

PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL UTILIZANDO FINOS DE BRITA
EM UMA MATRIZ EPÓXI

NATÁLIA DE FIGUEIREDO VILELA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2016

PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL UTILIZANDO FINOS DE BRITA
EM UMA MATRIZ EPÓXI

NATÁLIA DE FIGUEIREDO VILELA

Dissertação de mestrado apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Maurício Fontes Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO LENEP

620.192
V699p
2016

Vilela, Natália de Figueiredo

Produção de rocha artificial utilizando finos de brita em uma matriz epóxi / Natália de Figueiredo Vilela. --- Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados, 2016.

vii, 67 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais).

Área de concentração: Materiais e Meio Ambiente.

Orientador: Carlos Maurício Fontes Vieira.

Bibliografia: f. 60-67

1. Rochas artificiais 2. Matéria-prima 3. Rejeito 4. Reciclagem 5. Finos de brita I. Título.

PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL UTILIZANDO FINOS DE BRITA EM UMA MATRIZ EPÓXI

NATÁLIA DE FIGUEIREDO VILELA

Dissertação de mestrado apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Comissão Examinadora:

Elaine Aparecida Carvalho Costa Santos (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais)
– UENF

Prof. Djalma Souza (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais) – UENF

Prof. Lúcio José Terra Petrucci (D. Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais) – Escola
Técnica de Cerâmica de Campos – FAETEC

Prof. Carlos Maurício Fontes Vieira (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais) –
UENF – Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus; aos meus pais irmã e namorado pelo incentivo e apoio; à minha família por compreender a minha ausência durante a realização deste. Aos meus amigos por estarem sempre comigo, compartilhando momentos e aprendizagens inenarráveis. À meu orientador Carlos Maurício Fontes Vieira pelo apoio e oportunidade e à Elaine pela força e ajuda na elaboração deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Até o mais seguro dos homens já passou por um momento de hesitação, por dúvidas enormes ou pequenas, que talvez nem merecessem ser chamadas de dúvidas, de tão pequenas. Nesta hora, precisamos de um empurrãozinho. E é aos empurradores de plantão que agradeço, por me dizerem “vá em frente! você consegue! eu te ajudo!”, nos momentos que pensava estar só.

Agradeço primeiramente a Deus pois sem ele, nada disso seria possível.

À minha família que em todo tempo se fizeram presentes e compreenderam minhas faltas. Agradeço ao meu pai Claudino, mãe Maria Lúcia e irmã Naiane pela paciência em tolerar a minha ausência durante os longos períodos de estudo.

Ao meu orientador Carlos Maurício pelo apoio, no amadurecimento dos meus conhecimentos, pela simpatia, presteza no auxílio às atividades e discussões sobre o andamento e normatização destes registros científicos e pelo incentivo e paciência que tornaram possível a conclusão deste estudo.

A Elaine, ah Elaine!, o quanto participou dessa caminhada, se fazendo sempre presente, meu sincero agradecimento.

A todos os professores que passaram pela minha vida, em especial Suely Aparecida Faria Mazzini, que contribuiu para meu amadurecimento acadêmico e a todos os outros que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas, que me forneceram bons momentos de discussão sobre o tema a ser abordado e sugeriram material de busca, e ainda, pelo incentivo e apoio incondicional, nos momentos que mais precisei, em especial Angélica, Charina, Nicolle e Sabrina. A todos que participaram, direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho em especial, Aline, Brenner e Priscila.

Ao meu amorzinho, Brenno, que me ajudou em todos os momentos e estava sempre ali para puxar minha orelha, sempre atencioso e amigo.

E por fim, aos professores da UENF que sempre foram prestativos. Aos técnicos que me suportaram, em especial Brunner, Bruno, Michel, Renan e Sílvio meu agradecimento.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELA.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. <i>Objetivo Geral</i>	1
1.1.2. <i>Objetivo Específico</i>	1
1.2. JUSTIFICATIVAS	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS.....	3
2.1.1. <i>Compósitos</i>	3
2.1.2. <i>Classificação</i>	4
2.1.3. <i>Compósitos Poliméricos</i>	5
2.2. ETAPAS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA ROCHA.....	9
2.2.1. <i>Preparação do solo e do “piso” para extração de brita</i>	9
2.2.2. <i>A extração dos blocos de brita (cortes diversos)</i>	10
2.3. FORMAS DE REAPROVEITAMENTO DOS REJEITOS E RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO E SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS E PEDREIRAS	12
2.3.1. <i>Formas de Reaproveitamento dos Rejeitos Extrativistas</i>	13
2.3.2. <i>Formas de Reaproveitamento dos Resíduos da Serragem de Rochas Ornamentais</i>	17
2.4. RECICLAGEM.....	24
2.4.1. <i>Necessidade de uma Metodologia para a Reciclagem</i>	25
2.4.2. <i>A Reciclagem como Desenvolvimento Sustentável</i>	26
2.4.3. <i>Reaproveitamento de Rochas Naturais</i>	29
2.5. A PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL.....	29
2.6. CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS DE ROCHA COM POLÍMERO	32
2.6.1. <i>Dados Comerciais</i>	32
2.6.2. <i>Avaliação Microscópica Óptica</i>	33
2.6.3. <i>Microscopia Petrográfica de Luz Polarizada</i>	35
2.6.4. <i>Composição Mineralógica</i>	37
2.7. RESINA EPÓXI	37
2.7.1. <i>Moldagem de compósitos por transferência de resina</i>	39
3. MATERIAIS E MÉTODOS	41

3.1.	MATERIAIS	41
3.1.1	<i>Resíduo de Brita</i>	41
3.1.2	<i>Resina Epóxi</i>	42
3.3.	3.2. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MAIOR EMPACOTAMENTO	43
3.4.	PRODUÇÃO DAS PLACAS DE MÁRMORE ARTIFICIAL.....	45
3.5.	CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE MÁRMORE ARTIFICIAL	45
3.5.1.	<i>Densidade, absorção de água e porosidade aparente</i>	46
3.5.2.	<i>Determinação da Tensão de Ruptura à Flexão</i>	46
3.5.3.	<i>Desgaste Abrasivo</i>	47
3.5.4.	<i>Avaliação da Microestrutura</i>	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1.	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MAIOR EMPACOTAMENTO 49	
4.2.	PROPRIEDADES FÍSICAS	49
4.2.1.	<i>Densidade, absorção de água e porosidade aparente</i>	49
4.3.	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	51
4.3.1.	<i>Tensão de Ruptura em Flexão</i>	51
4.3.2.	<i>Desgaste Abrasivo</i>	53
4.3.2.	<i>Avaliação da Microestrutura</i>	55
5.	CONCLUSÃO	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1: Principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.....	8
Tabela 2. Especificações Técnicas de Rocha Artificial.....	33
Tabela 3: Comparações entre as rochas sintéticas sobre as rochas naturais.....	33
Tabela 4. Composição química dos finos de brita (% em peso).....	37
Tabela 5 – Faixas Granulométricas utilizadas.....	42
Tabela 6- Matriz de experimentos para determinar a densidade aparente seca.....	44
Tabela 7. Densidade aparente seca das misturas testadas.....	49
Tabela 8. Densidade, absorção de água e porosidade aparente da rocha artificial do material comercial.....	50
Tabela 9. Valores de resistência à flexão para a rocha artificial 10 e 15% de resina, comercial e resina epóxi.....	52
Tabela 10. Amsler desgaste associado com redução da espessura rocha artificial 10 e 15% e Stellar.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Um esquema de classificação para os vários tipos de compósitos. Fonte: (Callister, 2013).....	5
Figura 2: Compósitos utilizados na aeronave Tucano da Embraer. Fonte: (Rezende et. al., 2000).....	7
Figura 3: Preparação do solo para extração. Foto: Pedreira Itereré.....	9
Figura 4: Na pedreira Itereré, a seta mostra uma perfuração para detonação desta quantidade de dinamites ilustrada.....	10
Figura 5: Extração de Rochas utilizando Fio-diamantado. Fonte: (Spínola, 2003)...	11
Figura 6: Estoque de blocos já extraídos. Fonte: (Ribeiro et. al., 2001).....	12
Figura 7: Etapas de fabricação da pedra tecnológica (compósitos de pedra), desenvolvida pela Compac Marmol e Quartz Company. Adaptado de (COMPAC MARMOL E QUARTZ, 2006).....	31
Figura 8: Ilustração do processo de vibro compressão à vácuo. Fonte: (Caesarstone, 2010).....	32
Figura 9. Padrão utilizado para a classificação do arredondamento e da esfericidade dos grãos.....	34
Figura 10. Observação dos grãos segundo os padrões.....	34
Figura 11. Suprfície de um grão de plagioclásio (PLAG.), com microfissuras.....	36
Figura 12. Grão de biotita com bordas de alteração intepérica incipiente.....	36
Figura 13: Detalhe dos grãos de ortopiroxênio (Opx.), apresentando microfissuras com precipitação de ferro.....	36
Figura 14: Esquema do processamento por RTM. Fonte (Alves, 2006).....	40
Figura 15. Esquema da prensa vibratória à vácuo utilizada por Lee et. all em sua pesquisa.....	41
Figura 16. Resíduo britado e separado em três faixas granulométricas.....	42
Figura 17. Modelo simplex-centroid.....	43
Figura 18. Aparato utilizado na determinação da densidade aparente seca das partículas de mármore.....	44
Figura 19- Molde para a confecção dos corpos de prova.....	45
Figura 20. Ensaio de flexão de três pontos da pedra artificial.....	47
Figura 21. Equipamento de desgaste abrasivo do tipo Amsler (Costa et al., 2014). 48	
Figura 22. Comportamento mecânico no ensaio de resistência à flexão para as rochas artificiais 10 e 15% de resina, comercial e da resina epóxi pura.....	52

Figura 23. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 100 vezes.....	56
Figura 24. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 500 vezes.....	56
Figura 25. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 800 vezes.....	56
Figura 26. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 1000 vezes.....	56
Figura 27. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 100 vezes.....	57
Figura 28. . Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 500 vezes.....	57
Figura 29. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 800 vezes.....	57
Figura 30. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 1000 vezes.....	57

RESUMO

A indústria de materiais poliméricos, principalmente os fabricantes de produtos de extração mineral tem procurado valorizar seus produtos em busca de alternativas inovadoras para a fabricação de produtos acabados. Por outro lado aquelas empresas que exploram e comercializam rochas ornamentais ou artificiais, como mármore, granitos e rocha artificial, enfrentam dificuldades no aproveitamento de 100% da sua matéria-prima tomando-se, como exemplo, a quantidade de 1m³ de mármore, alguns estudos indicam que apenas 75% destes materiais tornam-se produtos acabados enquanto o restante é descartado como rejeito, seguindo (ou descartado) para aterros. A junção de conhecimentos oriundos de duas áreas distintas: materiais orgânicos (poliméricos) e materiais inorgânicos (minerais) possibilitam o uso das características intrínsecas dos polímeros que permitem a incorporação de cargas inorgânicas proporcionando a obtenção de produtos acabados com características diferenciadas como elevada resistência mecânica, resistências à flexão, etc. Neste trabalho mostra-se uma metodologia para a reciclagem de rejeitos de pedreiras onde se utiliza finos de brita e resina epóxi para a obtenção de compósitos com matriz polimérica possibilitando uma correta destinação aos rejeitos descartados pelas pedreiras, com agregação de valor ao produto obtido e a possibilidade de geração de uma nova cadeia de negócios.

