Portland	10		
	Água	5		
	Cola branca	5		
	Parafina granulada	10		

Após os testes e ensaios realizados na *terceira etapa*, optou-se pela submissão do resíduo à passagem pela parafina e como o excesso de parafina é retirado pode ser reutilizado no processo. Esse procedimento deu às amostras a característica de “untuosidade”, própria da rocha, sem que a parafina fosse incorporada à composição final da pedra sintética, de tal forma a evitar a formação de “ilhas” de parafina.

É importante destacar que, os materiais de custo mais elevado, que tornariam o processo inviável para a comunidade artesã, foram substituídos. Por exemplo, deixou-se de usar água destilada e o ligante PVal foi substituído pela cola branca.

Com base nesses resultados, optou-se em trabalhar com algumas variáveis, na composição da mistura a ser prensada, ou seja, foram variadas as quantidades de aditivos, sempre em busca de propriedades aprovadas pelos artesãos e com baixo custo.

Na Tabela 3 é possível observar o procedimento durante o desenvolvimento da *terceira etapa* deste trabalho. É importante esclarecer que a realização desta etapa teve a intenção de baixar os custos de produção e a obtenção de características apropriadas para a aplicação em atividades artesanais.

Tabela 3 – Composição das amostras obtidas durante a terceira etapa da pesquisa.

RESÍDUOS (100 g)		Cimento	Cola Branca	Água
		% em massa		
RESÍDUOS (100 g)	R1	5	10	10
		10	10	10
		15	10	10
		10	5	10
		10	15	10
	R2	5	10	10
		10	10	10
		15	10	10
		10	5	10
		10	15	10
	R3	5	10	10
		10	10	10
		15	10	10
		10	5	10
		10	15	10

Foram confeccionados corpos-de-prova das pedras sintéticas com as variáveis descritas na Tabela 3, bem como corpos-de-prova com as amostras de rochas de pedrasabão nas mesmas dimensões, empregadas como referência na comparação dos resultados.

3.5 Corpos-de-prova

Nas Figuras 19 (a) e (b), é possível observar os corpos-de-prova nas dimensões e formatos utilizados neste trabalho.



(a)



(b)

Figura 19 – Corpos-de-prova em disco (a) e em barra (b) utilizados neste trabalho.

3.5.1 Corpo-de-prova em barra

Os corpos-de-prova em forma de barras foram obtidos, segundo a norma ASTM, C1161-02c, por meio do uso de um molde de aço com as seguintes dimensões: 40 mm de comprimento, 4 mm de altura e 5 mm de largura. A Figura 20 ilustra o modelo de molde utilizado. Esses corpos-de-prova foram utilizados para ensaio de resistência mecânica por flexão por três pontos.

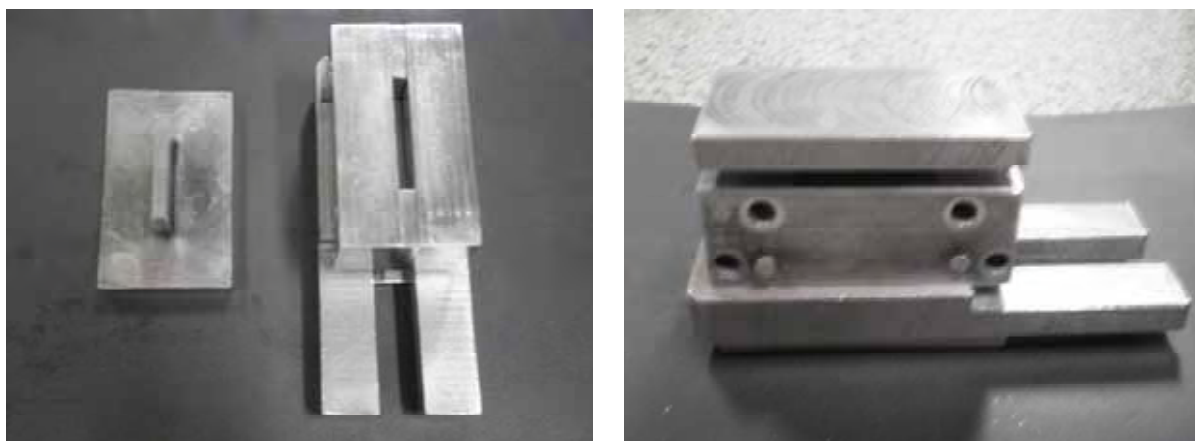


Figura 20 – Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em barra.

Após a mistura dos materiais e sua homogeneização, o pó foi colocado no molde de aço (lubrificado com estearina) e levado à prensa, onde recebeu uma pré-carga de 200 kgf. Depois da pré-carga, retirou-se o espaçador do molde e aplicou-se uma carga de 850 kgf durante 45 – 60 segundos. Em seguida, o corpo-de-prova foi retirado do molde e deixado para secagem à temperatura ambiente por, no mínimo, uma semana.

3.5.2 Corpo-de-prova em disco

Para esses corpos-de-prova, foi realizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém a área do molde de aço é de 314 mm^2 , como pode ser observado na Figura 21. Sendo empregados para ensaios de rugosidade, imersão em água e molhabilidade (ângulo de contato).



Figura 21 – Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em discos com 20 mm de diâmetro.

A pré-carga também foi de 200 kgf, sendo em seguida retirado o espaçador e aplicada uma carga de 1.450 kgf durante 45 – 60 segundos. Em seguida, o corpo-de-prova foi retirado do molde e deixado para secagem à temperatura ambiente, por no mínimo uma semana.

3.5.3 Corpo-de-prova para compressão diametral

Para a confecção dos corpos-de-prova destinados ao ensaio de compressão diametral, utilizou-se um molde de aço com a área de 1.256 mm², como apresentado na Figura 22.

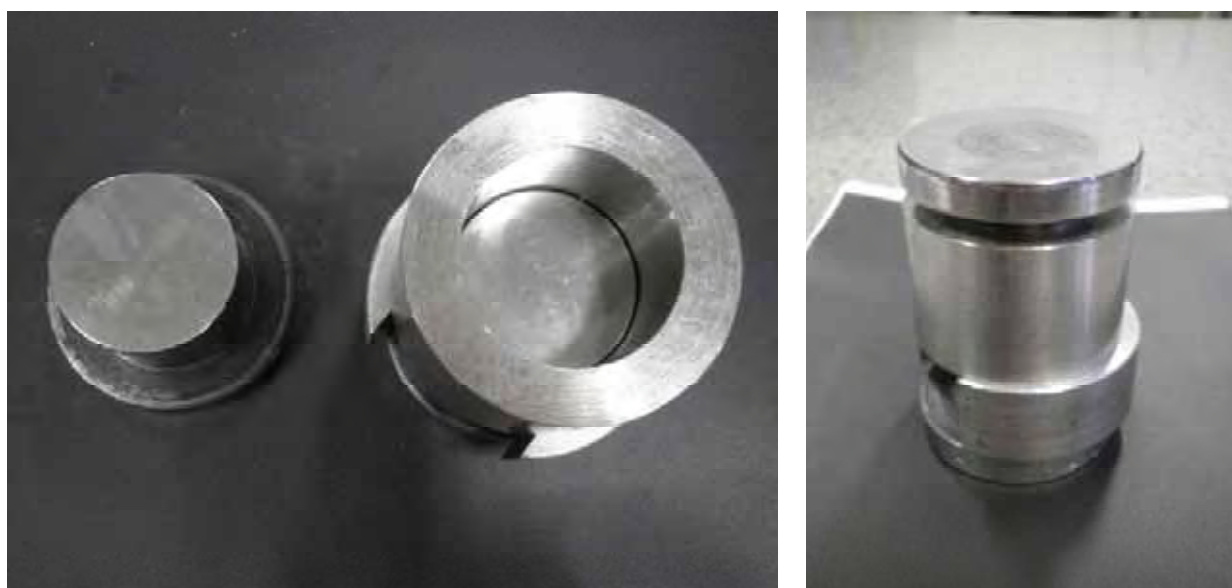


Figura 22 – Molde de aço para confeccionar corpos-de-prova em disco com 40 mm de diâmetro, utilizados nos ensaios de compressão diametral

Segundo Stanley (2001), a razão diâmetro/espessura deve ficar numa faixa entre 0,25 – 0,5 para atender à norma NBR 7222/83, caso contrário, os resultados podem ser invalidados.

Os corpos-de-prova confeccionados com as rochas, nessas mesmas dimensões, foram cortados pelos artesãos de Santa Rita de Ouro Preto.

3.6 Caracterização das amostras

Para clareza dos procedimentos aplicados neste trabalho, a Figura 23 é apresentado um fluxograma que descreve como foi realizada a caracterização das amostras.

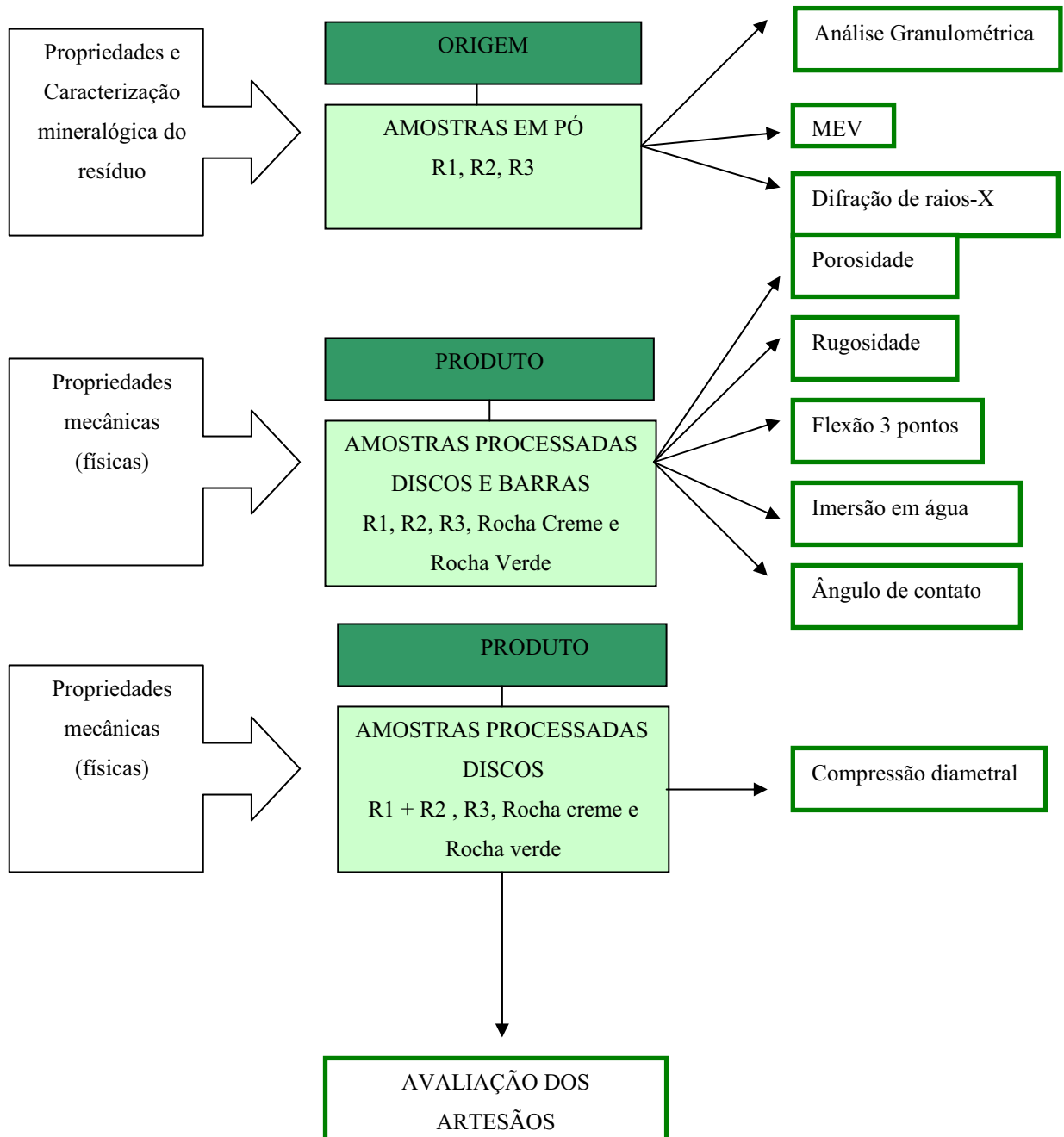


Figura 23 – Fluxograma da caracterização aplicada às amostras e avaliação dos artesãos.

3.7 Caracterização dos resíduos coletados

3.7.1 Análise granulométrica

A distribuição do tamanho de partículas exerce grande influência sobre as propriedades finais de uma peça cerâmica, como a resistência mecânica e a porosidade. Exerce influência também durante o processamento dos produtos cerâmicos como na viscosidade e na velocidade de secagem, por exemplo. Em um pó cerâmico existem partículas com formas e tamanhos diferentes. Essa diferença de granulometria otimiza o empacotamento das partículas, porque num corpo cerâmico, as partículas menores ocuparão interstícios formados pelo empacotamento das partículas maiores (SILVA, SEGADÃES, DEVEZAS, 2004).

Para analisar e classificar os tamanhos das partículas dos três tipos de resíduos, foi realizado o peneiramento utilizando o empilhamento de peneiras com diferentes aberturas em ordem decrescente, de cima para baixo, ou seja, da mais grossa para a mais fina, com o pó colocado sobre a primeira peneira. As malhas usadas foram 70 # (212 μm), 100 # (150 μm), 150 # (106 μm), 200 # (75 μm), 270 # (53 μm) e 325 # (45 μm).