Os compósitos obtidos neste trabalho foram caracterizados e suas propriedades foram comparadas com rochas artificiais, apresentando propriedades superiores na maioria dos casos, mostrando a viabilidade técnica e econômica do processo (metodologia) apresentado neste trabalho.

Palavras-chave: rochas artificiais, matéria-prima, rejeito, reciclagem, finos de brita

ABSTRACT

The industry of polymeric materials, mainly the manufacturers of mineral extraction products, have been attempting to value their products trying to innovate by creating alternatives for the production of finished products. On the other hand, those companies that explore and sell ornamental or artificial rocks, as marbles and granites, are facing difficulties in the use of 100% of their raw material. For example, researches have concluded that just 75% of 1m³ of marble become the final product while the remaining material is discarded as a reject to embankments. The junction of knowledge originating from two different areas: organic materials (polymers) and inorganic materials (minerals) facilitate the use of the knowledge that the polymeric ones enable the use of the polymers' intrinsic characteristics that allow the the incorporation of inorganic fillers providing the finished products with differentiated characteristics as high mechanical resistance, flexion strength, etc. This study presents a method for recycling waste quarries, which uses fine crushed stone and epoxy resin to obtain composites with polymeric matrix, providing a proper disposal of the product discarded by the quarries, making this poduct more valuable and increasing the possibility of the emergence of new generations of business.

The composites obtained in this paper are characterized and its properties were compared with artificial rocks, presenting superior properties in most of the cases, which shows the technical and economic viability of the process (methodology) presented in this reshearch.

Keywords: artificial rocks, raw material, reject, recycling, gravel fines

1. INTRODUÇÃO

Apesar da potencialidade das reservas e de sua grandiosidade, o parque industrial brasileiro apresenta um inegável atraso tecnológico se comparado a outros países produtores, não atingindo níveis de produtividade e qualidade no seu processo produtivo. Em consequência desse atraso são pequenas as preocupações em se conter os desperdícios com os materiais e em recuperá-los de alguma forma. Em face disso, o baixo custo agregado às rochas exportadas não permite um fluxo de divisas expressivo para o país, mesmo tendo condições favoráveis para tal, outros países produtores de mármore e granitos possuem um avanço tecnológico mais expressivo e já produzem e exportam rochas artificiais para o Brasil.

O Brasil importa uma quantidade considerável de materiais conhecidos como rochas artificiais, que consistem em materiais compósitos que apresentam propriedades mecânicas similares às das rochas naturais, possuindo ainda uma menor absorção de água. Apesar destes materiais apresentarem preço ainda elevado para o Brasil, as vantagens apresentadas pelos mesmos, especialmente através de suas propriedades mecânicas e estéticas, fazem deste material uma excelente alternativa à rocha natural. Tais materiais apresentam ainda uma grande vantagem que consiste na possibilidade de serem facilmente fabricados utilizando resíduos particulados.

A utilização dos rejeitos de materiais de pedras para o desenvolvimento de rochas artificiais, mostram as vantagens na diminuição da quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também a geração de novos empregos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral a produção de rocha artificial a partir do aproveitamento do resíduo de finos de brita de uma pedreira utilizando uma resina epóxi, para a confecção dos corpos de prova na forma de ladrilhos para a produção de revestimentos de interiores entre outros.

1.1.2. Objetivo Específico

- Correlacionar às propriedades mineralógicas do resíduo de brita;
- Investigar, por meio de misturas granulométricas, uma composição que proporcione o maior empacotamento;
- Produzir placas de rocha artificial a partir do resíduo finos de brita e a resina epóxi;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas da rocha artificial. Tendo como propriedades: densidade, absorção de água, porosidade aparente, tensão de ruptura à flexão e desgaste abrasivo.

1.2. JUSTIFICATIVAS

- Atualmente, as rochas artificiais são produzidas em outros países, a fim de oferecer ao mercado interno preços mais acessíveis, estudos que busquem nacionalizar a produção destes materiais tornam-se pertinentes.
- Há um grande volume de rejeitos sendo gerados anualmente na extração e beneficiamento de rochas ornamentais e pedreiras, problemas de estocagem, manutenção dos depósitos, transporte, ambientais e problemas para a população e operários, são uma realidade para a indústria de rochas. Dessa forma, evitando seu descarte no meio ambiente, há uma redução dos grandes volumes depositados diariamente.
- A incorporação do resíduo de brita em polímeros pode atuar de forma benéfica ao meio ambiente. Parte dos resíduos da indústria de pedreiras, entre outros, podem ser reaproveitados, reduzindo a área utilizada para descarte e os custos envolvidos nesta operação, por outro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo está contida toda a revisão bibliográfica e divide-se em seções principais que abordam:

2.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos são materiais multifásicos produzidos artificialmente com combinações desejáveis das melhores propriedades das suas fases constituintes. Com o conhecimento dos vários tipos de compósitos, assim como a compreensão de dependência de seus comportamentos devido às características, às quantidades relativas, à geometria/distribuição e às propriedades das fases constituintes, é possível projetar materiais com combinações de propriedades melhores que as encontradas em qualquer liga metálica, cerâmica ou material polimérico monolítico. (Callister, 2013)

Tem-se uma gama de aplicações de alta tecnologia, tais como as encontradas nas indústrias aeroespacial, submarina, de bioengenharia e de transporte. Nesse contexto, os materiais compósitos representam um gigantesco passo na busca pela otimização dos materiais (Callister, 2013).

2.1.1. Compósitos

Existe uma necessidade da vida moderna de se conseguirem materiais adequados aos segmentos industriais e aplicações decorrentes. Assim, os pesquisadores tem se dedicado a desenvolver produtos específicos para o atendimento da satisfação da sociedade e do progresso tecnológico. A grande questão em torno dos materiais é a sua utilidade (Vlack, 1970).

Com a necessidade de se conseguir materiais que, atendessem a uma quantidade maior de características em termos de estrutura e propriedades, surgiu a ideia de se unir um ou mais materiais, visando obter novos materiais, com propriedades ainda não exibidas por materiais convencionais (Neto et. al., 2006).

Segundo (Chawla,1993) e (Callister,2013) os materiais compósitos também podem ser denominados de materiais compostos, conjugados ou reforçados. Ao mesmo tempo em que surgem desafios econômicos e ambientais, um grande

progresso tem sido feito no entendimento e desenvolvimento de materiais avançados, porém requerem materiais cada vez mais sofisticados e especializados onde persistem desafios tecnológicos.

Os materiais compósitos ainda podem ser definidos como a combinação de dois ou mais materiais, seja em escalas macroscópica ou microscópica, de diferentes formas. Estas combinações podem ser contínuas, descontínuas e aleatórias além de composições químicas, em que um dos componentes, descontínuo, oferece a principal resistência ao carregamento (componente reforçador), e o outro, contínuo, oferece o meio de transferência desse carregamento (componente matricial ou matriz). É importante que os componentes sejam insolúveis, entre si, e tenham as propriedades desejadas (Chou et. al., 1986)

Já para Schwartz (1992), o compósito é um material composto de pelo menos, duas fases, uma carga (agente de reforço) e um aglutinante matricial (ou resina), que são selecionados para algum fim.

Já no conceito sugerido por (Callister, 2013) um compósito é um material multifásico feito artificialmente, em contraste com um material que ocorre ou se forma naturalmente.

Assim, tendo em vista esta diversidade de conceitos, aliada à dicotomia de critérios auferidos pode-se dizer que os compósitos constituem uma classe heterogênea, multifásica, sendo polímero ou não. Pelo que foi visto, os conceitos de um material compósito se complementam e não se contradizem. (Callister, 2013)

2.1.2. Classificação

Os compósitos, como materiais, oferecem maior versatilidade para atender às exigências do mercado, sobretudo para os casos apresentados por especificações pouco comuns, bem como responder aos desafios representados no ambiente como o calor, umidade, frio, etc. (Weeton, 1986).

Os elementos de um compósito podem ser orgânicos ou inorgânicos, de forma regular ou irregular, fibrosos ou não, com fragmentos ou como fibras curtas. Sendo que os parâmetros estruturais afetam o desempenho dos compósitos, tais como a concentração da fibra, adesão da fibra à matriz e os espaços vazios entre as fibras (Aquino, 2003).

As principais características desejáveis nos compósitos são o aumento da rigidez, tenacidade à fratura, resistência ao impacto entre outros desempenhos mecânicos e térmicos (Woishnis, 1993).

Muitos materiais compósitos são compostos apenas por duas fases, a matriz e a fase dispersa, sendo que as principais propriedades dos compósitos variam em função de sua fase dispersa. Segundo (Callister, 2013) os materiais compósitos se classificam em três divisões principais, os compósitos reforçados por fibras; os compósitos reforçados por partículas e os compósitos estruturais, conforme pode ser observado na Figura 1:

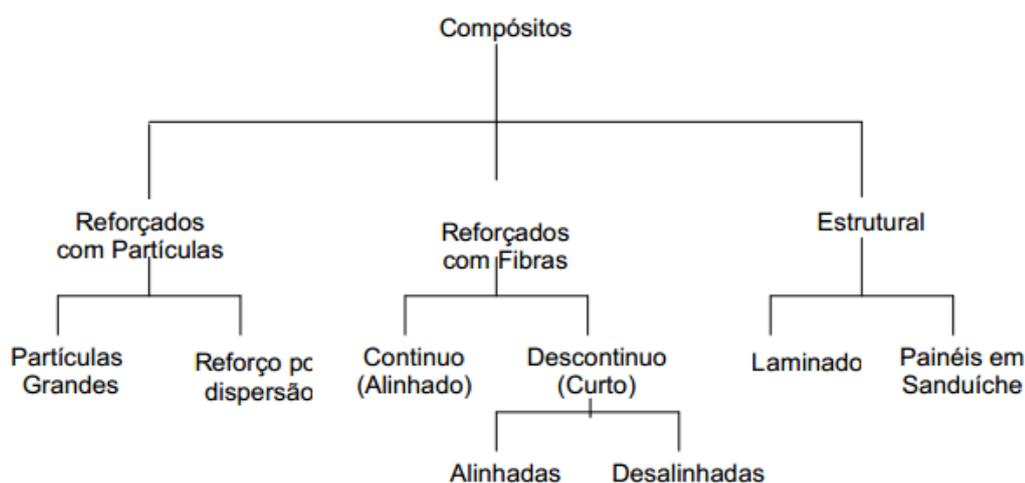


Figura 1: Um esquema de classificação para os vários tipos de compósitos. Fonte: (Callister, 2008)

2.1.3. Compósitos Poliméricos

Os materiais compósitos com matriz polimérica, além de aliarem uma boa resistência mecânica com boa ductilidade, oferecem a possibilidade de se obterem materiais com boas combinações de propriedades desejadas (Aquino, 2003).

No século XX, o desenvolvimento das pesquisas sobre compósitos para aplicações estruturais foi enfatizado, sobretudo pela necessidade de desempenho tecnológico. Assim a principal motivação desse amplo desenvolvimento foi a probabilidade de se produzirem compósitos com excelentes características mecânicas e baixas densidades que, potencialmente, poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira (Weeton, 1986).

A combinação de polímeros de elevado desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de elevado módulo elástico e resistência mecânica permitiu o

desenvolvimento de novos compósitos com propriedades específicas semelhantes ou superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos puderam proporcionar materiais com elevados módulos de elasticidade e resistência superiores e, principalmente, com o custo menor que o dos materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos (Chawla, 1993).

A tendência em se obterem ligas poliméricas, misturas e compósitos existe devido a alguns fatores: elevado custo no desenvolvimento de novos polímeros; aplicações específicas de compósitos e ligas; aperfeiçoamento de propriedades e redução de custos através da combinação de materiais caros com materiais mais baratos; entre outros (Rowell et. al., 1997).

Os reforços aplicados aos compósitos poliméricos propiciam melhorias em suas propriedades físicas e térmicas, modificam sua aparência superficial e características de processamento, além de reduzirem o custo do material (Lavengood et. al., 1988). A constituição de compósitos poliméricos reforçados por fibras são: a fibra, matriz e interface, sendo a interface responsável por assegurar a ligação entre a matriz e a fibra (Rowell et. al., 1997).

Como indicado, os reforços conferem aos compósitos as seguintes vantagens: boa resistência térmica e mecânica, boa condutividade térmica, boa resistência à abrasão, boa resistência superficial, baixo custo e baixa contração. Como desvantagens têm-se limites no processo de fabricação e inibição de cura em algumas resinas termorrígidas (Wilkeres et. al., 1995).

A partir da década de 60, os compósitos de desempenho superior foram introduzidos na indústria aeroespacial. Fibras de carbono, boro, quartzo apresentaram ao projetista propriedades de melhoria nos projetos estruturais, permitindo, assim, maior performance em vôo de aeronaves e veículos de reentrada na atmosfera (Rezende et. al., 2000).

A Figura 2 apresenta a aeronave Tucano produzida pela EMBRAER, mostrando os componentes fabricados em compósitos termorrígidos, utilizando como reforço fibras de carbono, kevlar e vidro (Rezende et. al., 2000).

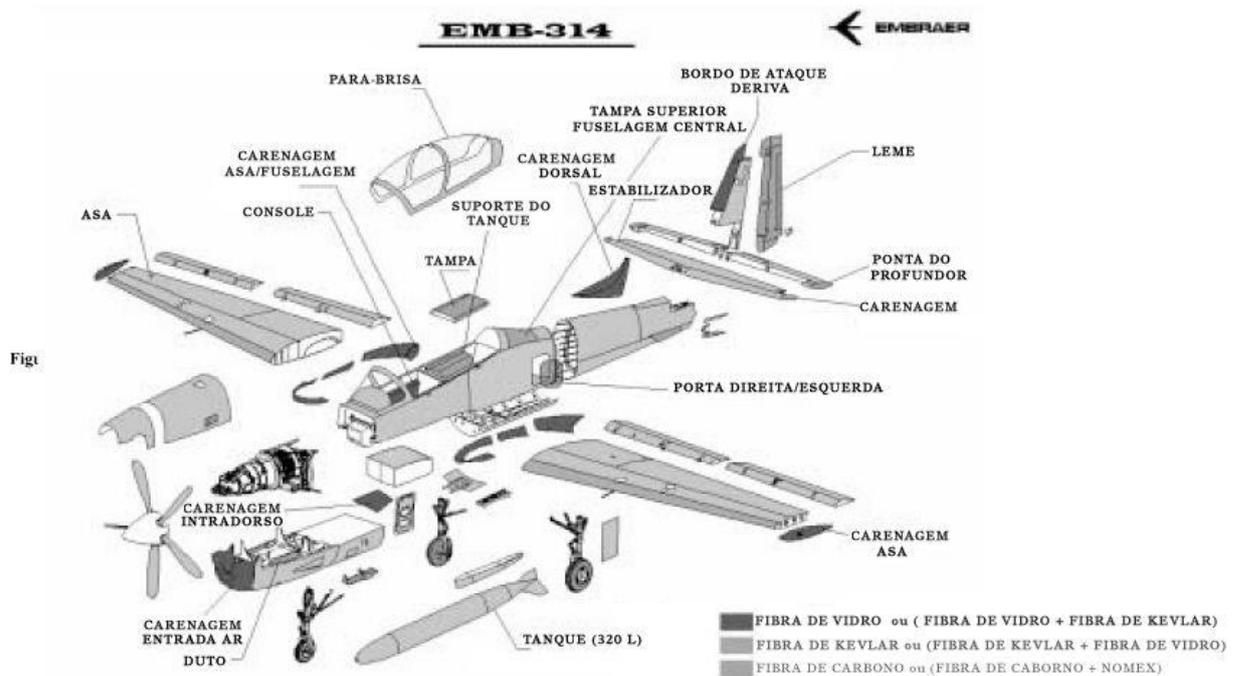


Figura 2: Compósitos utilizados na aeronave Tucano da Embraer. Fonte: (Rezende et. al., 2000)

Os compósitos poliméricos podem ser classificados segundo a matriz como termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre eles está no comportamento característico quando se eleva a temperatura. Os compósitos termoplásticos possuem matriz de polímeros capazes de serem moldadas várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo de temperatura. Já os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas e reticuladas entre as cadeias macromoleculares (Cantwell et. al., 1991).

A Tabela 1, apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Tabela 1: Principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos

<i>Comparação entre propriedade dos materiais</i>		<i>Termoplásticos e Termorrígidos</i>	
Termoplástico		Termorrígidos	
Reciclável Mecanicamente		Não reciclável mecanicamente	
Tempo ilimitado de armazenamento	de	Tempo limitado durante o processamento	o
Alta viscosidade quando fundido		Alta resistência à fluência	
Baixa resistência à Fluência		Alta resistência térmica e dimensional	e
Temperatura de uso limitada.			
Baixa Estabilidade Térmica			

Fonte: (Cantwell et. al., 1991)

Os polímeros termorrígidos também são bastante empregados como matrizes em materiais compósitos, por apresentarem algumas vantagens em relação aos termoplásticos, tais como elevada estabilidade térmica, rigidez, estabilidade dimensional e, também, resistência à deformação sob carregamento (Santos et. al., 2008). As resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, epóxi, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas, sendo usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro.

As resinas epóxi têm um custo mais elevado, e são muito utilizadas em aplicações aeroespaciais por possuírem melhores propriedades mecânicas e melhores resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Esses materiais podem, também, ser misturados, fisicamente, com fibras em métodos de processamento (Strong, 1989).

A maior desvantagem dos compósitos poliméricos em relação aos demais materiais é seu baixo desempenho em elevadas temperaturas, tipicamente entre 300 a 400 °C. A matriz orgânica decompõe-se, com a liberação de calor, produzindo fumaça e produtos tóxicos voláteis (Moutriz et. al., 2006).

2.3. 2.2. ETAPAS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA ROCHA

2.2.1. Preparação do solo e do “piso” para extração de brita.

A primeira etapa consiste basicamente na preparação do solo e consequentemente do “piso” para extração (etapa esta que gera tanto resíduos e rejeitos como também muita movimentação de materiais), onde num primeiro momento ocorre a retirada de terra, lama, pedras pequenas e medias e alguma vegetação restante, como mostra a figura 3.



Figura 3: Preparação do solo para extração. Foto: Pedreira Itereré

Após a retirada de todo tipo de material estéril, é realizado alguns “cortes¹” na pedreira - seja ela uma pedreira de rocha² ou matacões³. Todo este processo tem a finalidade de padronizar a superfície que se realizará os trabalhos de cortes ou extração, maximizando seu aproveitamento econômico através da extração de blocos com medidas já exigidas e comercializadas pelo mercado vigente.

Vale destacar que “a lavra de matacão é um método aparentemente econômico, mas a sua recuperação é extremamente baixa (menor do que 30%)”, gerando-se mais de 70% de rejeitos e resíduos de rochas ornamentais (Vidal, et al., 2005), que se não aproveitados geram externalidades negativas ao meio ambiente. Na pedreira Itereré, são utilizados explosivos a 18 metros de profundidade em média.

¹ Cortes realizados através de técnicas já conhecidas pelo setor, geralmente explosivos, massa expansiva e fio diamantado, dependendo sempre do tipo de rocha a ser extraída.

² Rocha quando se tratar de um corpo sólido inteiro ou de uma mesma matriz geológica.

³ Matacões quando se tratar de uma pedreira de mais fácil extração com corpos sólidos geralmente de dimensões menores desprendidos e desgarrados de sua origem geológica.

2.2.2. A extração dos blocos de brita (cortes diversos)

Nesta etapa, gera-se comprovadamente o maior índice de desperdício do setor, atingindo em alguns casos, índices de até 80% de geração de rejeitos em algumas qualidades de rochas. A média de desperdício do setor é superior a 50% de perdas ou produção de resíduos e rejeitos, dependendo sempre do tipo de rocha a ser extraída e principalmente das técnicas e maquinários utilizados para sua extração segundo (Peiter, 2001).

Existem várias formas de se realizar a extração de rochas ornamentais figura 2.4, desde as mais arcaicas e pioneiras como a utilização de explosivos e uso da força, até as mais contemporâneas ou modernas, utilizando-se de furos, massas expansivas e fios diamantados, mas vale lembrar que apesar da grande diferença de aproveitamento e conseqüentemente da geração de rejeitos das diversas técnicas utilizadas, todas elas, sem exceção, geram rejeitos e desperdícios, dependendo também em grande parte do tipo de rocha (mais porosa ou quebradiça por exemplo) e das técnicas a serem utilizadas para sua extração. (Souza, et al.,2004).



Figura 4: Na pedreira Itereré, a seta mostra uma perfuração para detonação desta quantidade de dinamites ilustrada.

Dentre as principais técnicas podemos destacar como uma das mais relevantes, o uso de “fogo”, ou explosivos, técnica amplamente utilizada devido ao seu baixo custo para se “deitar as pranchas ou paredões”, mas que acarreta o maior índice de geração de rejeito entre todas as técnicas utilizadas, pois esta técnica consiste na realização de um furo na rocha, contendo duas ranhuras (uma para cada

lado) que irão direcionar o corte realizado pelo poder de fogo do explosivo (dinamite, ou pólvora negra, por exemplo) depositado no canal dos furos. (Souza, et al., 2004)

O uso de Cunhas e força também são práticas comuns utilizadas neste setor; Neste caso realiza-se furos (quase sempre através de máquinas denominadas conibites) e inseridos objetos (cunha) e utilizando-se da força (geralmente geradas por máquinas, tratores ou escavadeiras) “trincam” a rocha para se deitar a prancha ou paredão.