Para essas análises, os resíduos foram secos em estufa a 110°C durante 24 horas. Em seguida, foram separados 150 g (massa seca = ms) de cada tipo de resíduo, colocados na peneira com abertura 70 (212 μm). O jogo de peneiras foi levado a uma mesa vibratória para peneiras granulométricas da marca Bertel. A mesa vibratória foi acionada durante 20 minutos no nível oito. A medida da massa de cada peneira foi feita numa balança com resolução de 0,01 g e, assim, foram obtidas as massas das frações retidas nas peneiras. Com as massas conhecidas, foram obtidas as seguintes frações granulométricas:

ms = Massa total da amostra seca;

mr = Massa do material retido em cada peneira;

mp = Massa do material passante em cada peneira;

Pmr = Porcentagem de material retido em cada peneira;

Pmp = Porcentagem total de material passante.

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos do Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Guaratinguetá.

3.7.2 Difração de raios-X

Entre as muitas técnicas para caracterizar materiais, a técnica de difração de raios X é a mais indicada na determinação das fases cristalinas, que estão presentes nos materiais cerâmicos. Esta técnica é aplicada porque, na maior parte dos sólidos cristalinos, os átomos se ordenam em planos cristalinos, separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda de raios X. Quando um feixe de raios X incide em um cristal, ele interage com os átomos presentes, originando o fenômeno da difração (ALBERS et al., 2002).

Entre as vantagens desta técnica estão a simplicidade e rapidez do método e a confiabilidade dos resultados obtidos, pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina (ALBERS et al., 2002).

A difração de raios X foi realizada, pelo difratômetro modelo Rigaku RINT2000, com radiação $K\alpha$ de cobre, monocromatizada por cristal de grafite. A velocidade de varredura foi de 3 segundos a cada $0,02^\circ$. Esse ensaio foi realizado pelo Instituto de Química da UNESP – Campus de Araraquara.

3.7.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O conhecimento mais detalhado de um determinado material leva a uma melhor compreensão de suas propriedades e comportamentos. Para isso, existem técnicas de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de transmissão (MET), microscopia eletrônica de campo iônico (MCI) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A microscopia eletrônica de varredura é umas das técnicas mais utilizadas em várias áreas de conhecimento, inclusive na mineralogia, onde por meio dessa técnica pode-se

analisar a morfologia e o tamanho dos grãos dos minerais (BRINKER; SCHERRER, 1990; DUARTE et al., 2003).

A imagem obtida por meio da microscopia eletrônica de varredura se forma quando um feixe de elétrons incide sobre o material a ser analisado, promovendo a emissão de elétrons retro espalhados ou elétrons secundários. A imagem, obtida por meio da técnica da microscopia eletrônica de varredura, representa em tons de cinza, o mapeamento dos elétrons emitidos pelo material. Uma das vantagens desta técnica é a facilidade em preparar as amostras, que podem ser, brutas ou polidas (MARINS, 2008; DUARTE et al., 2003).

O equipamento, Topcom SM-300 com incidência de elétrons primários, empregado neste estudo, admite uma ampliação de até 50.000 vezes. Todas as imagens foram obtidas de forma aleatória e com ampliação de 3.000 e 10.000 vezes, utilizando 20 kV e 30 kV.

A análise por microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Instituto de Química da UNESP – Campus de Araraquara.

3.8 Caracterização dos corpos-de-prova

3.8.1 Porosidade aparente, Absorção de água e Densidade aparente

Para a realização dos ensaios de porosidade aparente, absorção de água e densidade aparente, seguiu-se a norma ASTM C20-00, que é baseada no princípio de Arquimedes. É um método largamente utilizado para avaliar a porosidade de materiais que possuem geometria irregular e que não sofrem ataque por água (MINATTI, 2004; SAMPAIO, 2009).

O princípio de Arquimedes estabelece que determinado corpo de massa (m) submerso total ou parcialmente num fluido de densidade (ρ) sofre a ação de uma força determinada de empuxo ($\vec{E}$), que é uma força contrária à força gravitacional (Figura 24). Esse empuxo ($\vec{E}$), equação (1), é equivalente ao peso do volume do fluido deslocado.

$$\vec{E} = \rho.V.\vec{g} \quad (1)$$

sendo $\vec{g}$ = aceleração da gravidade

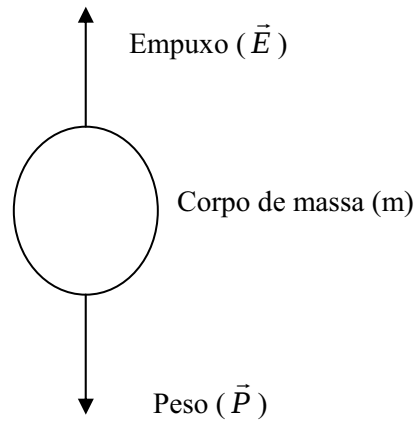


Figura 24 – Representação esquemática do empuxo

Nesse ensaio considerou-se o volume da amostra definido pela equação (2):

$$V = m_u - m_i \quad (2)$$

Sendo que: m_u = massa úmida
 m_i = massa imersa

No decorrer do ensaio, foram pesadas as amostras e obtidas obtiveram-se as seguintes massas:

- Massa imersa (m_i), também conhecida como massa aparente: onde as amostras são imersas em água destilada e fervidas por duas horas. Após o tempo de fervura, as amostras permanecem no mesmo recipiente imersas em água durante 24 horas. Depois desse período, as amostras são “pesadas” utilizando-se um suporte adaptado à balança analítica para que elas permaneçam imersas em água.
- Massa úmida (m_u): depois de obter a massa imersa (m_i), retira-se o excesso de água da superfície das amostras. Esse procedimento é realizado utilizando um

tecido molhado ou um papel absorvente umedecido. Então, as amostras são pesadas e obtidas suas massas úmidas (μ).

- Massa seca (m_s): após a etapa anterior, as amostras são secas em estufa a 110°C durante 24 horas e em seguida são obtidas as massas secas (m_s).

Com os valores dessas massas é possível calcular os seguintes parâmetros: Porosidade aparente, massa específica aparente e absorção de água, aplicando-se as seguintes equações:

$$\text{Volume de poros abertos} = \mu - m_s$$

$$\text{Absorção de água} = (\mu - m_s) \times 100 / (m_s) (\%)$$

$$\text{Porosidade aparente} = (\mu - m_s) \times 100 / (\mu - m_i) (\%)$$

$$\text{Massa específica aparente} = m_s / (\mu - m_i) (\text{g} / \text{cm}^3)$$

Para a realização desse ensaio, foi utilizada uma balança analítica de precisão de 0,0001 g, considerando a densidade da água de 0,9992 g/cm³. Foram analisadas amostras confeccionadas na terceira etapa e também amostras das rochas.

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá.

3.8.2 Rugosidade

A rugosidade exprime um conjunto de irregularidades, ou seja, pequenas reentrâncias e saliências que caracterizam uma superfície (PARRA et al., 2006; MARINS, 2008).

As superfícies das peças, independente do material, apresentam imperfeições que, normalmente, são provocadas por sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta que foi utilizada no processo de fabricação. Esses diferentes processos de fabricação de componentes mecânicos determinam acabamentos diversos nas superfícies das peças.

O acabamento superficial de uma peça é fundamental, onde houver desgaste, atrito, corrosão, aparência, resistência à fadiga, transmissão de calor, propriedades óticas, escoamento de fluídos e superfícies de medição e a produção de superfícies

lisas. A rugosidade superficial é uma propriedade de grande interesse e, por essa razão, é muito estudada na área de engenharia mecânica (PARRA et al., 2006).

Para esse ensaio, foram avaliadas as amostras sintéticas e as naturais de pedra-sabão lixadas e não-lixadas. Não foi realizado o polimento, pois o material avaliado era muito poroso e macio e, a pasta de diamante utilizada para polir poderia contaminar algumas amostras, inserindo-se nas reentrâncias. Para esse ensaio de rugosidade foram adotadas as lixas 220, 400, 600, 1200 e 2000, respectivamente e o equipamento utilizado foi o Rugosímetro digital, com ponta de diamante da marca Mitutoyo, modelo SURFTEST 301 com precisão de 0,01 μm . Neste equipamento, a ponta de diamante percorre uma trajetória retilínea, de 10 mm, na superfície do corpo-de-prova. As imperfeições ou irregularidades localizadas na superfície da peça são averiguadas pelo equipamento, que imprime os dados com os parâmetros desejados. Neste trabalho, os parâmetros escolhidos foram a rugosidade média (R_a) e a rugosidade total (R_t). R_a é o parâmetro mais usado, sendo baseada nas medidas de profundidade da rugosidade, resultado da média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo, em relação à linha média, num determinado comprimento da amostragem. Esses parâmetros, R_a e R_t , são os mais utilizados para a maioria dos materiais cerâmicos.

Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Metrologia do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá.

3.8.3 Molhabilidade

Por meio desse ensaio, é possível saber se o comportamento do material é hidrofílico ou hidrofóbico, quando em contato com a água.

O termo hidrofílico é usado para especificar um sólido que é molhável pela água ou por uma solução aquosa. Já o termo hidrofóbico especifica o material que é “parcialmente” molhável pela água ou por uma solução aquosa, mas que apresenta parte que não tem afinidade com a água. A grande maioria dos minerais naturais é

hidrofílica, ou seja, tem muita afinidade com a água. O ângulo de contato θ , (Figuras 25 (a) e (b)), é definido como o ângulo incluído entre um plano tangente à superfície do líquido e um plano tangente à superfície do sólido em qualquer ponto, ao longo da linha de contato entre esses planos (SAMPAIO, 2008).

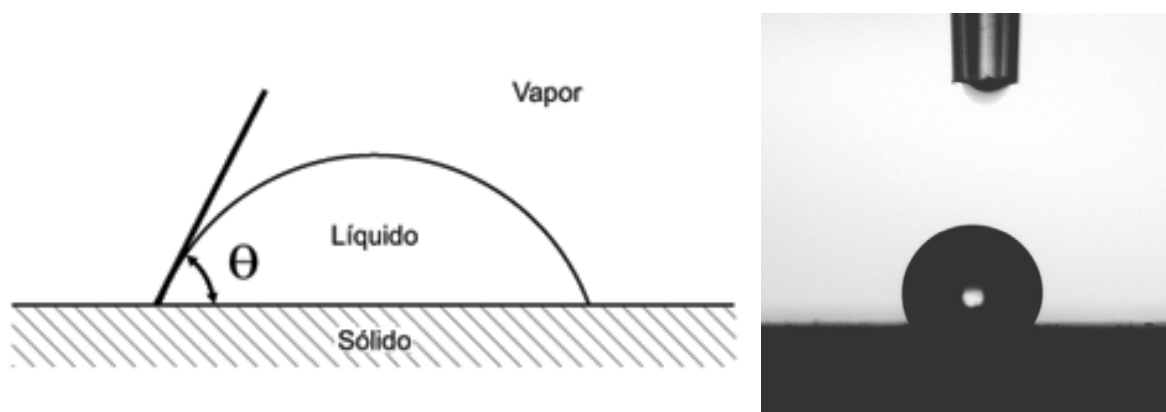


Figura 25 – (a) Representação esquemática do ângulo de contato para uma gota d’água, ou líquido aquoso, sobre uma superfície sólida. Fonte: Rev. Bras. Ensino Fís. vol.28 no.2 São Paulo Apr./June 2006; (b) Gota de água sobre uma amostra no momento exato da medida do ângulo de contato

Quando $\theta = 0^\circ$ considera-se que uma superfície sólida está completamente molhada. Normalmente define-se que um material tem caráter hidrofílico quando $\theta < 90^\circ$ (SAMPAIO, 2008).

Essas medidas de molhabilidade foram realizadas por um goniômetro da marca RAMÈ – HART do Departamento de Química Física da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Guaratinguetá.

3.8.4 Resistência mecânica

3.8.4.1 Resistência mecânica por flexão por três pontos

Para a realização desse ensaio, seguiu-se a norma ASTM, C1161-02c. Foram utilizados em média, dezessete corpos-de-prova e, nos casos de maior relevância, foram produzidos lotes com 30 corpos-de-prova, para garantir a estabilização do

módulo de Weibull. Com base nessa média, foram estipuladas as composições que obtiveram os melhores resultados e, a partir destas, foram confeccionados corpos-de-prova em disco para a realização do ensaio de compressão diametral. O ensaio de flexão por três pontos foi realizado numa máquina para ensaios mecânicos da Shimadzu, modelo Autograph 301, com célula de carga de compressão de 10 kN e velocidade de ensaio de 1 mm/min. Esse ensaio foi realizado no Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Guaratinguetá.