O uso de conibites, ou martelotes pneumáticos, geralmente é necessário em quase todas as técnicas de extração atualmente utilizadas, no caso da extração feita através de massa expansiva, seu uso ainda é mais incisivo, pois neste caso, são feitos vários furos contínuos na pedra (determinando exatamente a linha a ser “picotada” na pedra) e inserida uma substância pastosa, denominada massa expansiva, que alguns minutos após o preenchimento dos furos, expande e determina a direção do “picote” (corte) da pedra em questão. (Spínola, 1994)

A técnica de extração mais custosa, porém a “mais limpa” – ecologicamente a menos degradante, pela maximização dos cortes realizados e pelo baixo índice de geração de resíduos e rejeitos, dentre todas vistas até agora, é a extração por fio diamantado como mostra a figura 5:



Figura 5: Extração de Rochas utilizando Fio-diamantado. Fonte: (Spínola, 1994)

Faz-se importante salientar neste momento a diferença básica entre resíduos e rejeitos, visto que nesta etapa gera-se apenas rejeitos, ou seja, materiais estéreis, pedaços disformes de rochas ou pedras, pó-de-pedra e poeira, entre outros, que se não tratados ou destinados a alguma finalidade, comprometem a fertilidade do solo

seja pela sua composição mineral ou pelo seu peso, compactando o solo em questão, além da enorme poluição visual característica desta etapa de extração.



Figura 6: Estoque de blocos já extraídos. Fonte: (Vidal et. al., 2001)

2.4. FORMAS DE REAPROVEITAMENTO DOS REJEITOS E RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO E SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS E PEDREIRAS

No início dos anos 60 a preocupação ambiental tornou-se notória depois de reveladas algumas fotos do planeta terra com seu alto índice de degradação e destruição do meio ambiente, em especial os efeitos sobre as florestas e os rios. Ainda nesta década começam a surgir os primeiros conceitos relativos à conscientização ambiental e defesa da fauna e flora; também, na década de 70 surgiram as primeiras reações das sociedades, órgãos e instituições governamentais, privados e sociais, através de encontros, fóruns, conferências (Conferência de Estocolmo em 1972) e atos governamentais administrativos (no Brasil a criação da SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente – uma das entidades pioneiras no combate, ou fiscalização das atividades degradantes ao meio ambiente).

Nas sociedades capitalistas, qualquer forma de conscientização ambiental precisa estar aliada à viabilidade econômica, visto que nenhuma empresa desejará adotar medidas que diminuam sua produtividade ou inviabilize o lucro de seus produtos. Por outro lado, a adequação dos agentes econômicos através de novas técnicas de exploração (menos danosas ao meio ambiente), uso de novas tecnologias e filtros, reduz consideravelmente o risco de perdas geradas por multas ou outras penalidades previstas na lei. Dessa forma, faz-se necessário reafirmar o enorme

potencial econômico do reaproveitamento de resíduos e rejeitos de rochas ornamentais e pedreiras. (Cavalcante et. al., 2003)

Os países que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a produção de rochas encontra-se em pleno desenvolvimento, entre eles o Brasil, enfrentam atualmente sérios problemas com relação aos resíduos e rejeitos gerados pelas indústrias de atividades extrativistas. É comprovado que estes “desperdícios” gerados contaminam diretamente os rios e o próprio solo, causando por várias vezes, mudanças climáticas consideráveis e desconfortos à população. (Frangella,2006)

Por esse motivo, faz-se necessário, neste momento, a divisão de duas vertentes do reaproveitamento do ciclo extrativista: num primeiro momento os rejeitos gerados pela fase de extração das rochas (rejeitos grossos) e num segundo instante o aproveitamento de grande parte dos resíduos gerados pela etapa de beneficiamento (resíduos finos), ou finos de brita neste caso específico. (Cavalcante et. al., 2003)

2.3.1. Formas de Reaproveitamento dos Rejeitos Extrativistas

Nas atividades de extração de blocos, mesmo quando a degradação é relativamente baixa, geram-se grandes quantidades de rejeitos. A redução do impacto ambiental causado por esses materiais é uma questão importante nas pedreiras e empresas de beneficiamento, embora os efeitos mais marcantes desta atividade sejam sobre tudo visuais e bastante localizados. Cavalcante et. al, (2003) propõem uma pesquisa onde o objetivo é ressaltar a importância do aproveitamento dos rejeitos de pedreiras para confecção dos diversos insumos de rochas de emprego imediato pela construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros, britas de pós, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído.

Segundo Frangella (2006), é gerada uma grande quantidade de rejeitos, cerca de 60%, somente para obtenção das chapas, lajinhas ou pisos, com pouco ou nenhum aproveitamento posterior deste material desperdiçado, onde destacam-se rejeitos de rochas de diferentes tamanhos, desde blocos disformes ou fora das “medidas-padrão” exigidas pelo mercado, principalmente quando se trata de mercado externo, passando por pedaços maiores e pedras, até chegar a granulometria de pó⁴. Os rejeitos de pedaços de rocha são depositados nas jazidas em áreas definidas como “bota-fora”,

⁴ A granulometria representa basicamente o tamanho dos grãos de partículas analisados, sendo a granulometria de pó uma das mais finas existentes.

que se situam em locais fora da área de extração e da zona de trabalho (estradas, rampas de acesso, praça de estocagem, área de manobra, área de guincho, área de manutenção), porém, razoavelmente próximas, devido ao custo de transporte que isso acarretaria para a movimentação deste material para um local mais distante. Os rejeitos, com as mais variadas dimensões, são então, depositados em montanhas sem nenhuma finalidade definida, ou enterrados. Alguns desses rejeitos são depositados clandestinamente indo parar nas lagoas e drenagens, obstruindo canais, córregos, e até mesmo rios.

Venda Direta

Atualmente, a China se apresenta como o maior cliente de rejeitos do mercado mundial, reaproveitando os rejeitos das rochas raras como insumo para produção de jóias semi-preciosas (anéis, brincos, colares, entre outros), de mosaicos, pequenos artefatos, como maçanetas, filetes, bolas para decoração, etc. (Nery et. al., 2001)

Neste momento, dada esta finalidade dos rejeitos, faz-se necessário uma pequena demonstração deste potencial econômico dos rejeitos, em especial os rejeitos de rochas raras. O estudo utilizar-se-á do caso específico do granito Azul Bahia, que é considerado um caso excepcional⁵, onde o preço médio do metro cúbico desta rocha gira em torno de US\$ 5.000,00 (cinco mil dólares) podendo chegar a ser negociado por US\$ 4.000,00 (quatro mil e dólares) a tonelada dependendo sempre de sua qualidade e medidas (Nery e Silva, 2001), e a venda dos rejeitos desta rocha pode-se chegar a apurar de 30% até 50% deste valor na venda, visto que 1m³ (um metro cúbico) representa em média 3300kg (três mil e trezentos quilos), que, se vendidos a US\$1 (um dólar) cada quilograma, representaria aproximadamente US\$ 3300,00 (três mil e trezentos dólares) por metro cúbico de rejeito, e se analisarmos que aproximadamente 70% (setenta por cento) da produção total é extraído sob a forma de rejeitos, fica mais tangível o alcance desta forma de reaproveitamento.

Após a preparação dos bloquetes, o talha-blocos realiza o beneficiamento dos bloquetes em ladrilhos com superfície máxima de 40x40cm, e espessuras de 10,0mm e 6,0mm, respectivamente, apresentando um rendimento médio da ordem de até 60 metros quadrados por metro cúbico serrado (cada metro cúbico de rocha ornamental

⁵ Granitos Excepcionais: Granito Azul Bahia, Quartzitos Azul Imperial e Azul Macaúbas. São encontrados no município de Potiraguá, direção sudoeste do estado da Bahia próximo à divisa com Minas Gerais. A produção das rochas excepcionais é pequena porque suas jazidas não são de fácil extração, e o recurso natural é escasso. O granito azul é quase uma preciosidade. Enquanto o preço médio do bloco de granito é vendido por aproximadamente US\$ 600,00m³ FOB Brasil, o preço do azul Bahia pode chegar a mais US\$ 8.000,00m³ FOB Brasil (NERY e SILVA, 2001).

de aproveitamento de rejeitos, pode alcançar um rendimento de até 60m² (sessenta metros quadrados) em bloquetes cúbicos, e de até 50m² (cinquenta metros quadrados) para bloquetes paralelepípedos) (Vidal et al. 2001).

Segundo (Vidal et. al., 2001), considerando o potencial da produção de rochas ornamentais e brita no Espírito Santo e no Brasil, bem como, as taxas de recuperação nas lavras, que raramente ultrapassam a 50% do material extraído, mesmo com o uso de novas tecnologias como o fio diamantado, por exemplo, detectou-se a existência de um grande volume de rejeitos que podem ser aproveitados como matéria-prima de rochas ornamentais, mais especificamente ladrilhos, propiciando assim, o aumento da produtividade nas pedreiras, com retornos econômicos e ambientais positivos, bem como pó de brita em aplicações na engenharia civil.

Com a finalidade de melhor visualização do assunto, vale destacar um exemplo bem sucedido, analisado por Vidal et. al., (2001) do uso de talha-blocos. No caso específico da Pedreira Asa Branca, situada no estado Ceará, cuja produção gira em torno de 12.000 m³ (doze mil metros cúbicos) anuais, com uma taxa de recuperação de extração de blocos de apenas 27% (vinte e sete por cento), observou-se que no rejeito (73% do volume extraído) havia expressivo volume de blocos defeituosos e fragmentos rochosos em dimensões que poderiam ser aproveitados efetuando-se a extração de bloquetes para posterior beneficiamento em talha-blocos no sistema de multidiscos diamantados.