3.8.4.2 Resistência mecânica determinada pelo ensaio de compressão diametral

Os materiais cerâmicos são, geralmente, fracos em condições de tração direta. Quando submetidos a este tipo de esforço, as trincas microscópicas existentes nos materiais tendem a se propagar e se orientar perpendicularmente ao eixo de tração (GARCIA et al., 2000). Por outro lado, a maioria das cerâmicas é muito resistente à compressão, uma vez que não rompe por deslizamento e, portanto, apresenta comportamento relacionado às suas forças interatômicas (MUNZ et al., 2001a; VAN VLACK, 1973c). Sob atuação de um carregamento compressivo, as falhas de Griffith, surgidas durante o processamento ou manuseio das amostras, tendem a fechar sem afetar a resistência das ligações iônicas e covalentes do material (SHACKELFORD, 1996). Assim, os ensaios de resistência à tração por compressão diametral são utilizados com o objetivo de avaliar a tensão de tração máxima suportada por uma amostra, antes da ruptura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983; PERES et al., 2003; PIORINO NETO, 2000; PITT et al., 1998). A metodologia do ensaio consiste na aplicação de duas forças diametralmente opostas sobre um corpo de prova cilíndrico, produzindo uma tensão de tração normal ao plano de carregamento (Figura 26) (MENDES, 2002; PERES et al., 2003; PITT et al., 1998; RUDNICK et al., 1963). Assim, a resistência à tração (σ) de um material frágil pode ser obtida por meio da seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{2P}{\pi Dh} \quad (3)$$

Sendo:

P = carga aplicada;

D = diâmetro do corpo de prova (em formato circular);

h = espessura do corpo de prova

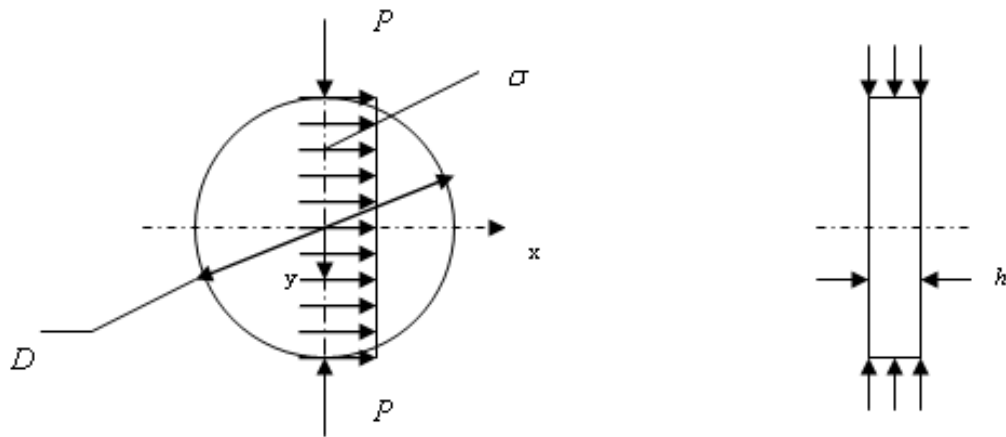


Figura 26 – Distribuição de tensão e seção transversal em uma amostra submetida a ensaio de compressão diametral (STANLEY, 2001).

Os resultados obtidos por meio do ensaio de compressão diametral, assim como ocorre com o de flexão, são influenciados pelas seguintes variáveis: temperatura, velocidade de aplicação da carga, anisotropia do material, condições ambientais, defeitos superficiais existentes e geometria do corpo de prova (BEREZOWSKI et al., 2002; CALLISTER, 2002a; GARCIA, et al. 2000b; VAN VLACK, 1973c).

Para a realização desse ensaio foram confeccionados 35 corpos-de-prova com cada uma das seguintes composições: R3 com 5% e 10%, em massa, de cola branca, R1 + R2 com 5% , em massa, de cola branca, e também foram confeccionados 35 corpos-de-prova com as amostras das rochas creme e das verdes.

Como acontece com a maioria dos materiais cerâmicos, amostras de um mesmo material possuem resistências mecânicas diferentes, pois raramente o tamanho, a localização e a orientação do defeito crítico serão os mesmos. Por esta razão, em um material cerâmico, os valores medidos de resistência mecânica apresentam uma grande dispersão, que é dependente da distribuição estatística de defeitos em cada corpo de

prova, que é um grande inconveniente na aplicação de materiais cerâmicos (MENEGAZZO et al., 2002).

Com base nisso, aplicou-se a teoria estatística de Weibull, que é a mais adequada e aplicada para o cálculo da resistência mecânica de materiais frágeis. Aplicando este método, foi obtido o valor de “m”, que é o módulo de Weibull, e, quanto maior o valor “m”, menor é a dispersão dos valores de resistência mecânica. Portanto, o módulo de Weibull “m”, diz respeito ao grau de confiabilidade da cerâmica processada, uma vez que mostra a dispersão dos resultados obtidos no ensaio (MENEGAZZO et al., 2002).

A expressão de Weibull pode ser representada uma equação da reta, segundo um sistema de eixos logarítmicos, conforme a equação (4):

$$\ln\left(\ln \frac{1}{1-P}\right) = m(\ln \sigma) - m(\ln \sigma_0) \quad (4)$$

Sendo : σ_0 = resistência característica do material

m = módulo de Weibull, relacionado à homogeneidade do material

P = probabilidade de ocorrência de falha

É possível determinar os parâmetros m e σ_0 usando a regressão linear, sendo o “m” a inclinação da reta e $m \ln \sigma_0$, o coeficiente linear da mesma (MARINS, 2008; SAMPAIO, 2009). Para aplicar o método estatístico de Weibull é necessário avaliar, 30 corpos-de-prova para que o valor “m” possa ser estabilizado, estimado pela equação (5):

$$P = \frac{J - 0,5}{N} \quad (5)$$

Sendo: N é o número de amostras

J é um índice que varia de 1 até N (nº de amostras) (MARINS, 2008).

O ensaio de compressão diametral (Brazilian Test) foi realizado numa máquina para ensaios mecânicos da SHIMADZU, modelo Autograph 301, com célula de carga

de compressão de 10 kN e velocidade de ensaio de 1 mm/min. Este equipamento pertence ao Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Guaratinguetá.

3.8.5 Teste de Campo

Foram enviados aos artesãos de Santa Rita de Ouro Preto dois lotes, contendo amostras de rocha sintética nas dimensões dos corpos-de-prova utilizados para o ensaio de compressão diametral dos resíduos R1 (15% de cola branca) e R3 (10% de todos os aditivos).

Os artesãos fizeram testes com estas amostras da mesma forma como trabalham com as rochas, com as mesmas ferramentas e aplicando os mesmos tipos de tintas e vernizes. Após os testes, responderam a um questionário que continha perguntas específicas sobre a avaliação do trabalho artesanal com as rochas sintéticas, apresentado no Anexo A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os resultados dos ensaios e dos testes de campo realizados neste estudo. Inicialmente será apresentada a caracterização do material particulado das amostras dos três resíduos provenientes das rochas e, depois, a caracterização da pedra-sabão sintética e das naturais.

4.1 Caracterização dos resíduos coletados

Segundo a NBR 10.004, os resíduos de pedra-sabão podem ser classificados como pertencentes à Classe II A – não-perigosos e não-inertes.

4.1.1 Análise Granulométrica

Observou-se pelos resultados apresentados na Tabela 4, que o resíduo R1 possui uma granulometria fina e que mais de 99% deste resíduo passou pela peneira de abertura 70 # (212 μm). Comparando este com os demais resíduos, observou-se que o R1 foi o que passou em maior quantidade pela peneira de abertura 325 # (45 μm). Devido a essa granulometria fina, durante a execução do ensaio houve maior perda de material (2,89%).

Tabela 4 – Análise granulométrica do resíduo R1 (amarelo – creme).

Nº Peneira	Malha (μm)	mr (g)	Pmr (%)	Pr acumulada (%)	Pp (%)
70	212	0,9	0,60	0,60	99,40
100	150	1,3	0,86	1,46	98,54
150	106	1,6	1,06	2,52	97,48
200	75	5,4	3,60	6,12	93,88
270	53	8,0	5,33	11,45	88,55
325	45	38,0	25,33	36,78	63,22
FUNDO	-	90,5	60,33	97,11	-

mr = massa retida em cada peneira

Pmr = Porcentagem de material retido em cada peneira

Pr acumulada = Porcentagem retida acumulada em cada peneira

Pp = Porcentagem passante

Na Tabela 5, observam-se os resultados do peneiramento do R2, resíduo que ficou em maior quantidade retido na peneira de abertura 70 #. Apenas 8,08% passou pela peneira de abertura 325 #, que é a de abertura mais fina (45 μm).

Tabela 5 – Análise granulométrica do resíduo R2 (amarelo – creme).

Nº Peneira	Malha (μm)	mr (g)	Pmr (%)	Pr acumulada (%)	Pp (%)
70	212	90,5	61,1	60,33	39,67
100	150	14,0	9,45	69,66	30,34
150	106	9,4	6,35	75,92	24,08
200	75	10,4	7,02	82,85	17,15
270	53	8,1	5,40	88,25	11,75
325	45	3,9	2,60	90,85	9,15
FUNDO	-	11,8	7,86	98,71	-

mr = massa retida em cada peneira

Pmr = Porcentagem de material retido em cada peneira

Pr acumulada = Porcentagem retida acumulada em cada peneira

Pp = Porcentagem passante

O resíduo R3, que é originário da pedra-sabão de coloração verde-acinzentado, foi o que apresentou a distribuição de tamanhos de partículas mais ampla. Como pode ser observado na Tabela 6, 90% passou pela peneira de abertura 70 # e 38,42% passou pela peneira de abertura 325 #, havendo pouca perda de material durante a execução do ensaio (apenas 0,22%).

Tabela 6 – Análise granulométrica do resíduo R3 (verde – acinzentado).

Nº Peneira	Malha (μm)	mr (g)	Pmr (%)	Pr acumulada (%)	Pp (%)
	212	14,8	9,86	9,86	90,14
100	150	21,2	14,13	23,99	76,01
150	106	10,4	6,93	30,92	69,08
200	75	9,1	6,06	36,98	63,02
270	53	12,6	8,40	45,38	54,62
325	45	24,3	16,20	61,58	38,42
FUNDO	-	57,3	38,2	99,78	-

mr = massa retida em cada peneira

Pmr = Porcentagem de material retido em cada peneira

Pr acumulada = Porcentagem retida acumulada em cada peneira

Pp = Porcentagem passante

Comparando-se as curvas da Figura 27, obtidas a partir dos dados das Tabelas 4 a 6, observou-se que os resíduos R1 e R3 apresentaram a mesma tendência, com relação

à distribuição granulométrica, sendo R1 constituído de uma granulometria mais fina. Por outro lado, o resíduo R2 apresentou uma granulometria grosseira.

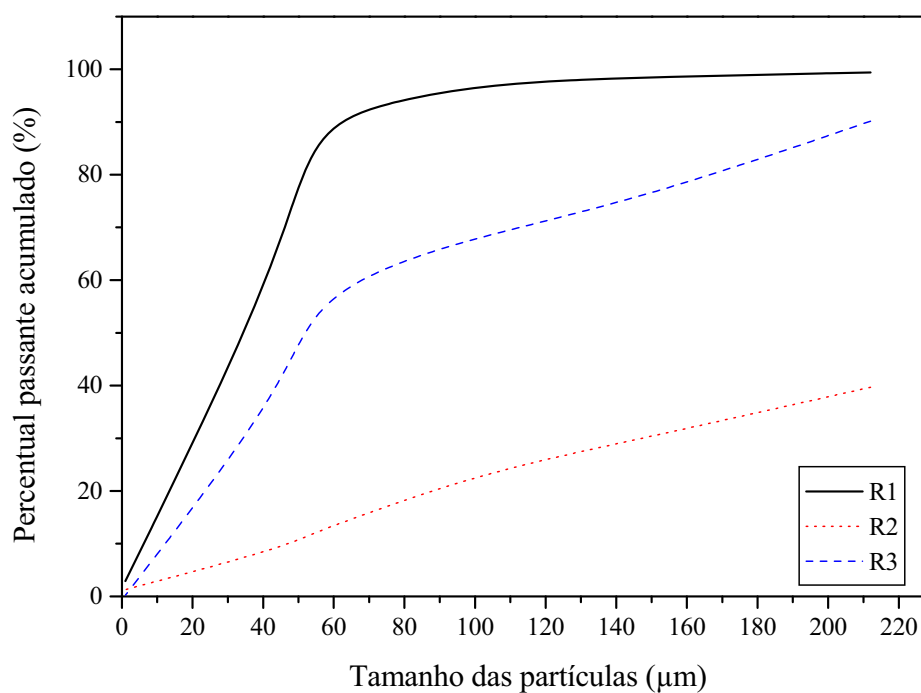


Figura 27 – Curva granulométrica obtida por peneiramento

4.1.2 Difração de raios-X

No difratograma da Figura 28, correspondente ao resíduo R1, foi possível verificar a presença da fase cristalina de hidroxissilicato de magnésio, como foi observado também nos trabalhos de Assis et al. (2006) e de Torres (2007), sendo que o pico de maior intensidade a $28,92^\circ$ correspondeu a $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

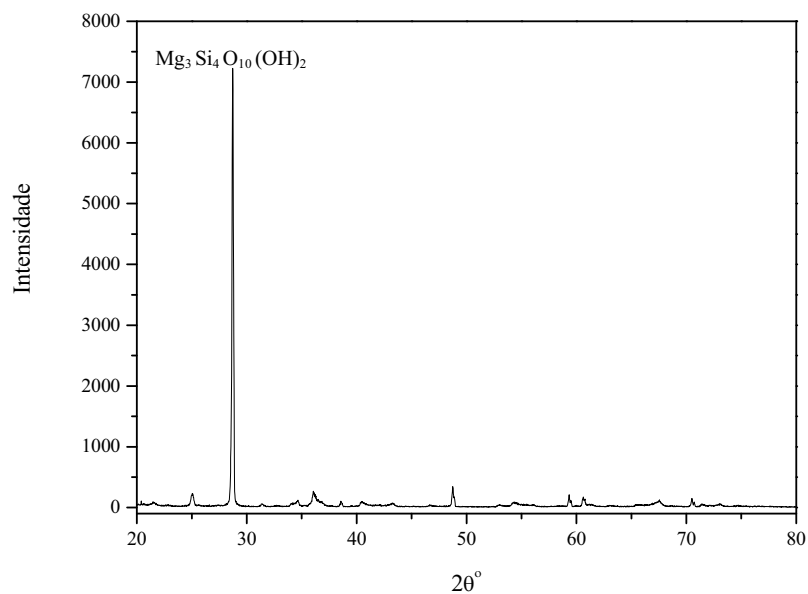


Figura 28 – Difratoograma de raios-X do resíduo R1.

Os difratogramas dos resíduos R1 e R2, Figuras 28 e 29, respectivamente, são originários do mesmo tipo de rocha (rocha creme), rica em talco $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, e por esse motivo, os resultados são similares. Somente a intensidade do pico a 28,92° que variou-se em torno de 57%.

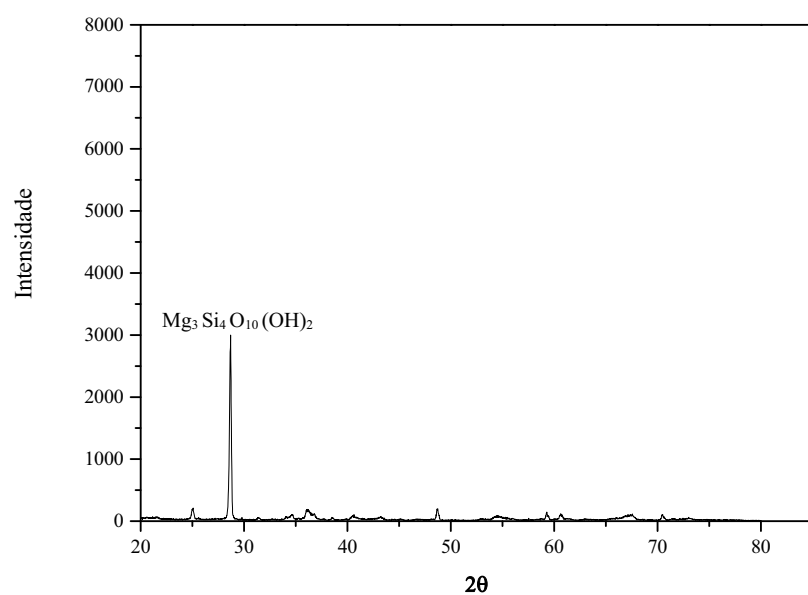


Figura 29 – Difratoograma de raios-X do resíduo R2.

Na Figura 30 é apresentado o difratograma do resíduo R3 originado da pedra-sabão, de coloração verde-acinzentado. Nesse difratograma observou-se o mesmo pico a $28,92^\circ$, porém com um segundo pico a $25,03^\circ$, correspondente ao mineral serpentina, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, responsável pela coloração verde-acinzentado.

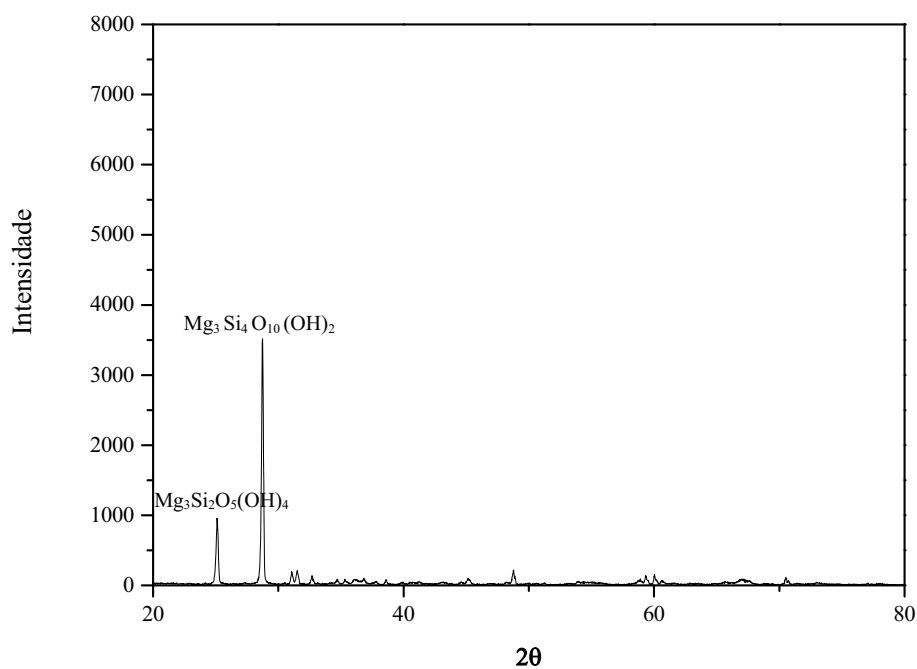


Figura 30 – Difratograma de raios-X do resíduo R3.

Na Figura 31, são apresentados os difratogramas normalizados, nos quais observam-se que os resíduos são de hidroxissilicato de magnésio, sendo expressiva a presença de serpentina no resíduo R3. O resíduo R1 apresentou pico de maior intensidade a $28,92^\circ$, sendo o hidroxissilicato de magnésio típico da composição do talco (TORRES, 2007).

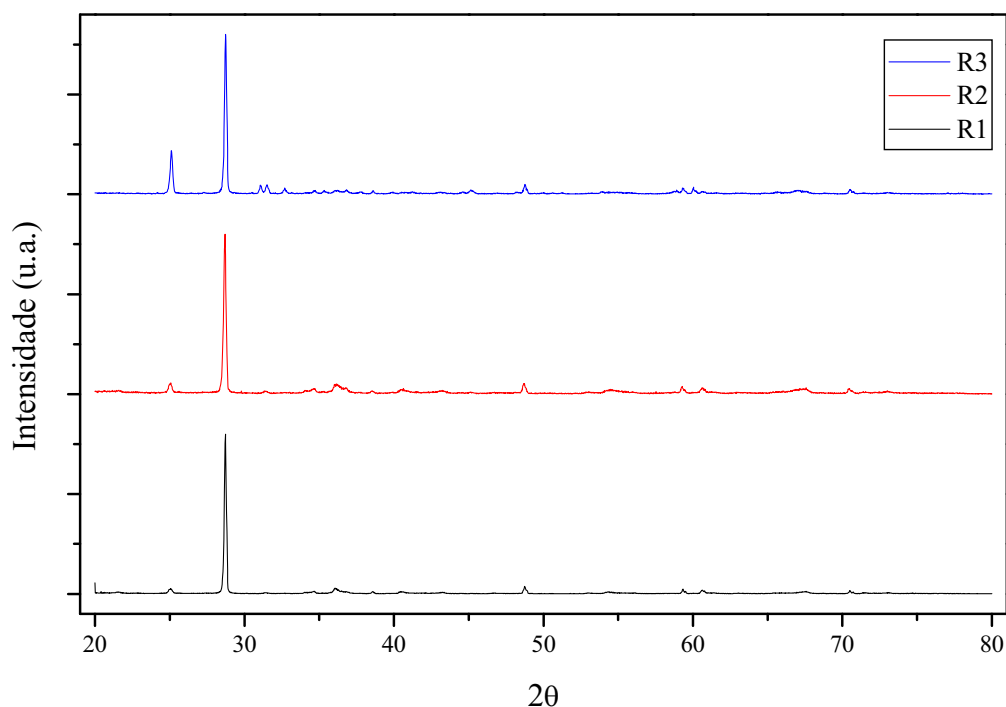


Figura 31 – Difratogramas normalizados dos resíduos R1, R2 e R3.

4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada em amostras de rochas e de resíduos, com o intuito de se verificar a possibilidade da ocorrência de alterações morfológicas nas partículas em decorrência dos processos de usinagem executados nas oficinas.

Nas micrografias apresentadas na Figura 32, obtidas de amostras da rocha verde, observou-se uma morfologia lamelar ou foliada, típica do mineral talco, que é um filossilicato. As micrografias apresentadas na Figura 33, obtidas da rocha creme, mostram uma morfologia também lamelar, porém com partículas menores que as da rocha creme.

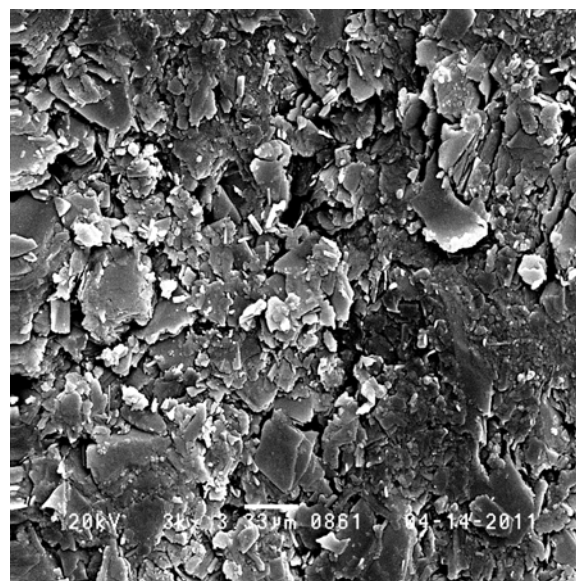
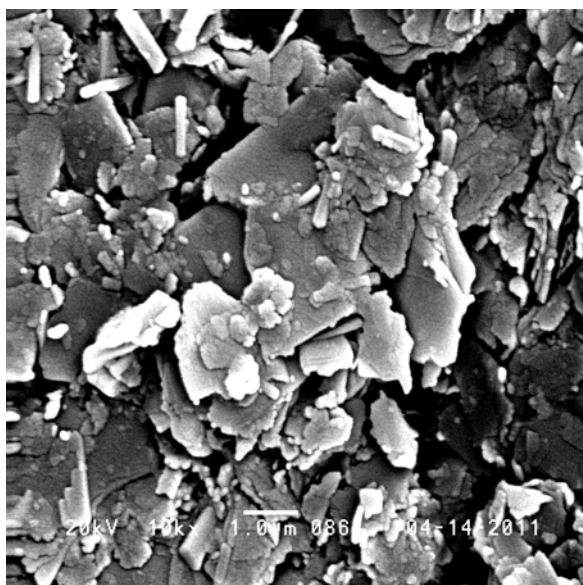


Figura 32 –Imagens obtidas por MEV da rocha verde.

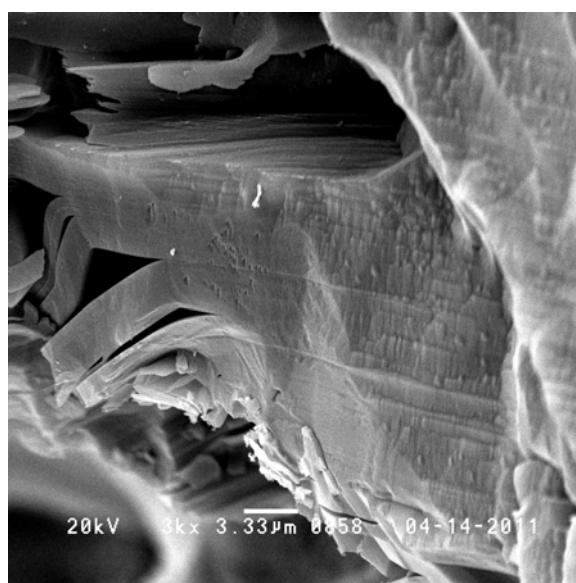
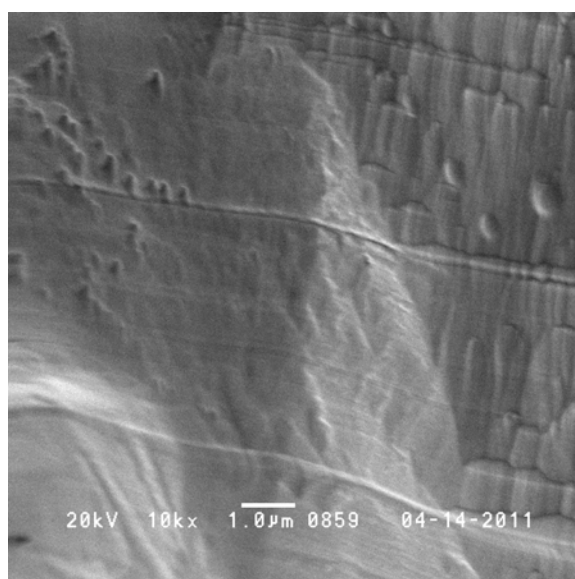


Figura 33 – Imagens obtidas por MEV da rocha creme.

As micrografias do resíduo R1 são apresentadas na Figura 34, pelas quais foi possível observar que esse resíduo é um material heterogêneo, em relação à sua morfologia e tamanho e que existem muitas partículas com formas e orientações diferentes. No entanto, ficou evidente que estas partículas mantiveram a estrutura lamelar, semelhantes às apresentadas pela rocha creme.