Se para a extração de 12000m³ (doze mil metros cúbicos) de rochas aproveitadas, foram necessários a retirada de um total de 32.444 m³ (trinta e dois mil quatrocentos e quarenta e quatro metros cúbicos) de rochas (73% do volume extraído) sob a forma de rejeitos, e considerando-se um peso médio de 3t/m³ (três toneladas por metro cúbico), tem-se a geração de 97.332t (noventa e sete mil trezentos e trinta e duas toneladas) de rejeitos depositados no pátio da pedreira por ano, acarretando além da degradação ambiental causada (poluição dos rios, compactação dos solos, entre outros) altos custos para sua movimentação, de forma a não atrapalhar os contínuos trabalhos de extração. (Vidal et. al., 2001)

Além deste custo adicional que a geração de rejeitos gera para uma empresa extrativista, o fato de se aproveitar os rejeitos, representa uma diminuição dos custos de produção, visto que o custo de se extrair 42.444m³ (quarenta e dois mil quatrocentos e quarenta e quatro metros cúbicos) de rochas (entre blocos e rejeitos)

é um só, seja se o aproveitamento para a produção de blocos é 27% (vinte e sete por cento), menor que isso, ou maior. (Vidal et. al., 2001)

No caso do uso de talha-blocos, pode-se atingir uma recuperação de 70% (setenta por cento) a 80% (oitenta por cento) do rejeito (trabalhando também os blocos convencionais defeituosos). Porém, se apenas 1/3 (um terço) do rejeito total produzido fosse recuperado através da produção de ladrilhos com talha-blocos, pode-se atingir uma taxa de recuperação na ordem de 24,5% (vinte e quatro vírgula cinco por cento) da produção de rochas total de uma pedreira (em média), e se somadas as taxas médias de aproveitamento convencional em uma pedreira, que normalmente atingem índices em torno de 25% (vinte e cinco por cento) a 30% (trinta por cento) da produção, teríamos os índices de aproveitamento total de uma pedreira ultrapassando o nível de 50% (cinquenta por cento) de retorno (Vidal et. al., 2001).

Britas, Anticatos, Seixos Ornamentais Rolados e jardinagem

Se por um lado a produção de ladrilhos com os rejeitos de rochas através do uso talha-blocos, representa uma das alternativas mais atrativas economicamente, a produção de britas, anticatos, seixos e produtos para jardinagem representam uma das alternativas mais atrativas do ponto de vista ambiental. Esse tipo de utilização permitiria a redução em até 40% (quarenta por cento) da produção de rejeitos grossos que representa cerca de 70% (setenta por cento) a 80% (oitenta por cento) da quantidade de rejeitos gerados (Frangella, 2007).

Na continuação da análise, foi utilizado trabalhos já realizados (Frangella, 2007) para se comprovar também a possibilidade de se produzirem seixos ornamentais e brita, a partir do rejeito das marmorarias e serrarias de granitos. Os resultados foram bons em termos de qualidade, capazes de atender às exigências do mercado. Devido a isso, dependendo da qualidade e do preço do material, a melhor solução foi a de somente britar o material, nos casos de rochas mais abundantes e com preços menores, aproveitando-o sem submetê-lo a nenhum outro tipo de processo, e o de beneficiar os rejeitos de rochas mais caras e menos abundantes sob a forma de seixos ornamentais, ou pedras roladas.

“Através da produção de anticatos e seixos ornamentais, será possível reduzir as perdas somente na etapa de beneficiamento de uma média de 60% (sessenta por cento) para menos de 20% (vinte por cento)”, fora os ganhos de produtividade obtidos na fase de exploração das rochas, onde este percentual pode ainda aumentar. (Frangella, 2007)

Outros aproveitamentos

Além das aplicações já demonstradas, pode-se citar uma enorme quantidade de outras aplicações para os rejeitos grossos, destacando-se como mais promissoras economicamente e ecologicamente, a produção de:

- Bolas (esferas) para decoração;
- Muros de arrimo;
- Barragens e contenção;
- Pisos para áreas externas;
- Maçanetas de porta;
- Filetes para banheiros e detalhes;
- Jóias semi-preciosas (anéis, colares, pulseiras, tornozeleiras e brincos);
- Pirâmides, e artigos decorativos;

Entre tantas outras aplicações para os rejeitos grosso existentes, a seguir o estudo pretende demonstrar, de forma resumida, as principais formas de reaproveitamento dos resíduos (lama abrasiva) gerados na etapa de beneficiamento (chapeamento) dos blocos de rochas ornamentais, com suas principais características. (Frangella, 2007)

2.3.2. Formas de Reaproveitamento dos Resíduos da Serragem de Rochas Ornamentais

Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo e também no Brasil e no estado do Espírito Santo. As razões que motivam estes estudos são em sua maioria: O esgotamento das matérias-primas (principalmente os recursos naturais não-renováveis) através da má exploração exercida pela atividade extrativista; A redução do consumo de energia ou a geração de formas de “energia limpa”; menores emissões de poluentes na natureza - seja através do ar, terra ou água; A redução dos custos, melhorias na saúde, segurança da população – violência, a garantia de consumo atual e das gerações futuras, entre outros. (Godoi, 2009)

No caso específico do setor de extração de rochas, o sistema de desdobramento de blocos para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de resíduos na forma de lama, de 20% (vinte por cento) a até 30% (trinta por cento) dos blocos tornam-se resíduo, em média segundo (Godoi, 2009), 27%

(vinte e sete por cento) do bloco se torna lama abrasiva, geralmente formada de água, granalha, cal e de pó de rocha, que após o processo de beneficiamento é lançada nos poços de depósito, ou diretamente nos rios, como demonstra a figura 4.12, acarretando em grandes prejuízos ao meio ambiente e a população, como a compactação dos solos ou contaminação de nascentes e rios.

Além disso, vale destacar que à medida que se processa a perda de umidade deste resíduo, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo que em alguns casos, este resíduo é canalizado diretamente para os rios, proporcionando um dos maiores prejuízos ao meio ambiente com a contaminação de suas águas. Tal procedimento tem trazido sérios problemas às indústrias de rochas ornamentais através do aumento da fiscalização e aplicação de algumas penalidades, além dos prejuízos ao meio ambiente e à sociedade, já mencionados anteriormente. (Godoi, 2009)

Para Chiodi (2001), uma das questões de maior interesse para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais diz respeito à capacitação de centros de pesquisa para estudos de aproveitamento industrial de resíduos, caracterização tecnológica e diversificação de produtos comerciais, certificação de origem e aprimoramento de insumos.

O potencial para utilização dos resíduos de rochas ornamentais como insumo para produção de outros produtos é imenso e deve ser estudado e explorado, pode-se citar o uso de resíduos de rochas em cerâmicas sintéticas, como preenchimento de massas asfálticas, na produção de argamassa, tijolos, rochas artificiais e vidros, como corretivos agrícolas, marcadores de campos de futebol, entre tantas outras finalidades. A incorporação de resíduos nos processos de produção dos mais variados produtos implica sempre na obtenção de três vantagens: a reciclagem e inertização dos resíduos, freqüentemente poluentes e de difícil eliminação, a economia de matérias-primas e conseqüente aumento da vida útil das jazidas e a redução dos custos. (Chiodi, 2001)

Algumas características específicas dos resíduos graníticos favorecem sua utilização industrial, tais como sua fina granulometria, sua composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos. Este resíduo, portanto, apresenta potencialidade para ser aplicado como matéria-prima ou insumos, para a obtenção de novos produtos. (Chiodi, 2001)

O objetivo da atual parte é caracterizar tecnologicamente alguns rejeitos e resíduos em pó de granitos e mármore comercialmente explorados, visando sua utilização como matéria-prima ou insumos, seja na produção de revestimento cerâmico (para paredes e pisos) e também como material refratário, quando misturado com outros resíduos, ou seja através do seu uso como corretivo agrícola e em campos de futebol, será demonstrado a seguir, que o produto desse processo (resíduos) pode ser utilizado para fins comerciais em diversas atividades industriais. (Chiodi, 2001)

A utilização do resíduo gerado através da serragem do granito e mármore, nos concretos asfálticos, como filer, em substituição aos produtos convencionais do tipo cimento Portland, cal, como formas de aproveitamento deste tipo de resíduo industrial e redução do custo final dos concretos asfálticos, entre outras aplicações possíveis deste resíduo. (Chiodi, 2001)

Misturas asfálticas

Aliado aos problemas ambientais causados pelo depósito do resíduo no meio ambiente, algumas peculiaridades específicas deste resíduo vislumbram potencialidades quanto a sua utilização como material de enchimento em concretos asfálticos. Citam-se como exemplo de sua adaptabilidade para massas asfálticas: sua fina granulometria, sua homogeneidade através de sua composição predefinida (granito moído, cal ou substituto e granalha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos, portanto a possibilidade de se separar individualmente os compostos deste resíduo, indicando ainda mais o grande potencial deste resíduo como insumo para a produção dos mais diversos produtos. (Souza et. al., 2004)

Nos concretos asfálticos, como filer, em substituição aos produtos convencionais do tipo cimento Portland, cal, entre outros, como formas de aproveitamento deste tipo de resíduo industrial e de redução do custo final dos concretos asfálticos (Souza et al., 2004)

O filer é um material finamente dividido, constituído de partículas minerais proveniente de agregados graúdos e/ou miúdos empregados nas misturas asfálticas, tendo como finalidade principal em misturas asfálticas melhorar seu desempenho reológico⁶, mecânico, térmico e de sensibilidade a água (Santana, 2005)

⁶ Reologia. Ramo da física que estuda a viscosidade, a plasticidade, a elasticidade e o escoamento da matéria em geral.

O filer além de preencher os vazios apresenta também a propriedade de aumentar a viscosidade do asfalto. Esta atividade faz com que ele tenha maior viscosidade que o asfalto correspondente. Simultaneamente tem-se o aumento do ponto de amolecimento, diminuição da suscetibilidade térmica, aumento na resistência aos esforços de cisalhamento (estabilidade), no módulo de rigidez e na resistência a tração na flexão (Santana, 2005).

Destaca-se sua grande importância na composição das misturas asfálticas, principalmente as densas, onde os vazios deixados, estão em partes preenchidas pelo conjunto coesivo formado pelo asfalto, no qual encontra-se disperso o filer. Neste tipo de mistura o filer enche os vazios deixados pelos agregados graúdos e miúdos, o que contribui para fechar as misturas, dando maior equilíbrio à estrutura e conseqüentemente, aumentando a estabilidade, sem que haja a necessidade de grandes aumentos no teor de asfalto. (Souza, et al., 2004). Em outras palavras, pode-se afirmar que, a massa específica da mistura asfáltica, que tem como filer a utilização dos resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais, apresentou valores próximos aos observados ou obtidos com a mistura asfáltica composta com o filer Cal (normalmente utilizado), tanto que mesmo os órgãos governamentais encarregados do controle de qualidade de tais materiais (no caso, o DNER), concedeu classificação igual ou superior ao asfalto produzido sob essa tecnologia.

Produção de Argamassa

A substituição do aglomerante por resíduo na produção de argamassas pode ser efetuada com sucesso em teores de até 50%, e os resíduos utilizados, propiciam aumentos significativos na resistência à compressão simples das argamassas (Menezes, et al., 2009).

Além de resolver um problema ambiental e uma preocupação da sociedade, o pó fino (resíduo) e a lama abrasiva, deverão ser responsáveis pela geração de renda e emprego. A ação governamental, deverá neste caso, servir de exemplo para a iniciativa privada, está prevista, dentro dos objetivos anunciados pelo MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia), a construção de uma fábrica para a produção de argamassas a partir de pó de rocha e dos resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais (lama abrasiva). (Menezes, et al., 2009)

Cerâmicas

A indústria de rochas gera grandes quantidades de resíduo fino resultante do processo de extração e corte. É de conhecimento da sociedade que este resíduo

quando descartado provoca impacto ambiental negativo no meio ambiente, que resultará numa diminuição da qualidade de vida da humanidade. No presente estudo demonstrar-se-á um estudo realizado por (Moreira et. al., 2005), objetivando reaproveitar tal resíduo como matéria-prima para cerâmica vermelha.