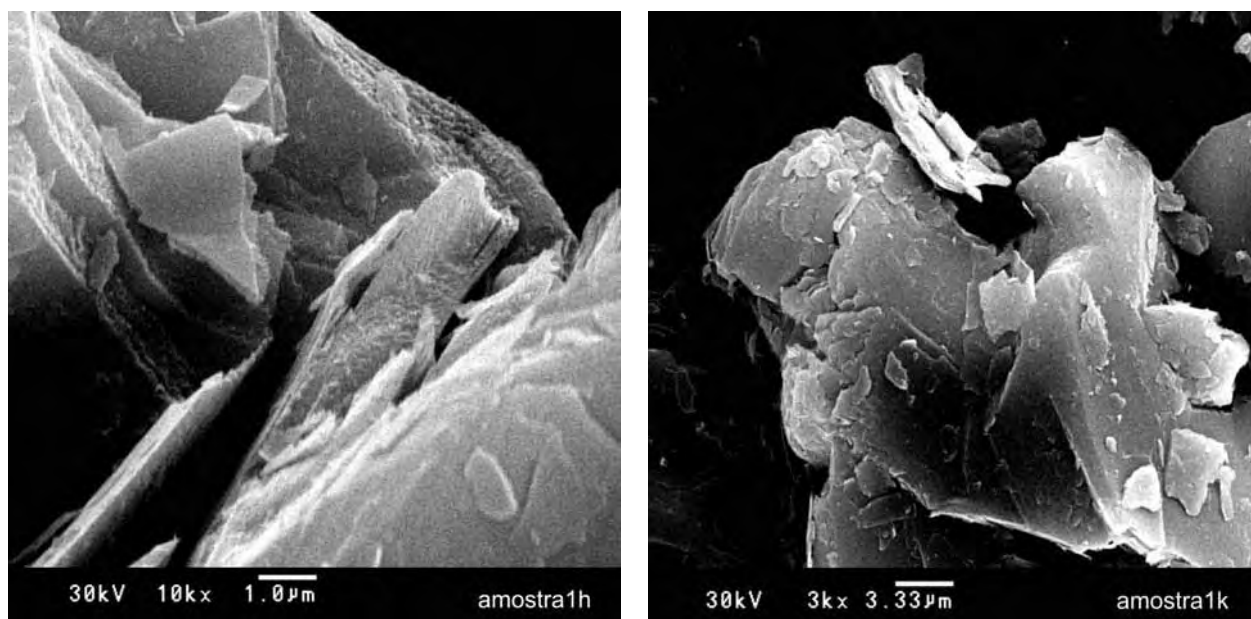


Figura 34 – Imagens obtidas por MEV do resíduo R1.

Nas micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das amostras do resíduo R2 (Figura 35) originário da mesma rocha creme, verificou-se novamente a presença de particulados com formatos lamelares (foliação).

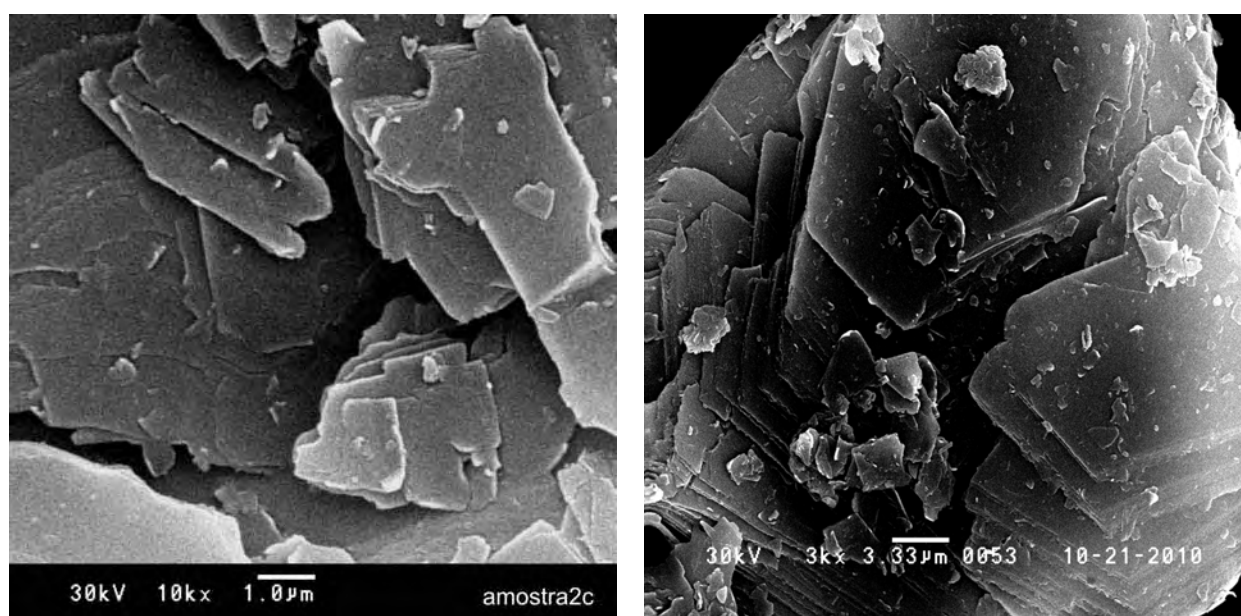


Figura 35 – Imagens obtidas por MEV do resíduo R2.

Por meios imagens do resíduo R3, Figura 36, foi possível verificar uma maior quantidade de partículas de menor tamanho, quando comparadas às imagens dos resíduos R1 e R2. Essas partículas também apresentam estrutura lamelar, típicas de minerais como o talco e a serpentina.

De acordo com o observado pela microscopia eletrônica de varredura, ficou evidente que a manufatura das rochas não produziu alterações microestruturais significativas nos resíduos gerados.

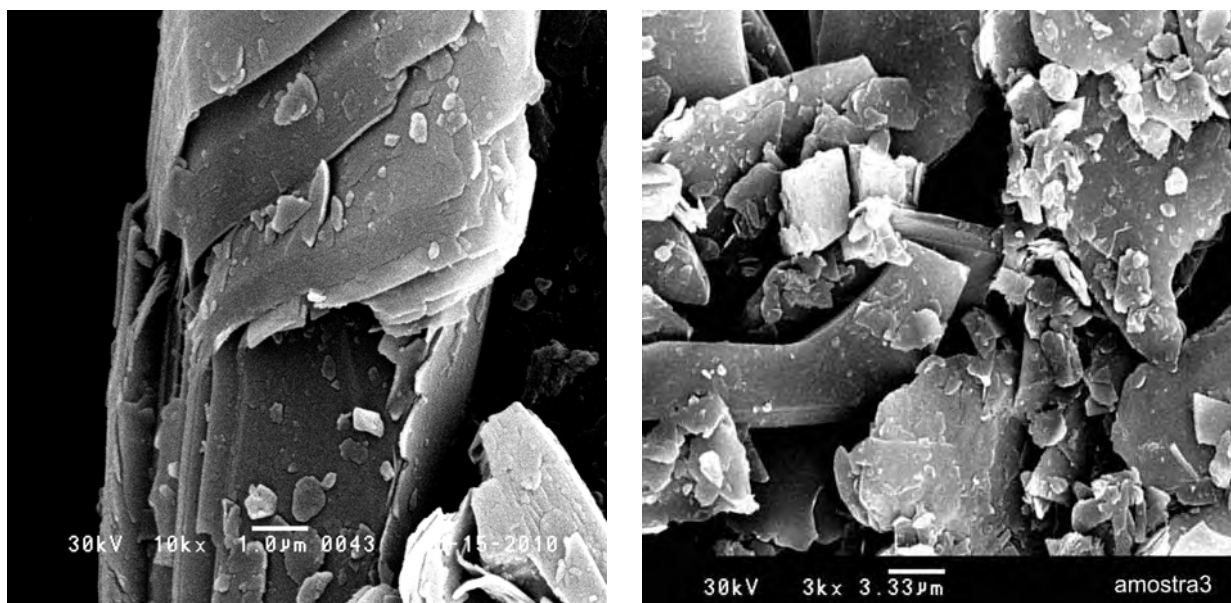


Figura 36 – Imagens obtidas por MEV do resíduo R3.

4.2. Caracterização dos corpos-de-prova

4.2.1. Porosidade aparente, Absorção de água e Densidade aparente

Essas três propriedades estão interligadas e quanto maiores forem o volume de poros abertos, a absorção de água (AA) e a porosidade aparente (P.ap), menor será a densidade aparente (D.ap).

Pode-se observar na Tabela 7, que os índices de porosidade das amostras sintéticas foram superiores aos das amostras de rochas, ou seja, todas as pedras sintéticas são mais porosas que as rochas.

Tabela 7 – Média dos valores de absorção de água (AA), porosidade aparente (P.ap.) e densidade aparente (D.ap.).

Amostras		AA (%)	P. ap. (%)	D. ap. (g/cm ³)
Rocha creme		2,7 ± 0,4	7 ± 1	2,56 ± 0,03
Rocha verde		0,8 ± 0,2	2,2 ± 0,5	2,68 ± 0,01
R1	5% cola	14 ± 1	26 ± 1	1,87 ± 0,04
	5% cimento	20,1 ± 0,7	33,4 ± 0,8	1,66 ± 0,02
	10% todos aditivos	18 ± 1	30 ± 1	1,72 ± 0,05
	15% cola	18,1 ± 0,5	31,2 ± 0,7	1,73 ± 0,01
	15% cimento	15,9 ± 0,6	28,5 ± 0,8	1,81 ± 0,02
R2	5% cola	14,3 ± 0,6	26,5 ± 0,7	1,85 ± 0,02
	5% cimento	16,2 ± 0,5	29,2 ± 0,6	1,80 ± 0,02
	10% todos aditivos	15,0 ± 0,5	27,6 ± 0,7	1,84 ± 0,02
	15% cola	17 ± 2	30 ± 3	1,78 ± 0,04
	15% cimento	15,0 ± 0,5	27,5 ± 0,7	1,83 ± 0,01
R3	5% cola	14,4 ± 0,9	33 ± 2	1,75 ± 0,05
	5% cimento	19 ± 1	33 ± 2	1,75 ± 0,05
	10% todos aditivos	16 ± 1	29,0 ± 1	1,80 ± 0,04
	15% cola	17,9 ± 0,5	31,1 ± 0,7	1,74 ± 0,02
	15% cimento	15,0 ± 0,9	27 ± 1	1,82 ± 0,03

Como a parafina funde a 60°C, e a fervura, necessária para este ensaio, atinge 96°C (Guaratinguetá), a parafina foi desconsiderada nesse ensaio.

4.2.2 Rugosidade

Na Tabela 8, estão apresentadas as médias dos valores de Ra e Rt. A rugosidade da rocha é consideravelmente maior que a da pedra-sabão sintética, isto está relacionado ao fato destas amostras sintéticas serem obtidas a partir de um material peneirado e prensado em um molde, o que garante um melhor acabamento superficial.

Quando foram comparados os resultados obtidos das amostras de pedras sintéticas lixadas e não lixadas foi possível observar que não houve uma alteração significativa na rugosidade superficial entre as amostras lixadas. Este resultado indica que, apesar de mais porosa a pedra-sabão sintética apresenta poros superficiais menores. Além disso, comparando-se os resultados obtidos para as rochas com os das pedras sintéticas, foi observado que as pedras sintéticas apresentaram pequena dispersão de resultados.

Uma observação importante, principalmente para o artesão, é que a utilização da pedra sintética representou uma economia de material, pois, normalmente, o artesão precisa utilizar lixas para melhorar a aparência das peças artesanais.

Tabela 8 – Rugosidade das amostras naturais e sintéticas lixadas e não-lixadas

Amostras		Ra sem lixar (μm)	Rt sem lixar (μm)	Ra lixadas (μm)	Rt lixadas (μm)
Rocha creme		11 ± 1	81 ± 13	$0,7 \pm 0,3$	11 ± 6
Rocha verde		$4,0 \pm 0,4$	11 ± 3	$1,4 \pm 0,2$	15 ± 5
R1	5% cola	3 ± 1	18 ± 7	$2,3 \pm 0,5$	19 ± 6
	5% cimento	$1,5 \pm 0,8$	13 ± 8	3 ± 2	21 ± 15
	10% todos aditivos	$1,4 \pm 0,8$	13 ± 8	$2,4 \pm 0,9$	18 ± 9
	15% cola	4 ± 2	30 ± 18	$1,9 \pm 0,5$	14 ± 3
	15% cimento	2 ± 2	15 ± 13	$2,1 \pm 0,4$	15 ± 3
R2	5% cola	$2,0 \pm 0,9$	16 ± 7	$2,6 \pm 0,9$	23 ± 17
	5% cimento	$2,0 \pm 0,5$	14 ± 3	3 ± 1	25 ± 12
	10% todos aditivos	3 ± 2	26 ± 22	$1,8 \pm 0,6$	17 ± 6
	15% cola	3 ± 1	22 ± 15	2 ± 1	21 ± 13
	15% cimento	2 ± 1	19 ± 17	3 ± 1	25 ± 12
R3	5% cola	$1,6 \pm 0,7$	12 ± 5	$2,9 \pm 0,7$	27 ± 10
	5% cimento	$1,6 \pm 0,7$	14 ± 7	$1,8 \pm 0,3$	15 ± 3
	10% todos aditivos	2 ± 1	17 ± 8	$2,2 \pm 0,6$	19 ± 8
	15% cola	3 ± 1	26 ± 9	$1,5 \pm 0,4$	13 ± 4
	15% cimento	2 ± 2	17 ± 16	$2,1 \pm 0,7$	17 ± 7

4.2.3 Molhabilidade

Foi verificado na Tabela 9, que amostras feitas sem o processamento com parafina apresentaram ângulos de contato sensivelmente menores do que os ângulos de contato das amostras não processadas com parafina.

Tabela 9 – Ângulo de contato de amostras com a água.

Amostras		Ângulo de contato (θ)
Rocha creme		$86,8 \pm 0,7$
Rocha verde		53 ± 1
C1*		$57,2 \pm 0,7$
G1*		50 ± 2
R1	5% cola	143 ± 1
	5% cimento	133 ± 2
	10% todos aditivos	$145,0 \pm 0,5$
	15% cola	$132,5 \pm 0,2$
	15% cimento	146 ± 1
R2	5% cola	$142,1 \pm 0,1$
	5% cimento	$147,0 \pm 0,5$
	10% todos aditivos	139 ± 2
	15% cola	$146,3 \pm 0,3$
	15% cimento	137 ± 1
R3	5% cola	121 ± 1
	5% cimento	$139,0 \pm 0,7$
	10% todos aditivos	$145,5 \pm 0,4$
	15% cola	$141,8 \pm 0,6$
	15% cimento	136 ± 2

* amostras sintéticas obtidas na primeira etapa deste trabalho; C1 = cimento CPHI como aditivo e G1 = gesso como aditivo.

Esses resultados são coerentes com os resultados da análise da porosidade, ou seja, uma pedra sintética com alto nível de porosidade tende, devido à absorção de líquidos, a apresentar baixo ângulo de contato. Essa confirmação está de acordo com os primeiros relatos dos artesãos, que afirmaram que o primeiro lote de amostras não apresentou “untuosidade” semelhante à da rocha. Dessa forma, o processamento com parafina implicou na alteração da propriedade hidrofóbica da superfície, bem como, sugere que os poros do material tenham ficado menos permeáveis à passagem da água para o interior da amostra.

Ficou evidenciado que o aumento do caráter hidrofóbico obtido, devido ao processamento com parafina, pode representar uma vantagem para o artesão, visto que, a absorção de verniz e de tinta são reduzidas quando a superfície é hidrofóbica.

4.2.4. Resistência Mecânica

4.2.4.1 Resistência mecânica por flexão por três pontos

Como é possível ser observado no gráfico apresentado na Figura 37, as pedras sintéticas com 15% de cola branca mostraram uma resistência mecânica característica (σ_0), em torno de 7,0 MPa, no geral, maior do que as das demais pedras sintéticas.

Em relação às rochas, a resistência mecânica da rocha creme (R.C.) é muito baixa quando comparada com a resistência da rocha verde (R.V.), bem como é mais baixa que a das pedras sintéticas, com exceção da amostra R1 com 5% de cimento. A baixa resistência da rocha creme (R.C) já era esperada, segundo informações dos artesãos. A pedra-sabão verde foi a que apresentou a maior resistência mecânica quando comparada com todas as demais pedras sintéticas e rochas.

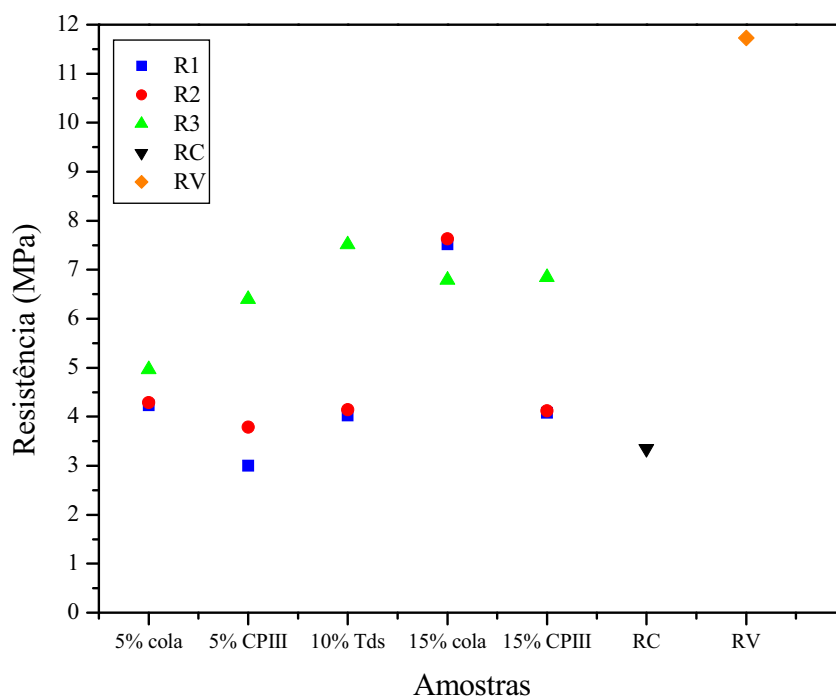


Figura 37 – Resistência mecânica por flexão por 3 pontos.

A Tabela 10 resume os resultados obtidos dos ensaios de resistência mecânica de flexão por 3 pontos. Pela análise dessa tabela, foi verificado que todas as amostras, independentemente de serem feitas a partir de pós com coloração creme ou verde-acinzentado ou com granulação grossa ou fina, as dispersões nos resultados dos testes de resistência mecânica das pedras sintéticas foram menores que as dispersões dos resultados obtidos para as rochas, como foi demonstrado ao se analisar os módulos de Weibull.

Verificou-se ainda que com apenas 5% de cola, as rochas sintéticas de coloração creme apresentaram resistência mecânica superior à da natural. Foi verificado, também, que todas as pedras sintéticas com 15% de cola são mais resistentes que as rochas sintéticas com 5% de cola, sugerindo que a resistência mecânica das pedras sintéticas é proporcional à quantidade de cola adicionada.

Entretanto, deve ser lembrado que o objetivo deste trabalho não é o de se obter um material mais resistente, mas obter um material mais resistente, mas o de obter uma pedra-sabão sintética similar à rocha e a baixos custos. Dessa forma, de acordo

com os resultados da Tabela 10, a adição de 5% de cola já atende a demanda dos artesãos do ponto de vista de resistência mecânica.

Tabela 10 – Resistência mecânica por flexão por 3 pontos e os valores de “m” (módulo de Weibull).

Amostras		σ_{50} (MPa)	σ_0 (MPa)	m
Rocha creme		3,02	3,35	3,7
Rocha verde		10,41	11,73	3,1
R1	5% cola	4,07	4,23	12,4
	5% cimento	2,80	3,00	6,9
	10% todos aditivos	3,75	4,02	6,7
	15% cola	7,09	7,52	8,1
	15% cimento	3,58	4,08	6,5
R2	5% cola	4,12	4,29	12,9
	5% cimento	3,63	3,79	12,3
	10% todos aditivos	3,94	4,14	9,4
	15% cola	7,35	7,63	14,0
	15% cimento	3,92	4,12	9,8
R3	5% cola	4,60	4,96	6,2
	5% cimento	6,04	6,40	8,5
	10% todos aditivos	7,13	7,51	9,5
	15% cola	6,59	6,79	16,9
	15% cimento	6,84	6,84	8,1

A variação da resistência mecânica das pedras sintéticas não manteve uma proporcionalidade com a adição de cimento, como também foi verificado para a adição de cola. Assim, não se justifica o uso de mais de 5% de cimento considerando a melhoria da resistência mecânica.

Com relação às rochas, a verde foi a que apresentou a maior resistência mecânica, confirmando a preferência dos artesãos em aplicações que exigem maior resistência mecânica. Verificou-se que nenhuma pedra-sabão sintética alcançou 80% da resistência mecânica da rocha verde, evidenciando que não é possível obter uma pedra-sabão sintética com os materiais usados neste trabalho com resistência mecânica semelhante ou maior que a da rocha verde, mesmo com a adição de maiores porcentagens de cola. Porém, é importante ressaltar que todas as amostras, do ponto de vista da resistência mecânica, foram mais homogêneas, ou seja, com maior módulo de Weibull. Quando amostras apresentam menor valor de “m”, significa que, dependendo da aplicação, não se trata de uma cerâmica conveniente, pois não tem boa homogeneidade, com a existência de pontos com resistência mecânica muito baixa.

Essas tendências observadas nos ensaios de flexão por 3 pontos sugerem que, do ponto de vista dos artesãos, as amostras das pedras sintéticas cremes com 5% de cola e 10% de cimento podem ser empregadas como matéria-prima para artefatos mais resistentes do que seus similares em rocha, enquanto para a pedra sintética verde foi observado o inverso.

4.2.4.2 Resistência mecânica determinada pelo ensaio de compressão diametral

Com base nos resultados dos ensaios anteriores realizados com as rochas sintéticas, optou-se em confeccionar amostras sintéticas com algumas alterações em suas composições. A adição de cola branca foi diminuída de 10% para 5% em massa e, com a intenção de melhorar a resistência mecânica e a trabalhabilidade dessas amostras, misturou-se o R1 com o R2 contendo 50% em massa de cada um. Essa decisão baseou-se no princípio de que um material cerâmico, com diferentes tamanhos de partículas resulta em um material mais denso, pois as partículas menores preencherão os interstícios formados pelas partículas maiores, e, assim pode-se obter um material com melhor empacotamento das partículas.

O ensaio de compressão diametral foi realizado com amostras feitas a partir do R3 contendo 5% e 10% de cola; R1 com 50% em massa + R2 com 50% em massa, contendo 5% de cola, sendo também confeccionadas amostras com as rochas creme e verde. Na Figura 38 é possível observar o comportamento típico durante o ensaio de compressão diametral, ou seja, ocorreu a formação de trincas verticais alinhadas à direção do esforço.



Figura 38 – Pedra sintética, contendo o resíduo R3, no momento da ruptura por compressão diametral.

Porém, esse comportamento ocorreu com as amostras sintéticas. Já com as rochas, na maioria dos corpos-de-prova, as fraturas ocorreram de forma aleatória como é possível observar nas Figuras 39 (a) e (b).



Figura 39 – (a) Corpos-de-prova da rocha verde e, (b) da rocha creme após o ensaio de compressão diametral.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados das resistências mecânicas (σ_{50} e σ_0) e o valor de “m”.

Tabela 11 – Resistência mecânica por compressão diametral e os valores de “m” (módulo de Weibull).

Amostras	σ_{50} (MPa)	σ_0 (MPa)	m
Rocha creme	1,85	2,07	3,3
Rocha Verde	2,46	2,73	4,3
R3 (5% cola)	1,14	1,18	15,8
R3 (10% de todos aditivos)	1,27	1,35	8,1
R1 + R2 (5% de cola)	1,13	1,17	14,8

Como aconteceu no ensaio de resistência mecânica por flexão por 3 pontos, a rocha verde mostrou-se mais resistente do que a rocha creme, e as demais amostras sintéticas. Porém, estas rochas obtiveram menores valores de “m”, o que significa que são heterogêneas em relação ao comportamento da resistência mecânica. As amostras sintéticas obtiveram valores altos de “m”, significando que o comportamento das amostras mediante esforços mecânicos, é mais confiável. No gráfico da Figura 40 são apresentados os diagramas de Weibull para os corpos de prova obtidos a partir dos

resíduos e das rochas, apresentando as curvas da Probabilidade (P) em função da tensão de ruptura (σ), em MPa. Todas as retas obtidas com as amostras de pedra sintética apresentaram maior ângulo de inclinação.

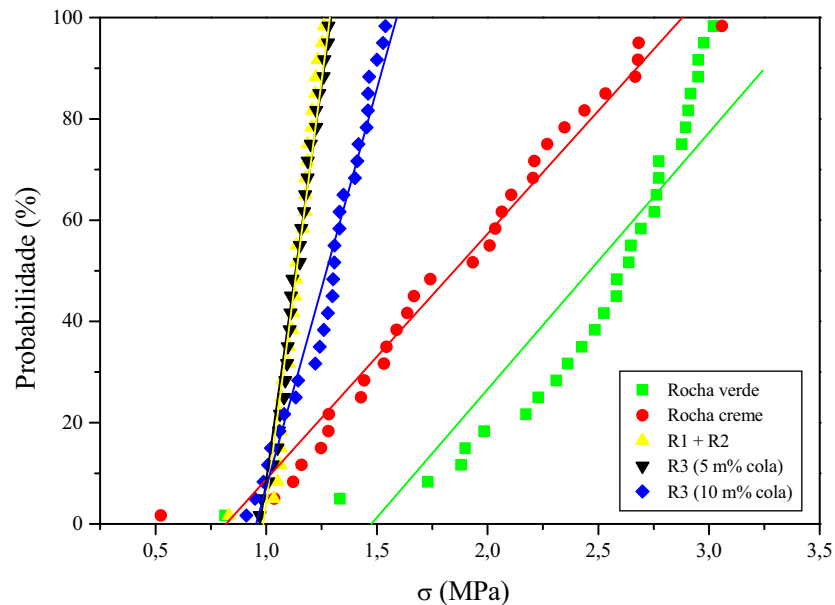


Figura 40 – Resistência mecânica por compressão diametral em amostras de rochas e pedras sintéticas.

4.3 Teste de campo

Amostras em disco, com R3 e R1, nas mesmas dimensões dos corpos-de-prova utilizados no ensaio de compressão diametral, foram enviados aos artesãos de Santa Rita de Ouro Preto para testes práticos.

Os artesãos trabalharam com as amostras sintéticas da mesma forma e com os mesmos recursos utilizados para os trabalhos com as rochas. O conjunto de fotos, apresentado na Figura 41, mostra algumas das principais etapas dos testes práticos realizados pelos próprios artesãos em suas respectivas oficinas.