Vale ressaltar que outros estudos já apontam para índices maiores de utilização dos percentuais resíduos de rochas ornamentais na indústria de cerâmicas, principalmente nas vermelhas, geralmente nas misturas, variando-se de 10% (dez por cento) a 60% (sessenta por cento) de resíduo e o resto de massas argilosas próprias para fabricação de produtos cerâmicos, sendo que a sua aplicação não apresenta problemas de aceitação devido a sua coloração, causados por determinados óxidos presentes na composição química, e o que é mais importante, todos os produtos continuam sendo feitos com matérias primas naturais e inorgânicas (Mello et. al., 2004);

O resíduo de rocha ornamental é um material homogêneo, com características pré-definidas, cujas substâncias principais presentes além da granalha e água, são a sílica e feldspatos. Além disso, o resíduo é rico em agentes fundentes, que aumentam a viscosidade (proporcionam liga para as misturas). Os corpos cerâmicos contendo até 60% em peso de resíduo de rocha ornamental apresentaram propriedades promissoras para serem utilizados na fabricação de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, dependendo sempre da temperatura de queima, porém reafirmando seu potencial como insumo na produção de vários produtos, proporcionando ganhos econômicos bastante satisfatórios (Souza, et al., 2004).

Produção de Tijolos Ecológicos

Segundo estudos realizados por Saar (2006), na confecção de tijolos com o uso da lama abrasiva em sua mistura, obteve-se os seguintes resultados:

Os tijolos confeccionados com o uso da lama abrasiva + cimento + água + areia tiveram melhores resultados quanto a sua absorção do que a mistura de lama abrasiva + cimento + água; Na confecção de tijolos cerâmicos, onde são acrescentados a mistura cerca de 40% (quarenta por cento) de argila e 60% (sessenta por cento) de resíduos, que seriam medidas viáveis para a utilização em escala industrial, o autor ainda afirma que se pode atingir baixos custos de produção, devido ao grande percentual de resíduos utilizados na confecção deste produto. (Saar, 2006)

Vale ainda destacar a produção de blocos estruturais vazados, e com curto prazo de cura, em média 28 dias, sendo utilizada uma mistura de cimento, areia, água

e de 20% (vinte por cento) a 35% (trinta e cinco por cento) de resíduos da serragem, ressaltando que este bloco não tem a finalidade estrutural e sim como bloco de preenchimento, porém reafirmando sua viabilidade econômica e diminuindo os prejuízos causados ao meio ambiente. (Sobrinho,1999)

Produção de Vidro

Resíduos de rochas ornamentais, como mármore e granito, oriundos da serragem que transforma blocos em chapas podem, adicionalmente, ter um novo destino. Além das aplicações já mencionadas neste estudo, vislumbra-se neste momento a fabricação de vidro. Novas pesquisas desenvolvidas no país (Babisk, 2009) mostram que o problema ambiental causado pelo pó fino das serrarias poderá ser minimizado, ao mesmo tempo em que se gera uma nova fonte de matéria prima para a indústria do vidro.

Objetivando apresentar usos alternativos para os resíduos gerados pela indústria de rochas ornamentais do Espírito Santo, que é hoje responsável pela metade da produção brasileira deste tipo de material, a pesquisa concluiu que a transformação de resíduos de granito e mármore em vidro é viabilizada pela presença de substâncias que utilizadas em larga escala como matérias-primas na produção de vidros. Junto aos resíduos das rochas, coletados em Cachoeiro de Itapemirim (ES), são misturados areia e carbonato de cálcio e sódio em quantidades controladas para que a composição se aproxime ao máximo das características do vidro comercial (normalmente produzido). (Babisk, 2009)

A seguir o estudo extrapola um pouco a esfera do setor de construção civil, que sem dúvida, é o setor com mais potencial para a utilização dos resíduos de rochas ornamentais, visto sua capacidade de assimilação de grandes volumes de resíduos ou rejeitos, e apresenta como finalidade para este resíduo de rochas, sua utilização na agricultura, através da correção dos índices de acidez do solo. (Moura, 2002)

Corretivos da Acidez do Solo

De acordo com resultados obtidos através de pesquisas, os resíduos de rocha apresentam potencialidade para ser utilizados como fontes de Ca (cálcio) e Mg (magnésio) para as plantas e solo. A utilização de resíduos de rochas ornamentais promoveu aumento na produção de matéria seca (MS) e dos teores de Ca (cálcio) e Mg (magnésio) no solo e na planta, consequências almejadas para a melhoria do solo. Além do fato dos resíduos de rochas ornamentais não apresentaram diferença frente ao calcário. (Machado, 2008)

Estes resultados reforçam a possibilidade da utilização dos resíduos de rochas ornamentais como corretivos alternativos para a correção da acidez do solo, e ainda possibilitando a valorização econômica da indústria de rochas ornamentais transformando resíduos em subprodutos conforme citado por Machado (2008). Em relação à concentração de nutrientes na planta e no solo, observou-se que, ao final dos 150 (cento e cinquenta) dias de duração do experimento, para os solos estudados, diferenças significativas na concentração de magnésio no solo e na planta, com valores superiores quando realizada a utilização dos resíduos de rocha frente ao calcário.

Outras aplicações dos resíduos de rochas ornamentais

Além dos aproveitamentos econômicos, outras aplicações já vêm sendo desenvolvidas junto ao setor de rochas ornamentais para utilização dos resíduos. Nos estudos já feitos envolvendo o tema, o principal setor que se beneficiou com esse reaproveitamento dos resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais foi o da construção civil, uma vez que sua atividade tecnológica é a que consome grandes volumes de recursos naturais e parece ser o mais indicado para absorver grandes quantidades de resíduos. Porém outros setores também conseguem absorver parte deste resíduo gerado, na criação dos mais diversos produtos. Dentre as variadas formas de aplicação dos resíduos de rochas ornamentais, podemos destacar como mais importantes e viáveis: (Moura, 2002)

- Fabricação de telhas. Um exemplo bem sucedido do emprego deste material para esta finalidade é um caso ocorrido na Índia, onde as telhas são produzidas com até 90% de lama e apenas 10% de resinas;
- Pavimentação, que podem até atingir 25-35% da espessura do pavimento;
- Uso das misturas abrasivas na indústria do cimento, que até então seria o principal consumidor desses resíduos, devido suas características serem parecidas; Fabricação de cimento portland, onde os finos da serragem são misturados a chamada "farinha" que dá origem após muitos processos ao cimento (Gobbo, 2004);
- Pré-fabricados para a construção, que tem um consumo em média de uma tonelada de resíduo por metro cúbico de elementos pré-fabricados;
- Tratamentos de águas ácidas, por incorporação de lamas que elevam o pH do meio;

- Redução de emissões de SO₂ (dióxido de enxofre) em centrais térmicas;
- Processo de recuperação de chumbo de baterias usadas;
- Selagem de lixeiras; no recobrimento de células de resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários, promovendo a impermeabilização e estabilização do aterro, minimizando a entrada de água no corpo da lixeira, a produção de fumos de combustão e o aparecimento de insetos e outros animais;
- Marcador dos limites de campos esportivos;
- Indústria do papel;
- em pinturas plásticas que podem ser somados a mistura em grandes quantidades e influenciar na viscosidade da pintura;
- Plásticos que serão utilizados como carga na produção de PVC e poliéster, melhorando a rigidez e a densidade do plástico.
- Aterros, onde é misturado com um solo areno-siltoso, uma vez que não poderia ser utilizado sozinho devido à sua granulometria muito fina (Moura, 2002);
- Mármore compactos, que consiste numa mistura de fragmentos rochosos de diferentes dimensões com carbonato de cálcio moído, resina e corantes (Moura, 2002);
- A produção de rochas artificiais a partir dos resíduos grossos da serragem desenvolvida por, José Carlos da Rocha, pesquisador do INT (Instituto Nacional de Tecnologia) juntamente com o CETEM (Centro de Tecnologias Minerais).

Na maioria desses casos, foi encontrado viabilidade na mistura da lama, tanto economicamente, quanto aos resultados tecnológicos satisfatórios, reafirmando a potencialidade econômica da utilização destes resíduos na produção industrial e como insumos de outros produtos. Para finalizar, este trabalho apresenta-se a seguir uma breve conclusão de todo conteúdo apresentado e analisado.

2.5. RECICLAGEM

A reciclagem é o conjunto de técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e rejeitos e reintegra-los no ciclo de produção independente do tipo, a reciclagem de

resíduos apresenta vantagens em relação à utilização de recursos naturais (materiais virgens), nos quais se tem ganhado na redução do consumo de energia, diminuição do volume de extração de matérias-primas, menores emissões de poluentes e ganho na saúde e segurança da população. A preservação dos recursos naturais é a maior vantagem da reciclagem, prolongando a vida útil e minimizando a destruição da flora e fauna (Menezes et. al.,2002).

Segundo Machado (2008) no contexto da reciclagem, é importante a correta definição de termos como: resíduo, rejeito e subproduto. O termo resíduo é utilizado para designar o que resta de um processo produtivo e quando não existe aplicação para o mesmo, tem-se o que se chama rejeito. Mas, desde que se conheça uma aplicação para os resíduos, os mesmos passam a ser classificados como subprodutos. Do ponto de vista ecológico, a reciclagem é uma forma de minimizar os inconvenientes que a deposição ou estocagem de resíduos causa à comunidade e as empresas geradoras.

2.5.1. Necessidade de uma Metodologia para a Reciclagem

De forma geral, os estudos sobre reciclagem de resíduos se limitam a aspectos do desenvolvimento técnico do material e, felizmente com maior frequência, a analisar os impactos ambientais do processo. Porém, a ênfase da viabilidade do mercado é com o compromisso da eficácia da reciclagem, pois os benefícios sociais de um processo somente vão se realizar na sua totalidade se o novo produto produzido gerar empregos reduzir o volume de aterros, consumir resíduos em vez de recursos naturais e evitar a contaminação do ambiente ou o comprometimento da saúde da população. A viabilidade em um determinado mercado depende da viabilidade econômica do processo, da estratégia de marketing adotada, da adequação do produto às restrições legais locais e de sua aceitação pela sociedade. (John et. al. 2003)

Assim, o desenvolvimento de investigação no domínio de ciências dos materiais e ambientais é fundamental, mas não suficiente. Consequentemente, um processo metodológico de desenvolvimento de técnicas para reciclagem de resíduo com resultados viáveis em determinado mercado é uma tarefa complexa, a qual envolve conhecimentos de ciências de materiais, ambientais, de saúde, econômicas, marketing, legais e sociais, além da avaliação de desempenho do produto em um cenário de trabalho multidisciplinar (John et. al. 2003).