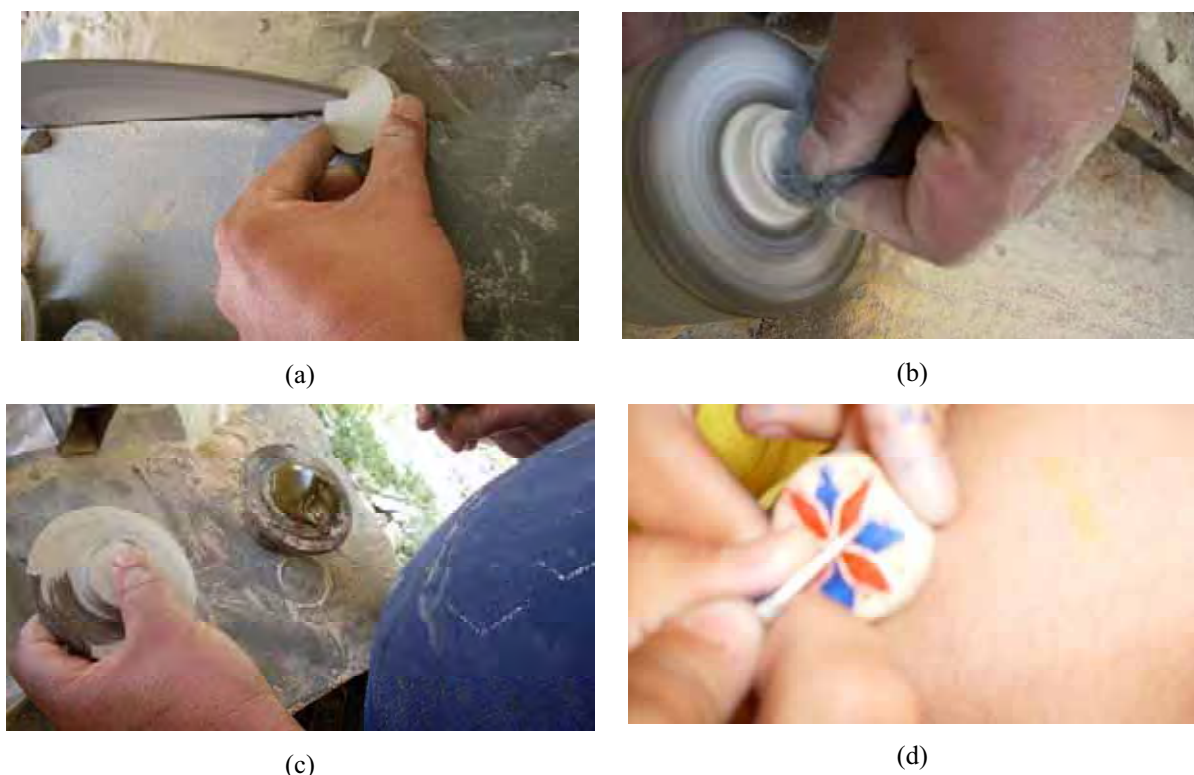


Figura 41 – Testes práticos realizados pelos artesãos com as amostras sintéticas: (a) corte, (b), modelamento manual em máquina rotativa, (c) envernizamento e (d) pintura.

Junto com as amostras sintéticas foi enviado um questionário aos artesãos para uma avaliação mais criteriosa cujas cópias se encontram no Anexo A. Segundo os artesãos, é possível trabalhar com as amostras sintéticas com a mesma facilidade e com as mesmas ferramentas com que se trabalha com a rocha. Também foi possível obter acabamentos, envernizamentos e pintura nas amostras sintéticas, como ilustra a Figura 41, esses aspectos são muito importantes, pois estão relacionados a técnicas usuais utilizadas pelos artesãos.

Uma observação importante dos artesãos, diz respeito ao “encorpamento” das amostras. Eles observaram que as amostras confeccionadas com o resíduo amarelo-creme (R1), ficaram menos “encorpadas” do que as amostras confeccionadas com o resíduo verde-acinzentado (R3). É possível que o termo “encorpado”, utilizado pelos artesãos, esteja relacionado à resistência mecânica. Provavelmente, isso se deve ao fato de que as amostras do resíduo R3 possuírem uma distribuição granulométrica mais ampla, o que proporcionou um melhor empacotamento das partículas, ou seja, partículas de menor tamanho ocuparam interstícios formados por partículas maiores e

assim, o material tornou-se mais “encorpado”. Além disso, os resultados dos ensaios de flexão e compressão diametral demonstraram que as amostras obtidas do resíduo R3 apresentaram valores de resistência mecânica superiores às das amostras confeccionadas com os resíduos R1 e R2.

Os artesãos consideraram as amostras sintéticas como “muito boas” e que apresentam grande potencial para utilização na atividade artesanal. O conjunto de fotos apresentado nas Figuras 42 e 43 ilustram as amostras sintéticas depois de testadas pelos artesãos.

Do ponto de vista dos custos, foi verificado que, enquanto o quilo de rocha custa em torno de R\$ 0,20, o quilo de pedra-sabão sintética custa cerca de R\$ 0,31. Deve ser observado que o artesão perde em torno de 30% de material quando compra e trabalha com a rocha, enquanto tem aproveitamento quase integral com as pedras sintéticas. Não entra nesse cálculo a solução do problema do descarte e sua respectiva implicação ambiental, cujo valor não é passível de tradução para a linguagem monetária.



(a)



(b)

Figura 42 – Amostras das pedras sintéticas testadas pelos artesãos; (a) amostras das pedras sintéticas confeccionadas com R3; (b) amostras confeccionadas com R1.



(a)



(b)

Figura 43 – Amostras das pedras sintéticas testadas pelos artesãos; (a) amostras com R1 esculpidas e envernizadas e (b) amostras com R1, ao fundo as duas amostras envernizadas e, em destaque, amostra esculpida e pintada.

5 CONCLUSÕES

As amostras de pedra sintética apresentaram as propriedades desejadas pela atividade artesanal, principalmente no que diz respeito à trabalhabilidade. Constatou-se que é possível trabalhar as pedras sintéticas com as mesmas ferramentas e utilizar os mesmos recursos e materiais, como lixas, tintas e vernizes, com que se trabalha a rocha de pedra-sabão (esteatito).

O acabamento superficial da pedra sintética foi melhor que o da rocha de pedra-sabão, não necessitando de intenso lixamento. Nos questionários respondidos pelos artesãos, pôde-se observar que estes consideraram a superfície da pedra sintética “perfeita”.

Com relação à porosidade, nos primeiros testes realizados com as amostras confeccionadas sem a presença da parafina, observou-se que a porosidade da pedra sintética era maior que a da rocha, o que representava um problema para os artesãos, visto que as amostras iriam consumir maiores quantidades de verniz. Essas amostras também apresentavam um caráter mais hidrofílico que as rochas. Além disso, os artesãos apontaram a falta de “untuosidade” das amostras. Com o uso da parafina, as amostras passaram a apresentar maior caráter hidrofóbico, provavelmente pelo preenchimento de parte dos poros pela parafina, também adquiriram a untuosidade desejada, e assim reduziram a porosidade que implicava em maior consumo de tintas e vernizes.

As amostras confeccionadas a partir dos resíduos apresentam resistência mecânica maior que a da rocha de coloração amarelo-creme, que é a utilizada pelos artesãos. Todas as amostras confeccionadas com resíduos atenderam aos requisitos para a produção de artesanato. Importante é o fato de os resíduos da rocha verde-acinzentada poderem ser utilizados para a fabricação de artesanato. Deve ser lembrado que a rocha verde é atualmente utilizada basicamente para a fabricação de painéis. As amostras de pedra sintética apresentaram maior homogeneidade, ou seja, maior módulo de Weibull quando comparado aos módulos das amostras de rocha. Portanto,

as pedras sintéticas apresentam-se mais confiáveis no que diz respeito ao comportamento de sua resistência mecânica.

A partir dos ensaios de compressão diametral, pôde-se concluir que a adição de 5% de cola, em massa, determinaria uma resistência mecânica suficiente para a realização da atividade artesanal.

Ao misturar os resíduos R1 e R2, numa proporção de 50% em massa de cada tipo de resíduo, melhorou-se a distribuição granulométrica dos resíduos e, conseqüentemente, o empacotamento das partículas durante a prensagem. Essas amostras foram analisadas no ensaio de compressão diametral, mostrando resistência mecânica comparável com as obtidas pelas amostras com o resíduo R3.

Constatou-se que é viável para os artesãos de Santa Rita de Ouro Preto fabricar pedras sintéticas com os resíduos gerados pelas atividades artesanal e industrial. Esse material, obtido a partir dos resíduos, recolhidos para este trabalho, possui um forte apelo no que se refere à preservação do meio ambiente e, nesse aspecto poderia abrir maior espaço para o mercado exterior, principalmente o europeu, onde produtos ecologicamente corretos são muito valorizados. Além disso, como o processo de fabricação dessas pedras é de fácil execução e de baixo custo, há grande probabilidade de ter sua implantação financiada por órgãos de fomento. Nesse contexto, a comunidade artesã do local poderá aproveitar todo o resíduo, hoje descartado, e fabricar peças ecologicamente corretas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foi gratificante porque atingiu o objetivo que apresenta um forte apelo social e ambiental. Além disso, os resultados alcançados demonstram a possibilidade de continuação deste estudo visando, principalmente, atender a temas como:

- 1 Desenvolvimento de uma prensa hidráulica e de moldes de baixo custo;
- 2 Trabalho educacional na região para fomentar a atividade artesanal e sua exposição em eventos artísticos e culturais, incluindo a orientação para a criação de cooperativas de artesãos;
- 3 Inclusão de resíduos de outras rochas como o mármore e a pedra são Tomé, e de materiais poliméricos e cerâmicos;
- 4 Estudo da mistura de pós, visando novas colorações e outras granulometrias;
- 5 Estudo dedicado à redução de custos na atividade artesanal;

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. **Lavra, artesanato e mercado do esteatito de Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2006.

ALBERO, J. L. A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte I: O preenchimento das cavidades do molde. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, set./out. 2000.

ALBERS, A. P. F et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 305, jan./mar. 2002.

ARAÚJO, RODRIGUES, FREITAS. Apostila 3 - Materiais de construção. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmund/aglomerantes.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2009.

ASSIS, D.; YOSHIDA, I. V. P.; SCHIAVON, M. A. Caracterização do pó de pedrasabão produzido em Congonhas (MG) para reaproveitamento no preparo de compósitos de matriz cerâmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu., 2006.

ASSOCIAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Notícias**. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais02.php>. Acesso em: 6 maio 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABC). Guia básico de utilização do cimento. **Boletim Técnico**, 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/tipos.html>. Acesso em: 17 maio 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassas e concretos: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 1983.

BEREZOWSKI, L. R; MOURA NETO, C. ; MELLO F. C. L. de. Avaliação da resistência mecânica de cerâmicas à base de carbetto de silício. In: ENCONTRO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA, E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 2002, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: 2002.

BEZERRA, F. N. M. **Mármore ornamentais de Minas Gerais, novas técnicas de caracterização e prospecção pedreira do Cumbi – Cachoeiro do Campo.** 1999. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

BRINKER, C. F.; SCHERRER, G. W. Sol-Gel Science. **San Diego:** Academic Press, 1990. 908 p.

CAMPOS, C. B. P.; CASTILHOS, Z. C. Transformações tecnológicas para melhoria da saúde, do trabalho e do meio ambiente na arte da pedra-sabão em Mata dos Palmitos, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. CETEM, 2007.

CAVALCANTI, J. E. A década de 90 é dos resíduos sólidos. **Revista Saneamento Ambiental**, São Paulo, n. 54, p. 16-24, nov./dez. 1998. Disponível em: <<http://riosvivos.org.br>>. Acesso em: 8 setembro 2008.

CASTILHOS, Z. C et al. Trabalho familiar no artesanato de pedra-sabão – Ouro Preto, Brasil. **Comunicação Técnica elaborada para o livro “Gênero e trabalho infantil na pequena mineração – Brasil, Peru, Argentina, Bolívia”**, Centro de tecnologia mineral - CETEM, CNPq, 2006.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e engenharia de materiais:** uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.

DUARTE, L. C. et al. **Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no estudo de gemas:** exemplos brasileiros. Pesquisas em geociências, 30, (2): 3 – 15, 2003. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e meio ambiente no Brasil.** Relatório preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, out. 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/busca/ConsultaProdutoNcomTopo.php?f=1&idProduto=1329>. Acesso em: 08 novembro 2009.

FARIA, H. M; SILVA, R. J. S. Sistemas de gestão ambiental: por que investir? 1998. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART215.pdf. Acesso em: 15 abril 2009.

FERRARI, K. R et al. Transformações das matérias-primas do suporte durante a queima de revestimento cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 53-58, mar/abr. 2000.

FLOHR, L et al. Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 7-18, 2005.

FORMIGONI, G. E et al. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, 2007.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. de. Ensaio de tração. In: _____. **Ensaio de materiais**. São Paulo: LTC, 2000b. cap. 2, p. 1-45.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. de. Ensaio de flexão. In: _____. **Ensaio de materiais**. São Paulo: LTC, 2000c. cap. 6, p. 102-117.

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. **Gestão de resíduos sólidos requer maior atenção das indústrias**. Disponível em: <http://www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/noticias/2004/03/19>>. Acesso em: 15/09/2008.

JACOBI, P. Meio ambiente e sustentabilidade – O complexo desafio da sustentabilidade. Desenvolvimento e meio ambiente. 1999. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/7506458/Meio-Ambiente-e-Sustentabilidade>. Acesso em: 5 maio 2009

KRAEMER, M. E. P. A questão ambiental e os resíduos industriais. Instituto de Contabilidade do Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.amda.org.br/objeto/arquivos/111.pdf> Acesso em: 21 outubro 2009.

MACHADO, P.A L. **Direito ambiental brasileiro**. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1989. 478 p.

MARINS, E. M. **Otimização e caracterização microestrutural de cerâmicas de carbeto de silício obtidas com material nacional para uso em blindagem balística.** 2008. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá. 2008.

MENDES, S. E. da S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2002.

MENEGAZZO, A. P. M et al. Avaliação da resistência mecânica e módulo de Weibull de produtos tipo grês porcelanato e granito. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 24-32, 2002.

MENEZES, R. R; NEVES, G. de A; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MINATTI, J. L. **Desenvolvimento de cerâmicas de mulita a partir de alumina, ácido silícico e aerosil.** 2009. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá. 2009.

MOREIRA, J. M. S; MANHÃES, J. P. V. T; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduos de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 319 p. 180-186, 2005.

MOREIRA, J. M. S; FREIRE, M. N; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica. **Cerâmica**, São Paulo, v.49, n. 312p. 262-267, 2003.

MUNZ, D.; FETT, T. Determination of strength. In:_____. **Ceramics: mechanical properties, failure behavior, materials selection.** Germany: Springer-Verlag, 2001a. p.125-136.