2.5.2. A Reciclagem como Desenvolvimento Sustentável

Segundo Grijó et. al. (2003) a busca ao desenvolvimento sustentável tem como propósito emergente incentivar a mudança do comportamento da sociedade em relação ao lixo: não desperdiçar, separar, reduzir a geração e participar do processo coletivo contemporâneo de sanear resíduos, reutilizando, reciclando, recriando, recuperando, reaproveitando e multiplicando entre as pessoas, a ideia de que os rejeitos ao serem beneficiados após o consumo poderão se transformar em matéria-prima e resgatar seu valor econômico agregado novamente em uma cadeia produtiva e econômica. No Brasil, do total do lixo coletado, apenas 14% tem destinação adequada. O restante é depositado a céu aberto ou em cursos d'água (mais de 180.000 t/dia). Apenas 28% dos dejetos industriais no país são tratados. Uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) revelaram que dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais gerados no Brasil, apenas 28% têm destino conhecido, ou seja, são tratados, destinados e dispostos adequadamente, sem causar danos ao meio ambiente. Os outros 72%, tem solução inadequada, o que acaba provocando sérias contaminações no solo e nas águas subterrâneas. Comprovadamente o lixo mal deposto provoca degradação irreversível dos recursos hídricos, transgressão paisagística polui o ar e o solo, assoreia rios e gera inundações. A gestão dos resíduos sólidos deveria ser pauta principal na política de segurança das nações, levando-se em consideração que mais de 5 bilhões de reais de materiais recicláveis são desperdiçados e enterrados por ano, somente em nosso país e que 80% dos leitos hospitalares no país derivam da falta de saneamento básico e uma deposição ineficiente dos descartes urbanos, rurais e industriais.

A sinalização de tendências das linhas do desenvolvimento tecnológico e produtivo para os dias atuais é a tomada de consciência de que o padrão de produção e consumo dos recursos naturais não renováveis, engendrado pelo modelo de industrialização do século passado, não é mais sustentável. Quais produtos provocaram ou acentuaram o nível de degradação dos dias de hoje pouco importa, o que conta é que atualmente já se tem noção de que os materiais produzidos a partir de recursos minerais não renováveis são à base desse modelo. O aumento da população, aliado ao modelo já insustentável de crescimento econômico intensivo em energia e em materiais, exerceu forte pressão sobre os bens minerais e conseqüentemente, sobre o equilíbrio ambiental do Planeta. (Medina, 2006)

Partindo dos princípios de Medina (2006) a proposta do estudo deste trabalho, que trata do desenvolvimento de pedras sintéticas, entre outras também contempla a expectativa tecnológica no âmbito da reciclagem, que pode orientar a um modelo sustentável para o desenvolvimento de novos materiais compósitos para o setor de mineração da área de rochas ornamentais.

Durante a última década, a integração prática do conceito de desenvolvimento sustentável tornou-se um dos maiores desafios para a nossa sociedade. O atual modelo de crescimento econômico está intimamente vinculado aos aspectos das ações ambientais industriais e fortemente condicionado ao esgotamento dos recursos naturais. Portanto, torna-se imperativa a adoção de estratégias de desenvolvimento industrial que contemplem alternativas tecnológicas tanto para reduzir os impactos dos resíduos ao meio ambiente, quanto para preservar os recursos naturais, sem comprometer o crescimento da atividade econômica. Atualmente, a reciclagem de materiais constitui um dos mais importantes temas para estudo, uma vez que envolve aspectos técnicos, econômicos e ambientais. (Machado, 2008)

Segundo Medina (2006) o movimento de tomada de consciência ambiental, surgido no final do século XX, mostrou um novo paradigma de produção e consumo sustentável de materiais que deve se tornar um imperativo para o século XXI. Nesse novo paradigma a reciclagem se apresenta como uma solução importante para prolongar a vida dos recursos não renováveis. Critérios de reciclabilidade passam a fazer parte da escolha de materiais para produtos e processos no desenvolvimento de novos projetos industriais. Na linha da gestão da qualidade, a gestão ambiental passa a ser normatizada e se torna fator de competitividade. Assim, a reciclagem passa a fazer parte da gestão ambiental da produção, como destino final mais correto a ser dado aos resíduos industriais, assim como aos componentes e produtos após vida útil.

A reciclagem de produtos após vida útil, pós-consumo, é, uma atividade complexa, em termos técnicos e econômicos sociais além de nem sempre ser uma solução sem riscos ambientais, apesar de ser altamente difundida dentre as propostas de desenvolvimento sustentável. A reciclagem e o desenvolvimento sustentável têm em comum o fato de ambos exigirem não apenas mudanças tecnológicas, mas, sobretudo, mudanças de atitudes, tanto políticas como culturais. A associação desses

dois elos pressupõe mudanças radicais que vão constituir os patamares da construção de um novo paradigma sócio-técnico e econômico onde um mercado de produtos duráveis e recicláveis ocupará o lugar do atual mercado de consumo em massa de produtos descartáveis (Medina, 2006).

Medina (2006) comenta que a maior vantagem da reciclagem é permitir fechar o ciclo de vida dos materiais fazendo-os retornar a novos produtos, como matéria-prima secundária, com grande economia de energia e de recursos naturais primários. O desafio maior é acompanhar a evolução dos materiais para melhor gerenciar seus ciclos de vida. Por outro lado, é necessário haver um desenvolvimento articulado das técnicas e processos de tratamento de resíduos, separação e reciclagem de produtos em fim de vida. Uma gestão sustentável dos materiais envolveria, assim, uma intervenção no ciclo de vida dos materiais, tal como ele se apresenta hoje, para buscar em cada etapa eliminar perdas, rejeitos, emissões etc, no sentido de uma produção sem retornos ao meio ambiente. O ideal seria produzir em um sistema fechado com reciclagem ao longo de todo o ciclo. O fluxo fechado de materiais funcionaria na qual a extração de matérias primas primárias só ocorreria em função de um aumento do nível geral de produção, pelo crescimento do mercado mundial.

Partindo do ponto de vista de uma reciclagem racional, Forlin et. al. (2002) destaca que seria uma abordagem integrada entre os processos de transformação das matérias-primas, fabricação e ou beneficiamento do produto final, e sua funcionalidade na conservação de produto.

Relacionados aos comentários anteriores, analisando a cadeia de desenvolvimento de compósitos com resinas termo fixas (poliéster, acrílica) com carga mineral (granito, mármore), que envolve a proposta deste trabalho, a rotatividade do produto obtido por reciclagem permite a integração da reciclagem dos resíduos (subprodutos) oriundos da primeira reciclagem. Isto se deve ao fato que as resinas termo fixas têm a propriedade de aglomerar as cargas minerais e conseqüentemente é viável unir minerais já envolvidos por resinas, devido a afinidade química com a nova matriz polimérica, quando o produto sintético terminar sua vida útil.

2.5.3. Reaproveitamento de Rochas Naturais

O Brasil importa o mármore ou granito a preços com elevado valor agregado e somada a abundância de matérias-primas resultantes da lavra das rochas naturais, começou em baixa escala produtiva, também o desenvolvimento da reciclagem deste subproduto em produtos sintéticos. Do ponto de vista econômico, a tecnologia da reciclagem de rochas naturais não é tarefa das mais difíceis principalmente pelo fato do material ser abundante desperdiçado (considerado lixo) e possuir as mais variadas aplicações (Machado, 2008).

Analisando este contexto do lixo de pedras naturais, percebe-se que a indústria do setor mineral demonstra preocupações voltadas com as legislações do meio ambiente, bem como para o desenvolvimento de novos materiais vinculados a reciclagem.

As reciclagens de rejeitos de rochas ornamentais estão muito focadas na incorporação de produtos cerâmicos (Moreira et. al., 2005). O desenvolvimento de rochas artificiais, compósitos com matriz polimérica, não é tão incidente, levando-se em conta que estes resíduos na forma de pó ou grânulos podem ser aplicados na confecção de rochas artificiais.

Vários fabricantes de rochas artificiais (compósitos) citam vantagens deste produto. Entre as características técnicas comparativas podemos referenciar segundo Breton (2000) que em média as rochas artificiais apresentam, por exemplo: resistência à flexão de 632,22kgf/cm², resistência à compressão de 2198,49kgf/cm² e porcentagem de absorção de água de 0,02%. Em contrapartida Caesarstone (2007) mostra que o granito natural (rosa fiorito) apresenta resistência à flexão de 134 kgf/cm², resistência à compressão de 1921 kgf/cm² e porcentagem de absorção de água de 0,33%.

A utilização dos rejeitos de materiais de pedras para o desenvolvimento de rochas artificiais mostra vantagens comparada as pedras naturais nas características técnicas mencionadas acima, bem como diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também a geração de novos empregos. (Caesarstone, 2014)

2.6. A PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL

A indústria mineral do mármore e granito se dedica a exploração e beneficiamento de rochas ornamentais desde a extração dos blocos em brutos, até o

desdobramento dos mesmos em chapas semiacabadas como; ladrilhos para revestimento, colunas, esculturas, etc. O granito sintético ou artificial, como é chamado, segundo as empresas que mais se sobressaem no desenvolvimento da rocha artificial e construção de equipamentos para a manufatura deste produto, citados pela (BRETON COMPANY, 2006), (COMPAC MARMOL E QUARTZ, 2006) e (CAESARSTONE, 2014), é um material maciço, impermeável, não mancha, uma vez que impede a penetração de líquidos, mantendo-os apenas sobre a sua superfície já que a resina serve não só para fazer a aderência entre as partículas da rocha, mas penetra entre os seus interstícios (vazios ou poros) eliminando a porosidade natural da pedra.

Entre as tecnologias patenteadas para o desenvolvimento de rocha artificial destaca-se no mercado o processo que usa o método de vibra compressão com vácuo, processo esse utilizado pela (COMPAC MARMOL E QUARTZ ,2006), que enfoca o uso das tecnologias vibra compressão com vácuo com uma visão mais detalhada do seu processo produtivo, mostrado na Figura 7. O processo é dividido em fases, sendo que na fase 1, ocorre o recebimento da matéria-prima como: granito (quartzo, feldspato). Nesta fase faz-se a moagem dos materiais e selecionam-se as partículas nos tamanhos desejados.