NORTON, F. H. Vidros. In:_____. **Introdução a tecnologia cerâmica.** São Paulo: Edgard Blucher, 1973c. 211-227p.

NUNES, P.H. F. **Mineração, meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. Curitiba: Juruá, 2006. 241 p.

PALMONARI, C; TIMELLINI, G. **A indústria de revestimentos italiana e o meio ambiente**. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 7-11, jan./fev. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_2010.php> Acesso em: 13 fev. 2010.

PARRA, B. S et al. **Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos**. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 15-18, 2006.

PERES, P. I. S.; DUARTE, E. T. V.; BARBOSA, C. G. A.; CARVALHO, E. A. determinação do lote mínimo em ensaios de compressão diametral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 3., 2003. Recife. **Anais...** Recife: SBM, 2003.

PIORINO NETO, F. **Estudo do ensaio de anel em compressão diametral para caracterização de cerâmicas em temperaturas ambiente e elevadas**. 2000. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)-Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena, 2000.

PITT, K. G.; NEWTON, J. M.; STANLEY, P. Tensile fracture of doubly-convex cylindrical discs under diametral loading. **Journal of Materials Science**. v. 23, n.8, p. 2723-2728, Aug. 1998.

PONTES, I. F; ALMEIDA, S. L. M. Talco, CT 2005-141-00. Comunicação Técnica elaborada para edição do livro: Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. 607 – 628. Rio de Janeiro, 2005.

PONTES, I. F; STELLIN Jr., A. Utilização de resíduos de rochas ornamentais nas indústrias de construção civil. CT 2005-102-00. Comunicação Técnica elaborada para o XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Anais, v.2, 607 p. Natal, 2005.

PROGRAMA DO ARTESANATO BRASILEIRO. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em:

<<http://www.pab.desenvolvimento.gov.br/TEMPLATE.ASP?ID=Apresentação>>. Acesso em: 21 outubro 2009.

RAHAMAN, M. N. Powder consolidation and forming of ceramics. In: _____ **Ceramic processing and sintering**. 2. ed. USA: CRC Press, 2003b. cap. 10.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. 2 ed. Nova York: John Willey & Sons, 1995. 658 p.

SPATUZZA, A. **Revista Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/reciclagem/geracao-de-residuos-aumenta-em-2010-mas-reciclagem-continua-estacionada-2011>>. Acesso em: 16 maio 2010.

RUDNICK A.; HUNTER, A. R AND HOLDEN, F. C. An analysis of the diametralcompression test. **Materials Research and Standards**, v. 3, n. 4, p. 283-289, Apr. 1963.

RUTKOWSKI, J; DAMASCENO, J. P; TORIBIO, N. B. Interação engenharia de produção e comunidade: uma proposta mercadológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002.

SACARLATO, F. C. Ouro Preto. Cidade histórica da mineração no sertão brasileiro. **Anales de Geografia de la Universidad Complutense**, n.16, p. 123-141. Servicio de Publicaciones Universidad Complutense. Madrid, 1996.

SAMPAIO, R. **Desenvolvimento de processo alternativo para a fabricação de materiais cerâmicos envolvendo as técnicas de conformação com amido e colagem**. 2008. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2008.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas**: aplicações. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1975. 461 p.

SHACKELFORD, J. F. Ceramics and glasses. In: _____ **Introduction to materials science for engineers**. 4. ed.. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. p. 309-349.

SILVA, F. R. **A paisagem do quadrilátero ferrífero, MG**: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SILVA, A. P; SEGADÃES, A. M; DEVEZAS, T. C. Aplicação de métodos estatísticos na otimização da densidade de empacotamento de distribuição de pós de alumina. **Cerâmica**, são Paulo, n. 50, p. 345-354, 2004.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, Tomazina, ano 1, n. 8, nov. 2007.

SILVA, M. E. **Avaliação da susceptibilidade de rochas ornamentais e de revestimentos à deterioração**: um enfoque a partir do estudo em monumentos do barroco mineiro. 2007. 125 f. Tese (Doutorado em Geociências)-Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SILVA, M. E; ROESER, H. M. P. Mapeamento de deteriorações em monumentos históricos de pedra-sabão em Ouro Preto. **Revista Brasileira de Geociências**, Ouro Preto, v. 33, n. 4, p. 331-338, Ouro Preto, 2003.

SOLVEN SOLVENTES E QUÍMICOS Ltda. Especificação de produto, parafina granulada Solven Wax Plus, EP. LAB. 248, Rev.04, 02/07/2009.

SPÍNOLA, V; GUERREIRO, L. F; BAZAN, R. A indústria de rochas ornamentais. Estudo de mercado, 2004. Disponível em:
<http://www.redeapmineral.org.br/biblioteca/rochas-ornamentais/A%20INDUSTRIA%20DE%20ROCHAS%20ORNAMENTAIS.pdf>.
 Acesso em: 11 maio 2009.

STANLEY, P. Mechanical strength testing of compacted powders. **International Journal of Pharmaceutics**, Manchester, v. 227, n. 1-2, p. 27-38, Oct. 2001.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.

THÜMMLER, F; OBERACKER, R. **Introduction to powder metallurgy**. The Institute of Materials, 1993.

TORRES, H. S. S. **Caracterização do refugio do esteatito das indústrias e oficinas artesanais da região de Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Mariana e Ouro Preto.** 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais)- Rede Temática em Engenharia de Materiais – UFOP - CETEC - UEMG, Ouro Preto, 2007.

VALE, S et al. A minimização dos impactos ambientais causados pela produção de cerâmica vermelha com utilização da análise racional para formulações de massa. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 11, n. 5-6, p. 39-41, set./dez. 2006.

VAN VLACK, L. H. Propriedades mecânicas e aplicações. In: _____. **Propriedades dos materiais cerâmicos.** São Paulo: Edgard Blucher, 1973. p. 109-129.

VAN VLACK, L. H. **Propriedades dos materiais cerâmicos.** 14. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 381 p.

Definição da ISO 14.000. Disponível em:

<<http://www.indg.com.br/iso14000/definicao.asp>>. Acesso em: 11 maio 2010.

.

ANEXO A – Questionário enviado aos artesãos para avaliação das amostras de pedra sintética.

Rsc 35% cob R1 35%
cob

QUESTIONÁRIO SOBRE AS "PEDRAS ARTIFICIAIS"

Foram confeccionados dois tipos de pedras, as chamadas de R1 (a partir do residuo da pedra amarela) e R3 (a partir do residuo da pedra verde da fábrica de painéis).

Nas questões onde há "observação", é para colocar qualquer fato que tenham notado de diferente quando comparado o trabalho com a pedra natural.

Na questão 4, quando se pede resposta sincera é porque gostaríamos de saber de vocês tanto os pontos positivos quanto os negativos. A sinceridade é que nos ajudará a melhorar o nosso trabalho.

1 - É possível trabalhar com a pedra artificial com as mesmas ferramentas e a mesma facilidade com que se trabalha com a pedra natural?

☒ (a) Sim

(b) Não

Se a resposta for "não", explicar o motivo: _____

2 - É possível obter o mesmo efeito de acabamento utilizando lixas nas pedras artificiais? (Sempre comparar os resultados com os da pedra natural).

(a) Sim

(b) Não, porque o resultado é feio.

☒ Não, porém o acabamento obtido é interessante e/ou bonito.

Observação: *Às vezes uma lixa só dá o acabamento, devido o material ser mais leve.*

3- É possível obter polimento e aplicar tintas e/ou vernizes nas pedras artificiais?

☒ (a) Sim

(b) Não

Observação.

Uma coisa importante é que para trabalhar com ela é preciso

4 - Houve diferença entre as amostras amarela (R1) e a verde (R3)? Se houve qual foi e por quê?

R: *Sim. as amostras de um material mais resistente então ela aceita mais as ferromantas pois sendo mais duras apresenta mais a uniformidade das nanais.*

4 - O que vocês acharam das pedras artificiais? (a resposta deve ser SINCERA)

R: *Muito importante não só para a coleta produtiva, mas também para o aproveitamento do que é abundantemente jogado fora*

MUITO OBRIGADO! A SUA AJUDA É MUITO IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO DESSA PESQUISA!!

R1 ou R1

QUESTIONÁRIO SOBRE AS "PEDRAS ARTIFICIAIS"

Foram confeccionados dois tipos de pedras, as chamadas de R1 (a partir do resíduo da pedra amarela) e R3 (a partir do resíduo da pedra verde da fábrica de painéis)

Nas questões onde há "observação", é para colocar qualquer fato que tenham notado de diferente quando comparado o trabalho com a pedra natural.

Na questão 4, quando se pede resposta sincera é porque gostaríamos de saber de vocês tanto os pontos positivos quanto os negativos. A sinceridade é que nos ajudará a melhorar o nosso trabalho.

1 - É possível trabalhar com a pedra artificial com as mesmas ferramentas e a mesma facilidade com que se trabalha com a pedra natural?

☒ (a) Sim

(b) Não

Alguns ajustes não compensam a produção. E. lado negativo dos maquinários

Se a resposta for "não", explicar o motivo: _____

2 - É possível obter o mesmo efeito de acabamento utilizando lixas nas pedras artificiais? (Sempre comparar os resultados com os da pedra natural).

(a) Sim

Quase

(b) Não, porque o resultado é feio.

☒ Não, porém o acabamento obtido é interessante e/ou bonito.

Observação: É um material menos duro.

3- É possível obter polimento e aplicar tintas e/ou vernizes nas pedras artificiais?

☒ Sim

(b) Não

Observação: *Podem como se vera nos*

feitos em todo o processo.

4 - Houve diferença entre as amostras amarela (R1) e a verde (R3)? Se houve qual foi e por quê?

R: *Sim,*

As cinzas são mais densas

4 - O quê vocês acharam das pedras artificiais? (a resposta deve ser SINCERA)

R: *Bom, até demais.*

MUITO OBRIGADO! A SUA AJUDA É MUITO IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO DESSA PESQUISA!!

R_{1b} (Cote 1)

QUESTIONÁRIO SOBRE AS "PEDRAS ARTIFICIAIS"

Foram confeccionados dois tipos de pedras, as chamadas de R1 (a partir do resíduo da pedra amarela) e R3 (a partir do resíduo da pedra verde da fábrica de painéis).

Nas questões onde há "observação", é para colocar qualquer fato que tenham notado de diferente quando comparado o trabalho com a pedra natural.

Na questão 4, quando se pede resposta sincera é porque gostaríamos de saber de vocês tanto os pontos positivos quanto os negativos. A sinceridade é que nos ajudará a melhorar o nosso trabalho.

1 – É possível trabalhar com a pedra artificial com as mesmas ferramentas e a mesma facilidade com que se trabalha com a pedra natural?

☒ Sim

(b) Não

Se a resposta for "não", explicar o motivo: _____

2 – É possível obter o mesmo efeito de acabamento utilizando lixas nas pedras artificiais? (Sempre comparar os resultados com os da pedra natural).

(a) Sim

☒ Não, porque o resultado é feio. (Quase)

☒ Não, porém o acabamento obtido é interessante e/ou bonito.

Observação: Por exemplo. Tem pedras que não precisam de polir e nem lixas

3- É possível obter polimento e aplicar tintas e/ou vernizes nas pedras artificiais?

☒ Sim

(b) Não

Observação: Prém o material falta
densidade, uniformidade.

4 - Houve diferença entre as amostras amarela (R1) e a verde (R3)? Se houve qual foi e por quê?

R: Sim, as de pedra verde são mais
consistentes, mais firmes

4 - O que vocês acharam das pedras artificiais? (a resposta deve ser SINCERA)

R: Gostamos muito, pois se não
achamos mais alguns recursos para
as melhorar, já poderemos usar
em alguns segmentos de artesanato
não polidos.

MUITO OBRIGADO! A SUA AJUDA É MUITO IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO DESSA PESQUISA!!

R3 10/1.7 D. MAT

R3

QUESTIONÁRIO SOBRE AS "PEDRAS ARTIFICIAIS"

Foram confeccionados dois tipos de pedras, as chamadas de R1 (a partir do resíduo da pedra amarela) e R3 (a partir do resíduo da pedra verde da fábrica de painéis).

Nas questões onde há "observação", é para colocar qualquer fato que tenham notado de diferente quando comparado o trabalho com a pedra natural.

Na questão 4, quando se pede resposta sincera é porque gostaríamos de saber de vocês tanto os pontos positivos quanto os negativos. A sinceridade é que nos ajudará a melhorar o nosso trabalho.

1 - É possível trabalhar com a pedra artificial com as mesmas ferramentas e a mesma facilidade com que se trabalha com a pedra natural?

☒ Sim

(b) Não

Se a resposta for "não", explicar o motivo: _____

2 - É possível obter o mesmo efeito de acabamento utilizando lixas nas pedras artificiais? (Sempre comparar os resultados com os da pedra natural).

(a) Sim

(b) Não, porque o resultado é feio.

☒ Não, porém o acabamento obtido é interessante e/ou bonito.

Observação: Em alguns acabamentos o

resultado é perfeito

3- É possível obter polimento e aplicar tintas e/ou vernizes nas pedras artificiais?

(a) ☒ Sim

(b) Não

Observação: Parou, precisamos de mudas de
a relação do Tomo

4 - Houve diferença entre as amostras amarela (R1) e a verde (R3)? Se houve qual foi e por quê?

R: Não,
As cingos são mais densas

4 - O que vocês acharam das pedras artificiais? (a resposta deve ser SINCERA)

R: ótimos, alguns acoboramentos
já são perfeitos.

MUITO OBRIGADO! A SUA AJUDA É MUITO IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO DESSA PESQUISA!!