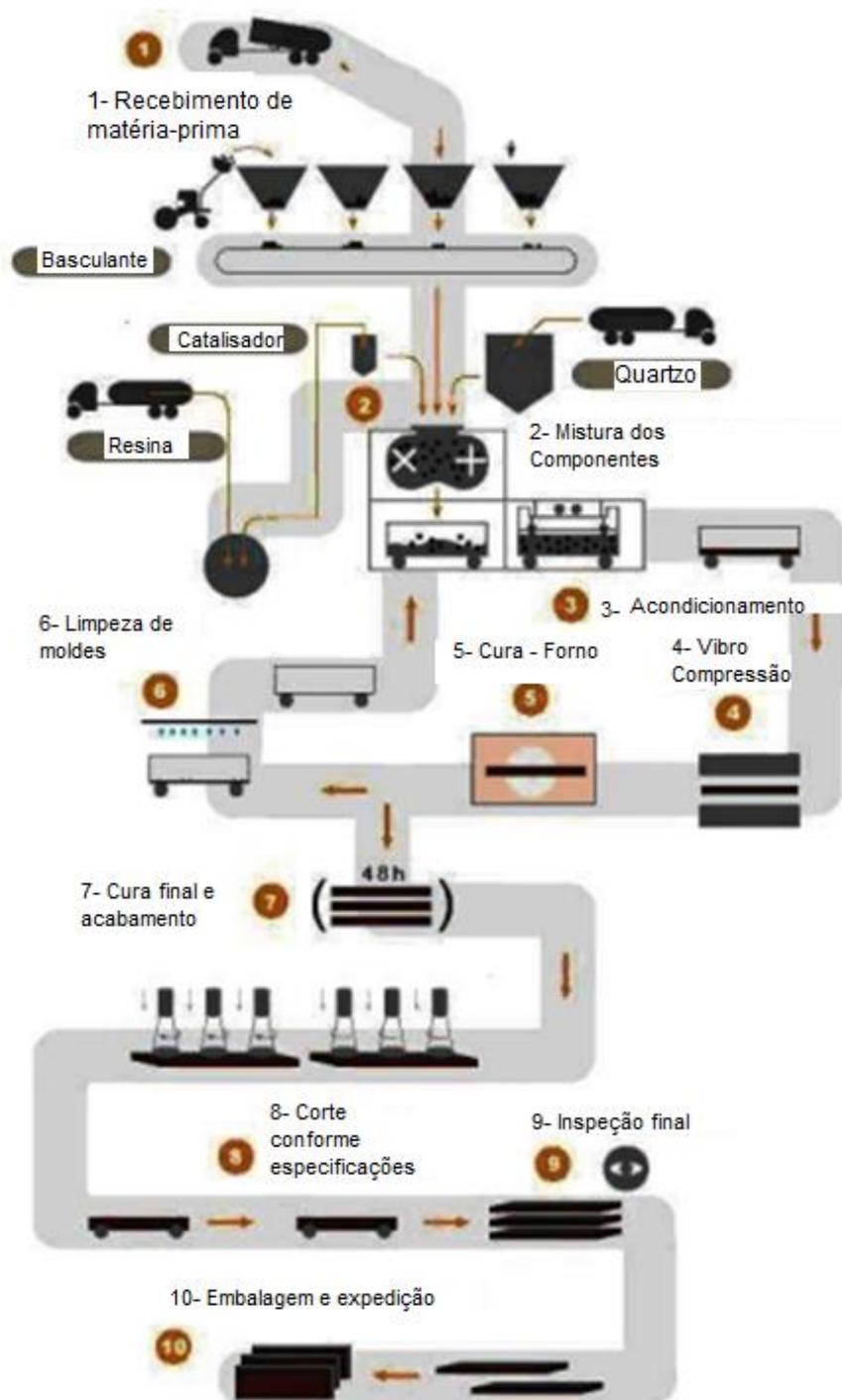


Figura 7: Etapas de fabricação da pedra tecnológica (compósitos de pedra), desenvolvida pela Compac Marmol e Quartz Company. Adaptado de (COMPAC MARMOL E QUARTZ, 2006)

Na sequência, na fase 2 ocorre a mistura dos componentes, com as proporções corretas de resina polimérica, catalisadores e aditivos, para formar o compósito de rocha. Também é realizada nesta etapa a dosagem, em moldes, da quantidade do compósito para a formação dos blocos de rochas artificiais. Continuando o processo, na fase 3 é realizado o acondicionamento do material nos moldes conforme dimensões dos blocos e transportado para a fase 4, onde ocorre a vibro compressão

a vácuo para a determinação do bloco de composto de pedra. Em seguida na fase 5 o bloco de composto de pedra (laje) é acondicionado por aproximadamente 45 minutos em forno para realização da cura da resina polimérica, garantindo as propriedades exigidas do produto final. Em paralelo na etapa 6 ocorre a limpeza e preparação dos moldes para retornar a linha de produção. Na etapa 7 acontece a cura final dos blocos de rocha em composto polimérico por um tempo de 48 horas, e também o acabamento para definir a uniformidade de espessura do produto. Já na fase 8 ocorre o corte com disco de diamante, dos blocos conforme especificações dos produtos. Na fase 9 faz-se a inspeção final e encaminha-se para a fase 10 para embalagens e expedição. De modo geral a fase 4 é uma das etapas importantes do processo, mas depende fundamentalmente da fase 1 em que se dá a moagem dos minerais, ou seja, a necessidade de granulometrias diferenciadas dentro da faixa de 0,1mm a 6mm, onde garantem o preenchimento por completo dos interstícios, ou seja, os vazios provocados entre duas ou mais pedras de grandes dimensões juntas no momento da vibro compressão, como pode ser observado na Figura 8

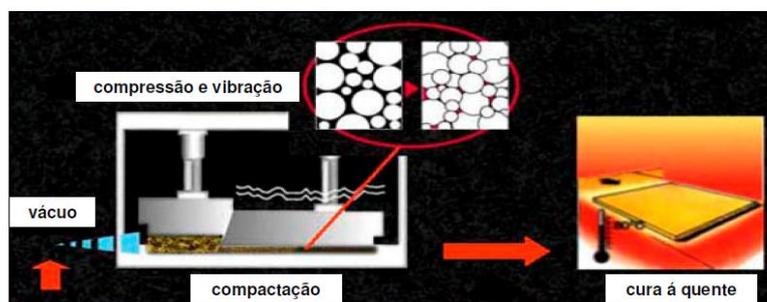


Figura 8: Ilustração do processo de vibro compressão à vácuo. Fonte: (Caesarstone, 2010)

2.7. CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS DE ROCHA COM POLÍMERO

2.7.1. Dados Comerciais

Segundo estudos da CAESARSTONE (2014), baseados nos testes de ensaios especificados para rochas artificiais desenvolvidas por BRETON COMPANY (2006), a empresa procura atender as especificações conforme Tabela 2.

Tabela 2. Especificações Técnicas de Rocha Artificial

Testes Executados	Normas	Resultados
Tensão de flexão	DIN 52112	515 Kgf/cm ²
Absorção de água	DIN 52103	0,02%
Manchas/Resistência a ácidos	ASTM D-2299	Não afetado
Característica da superfície em chama	ASTM E-84	Chama índice 10
		Densidade da fumaça 195
Tensão de Compressão	DIN 52105	2200 Kgf/cm ²
Congelamento/Descongelo	DIN 52104	2082 Kgf/cm ²
		(Após 25 ciclos)
Tensão de Impacto	D.M. 2234	135 cm
Densidade	Não especificou norma	2,4459 g/cm ³

Fonte: CAESARSTONE (2007).

A Tabela 3, mostra as principais características das rochas artificiais desenvolvidas pelo fabricante CAESARSTONE (2014).

Tabela 3: Comparações entre as rochas sintéticas sobre as rochas naturais

Dados analisados e normas aplicadas	Tensão de Flexão (Kgf/cm ²)	Teste de impacto (cm)	Absorção de água (%)	Tensão de compressão (Kgf/cm ²)	Tensão de compressão ao congelamento (Kgf/cm ²) Após 25 ciclos
CaesarStone	515	135	0,02	2200	2082
Mármore (Botticino)	60	29	0,55	2161	2082
Granito (Rosa Fiorito)	134	61	0,33	1921	1906
DIN Standard	52112	2234	52103	52105	52104
Comparações médias entre as pedras sintéticas da CaesarStone versus mármore e granito natural					
CaesarStone vs. Mármore	8,5 vezes maior	4,6 vezes maior	27,5 vezes menos	Em média são iguais	Em média são iguais
CaesarStone vs. Granito	3,8 vezes maior	2,2 vezes maior	16,5 vezes menos	1,1 vezes maior	1,1 vezes maior

Fonte: Adaptado de CAESARSTONE (2007).

2.7.2. Avaliação Microscópica Óptica

A avaliação por microscopia óptica do resíduo finos de brita, segundo Souza (2007), foi realizada em duas frações granulométricas, foram escolhidas para esta avaliação as peneiras #8 e #16. Esta análise dos finos de brita da pedreira Itereré contou com o auxílio de uma lupa binocular da marca Lewa, sendo a obtenção das imagens por uma máquina fotográfica digital acoplada ao equipamento. Os objetivos

alcançados no presente estudo são a observação da morfologia dos grãos, ou seja, o grau de arredondamento, a esfericidade, assim como a textura superficial. A observação óptica dos grãos dos diferentes tipos de areias foi utilizada para comparação e complementação da classificação nominal do grau de arredondamento figura 14. (Souza, 2004)

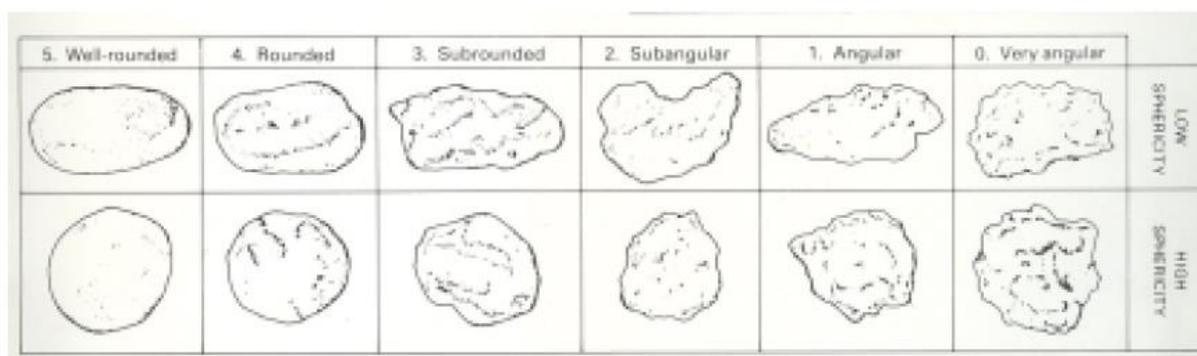


Figura 9. Padrão utilizado para a classificação do arredondamento e da esfericidade dos grãos

Peneira#16:



Nesta imagem podem ser observados grãos de quartzo (translúcidos), feldspatos (brancos) e biotitas (negros) associados aos dois primeiros. Os grãos apresentam baixa esfericidade e são muito angulosos.

Peneira#8:



Dois grãos de quartzo com alguns pontos negros de biotita. Atenção, as regiões brancas são reflexos da luz. Esfericidade baixa e grãos angulosos.

Figura 10. Observação dos grãos segundo os padrões

Após a análise feita, constatou - se que os finos de brita da Pedreira Itereré apresentaram material de baixa esfericidade, materiais do tipo angulosos a sub - angulosos nas frações granulométricas escolhidas.

2.7.3. Microscopia Petrográfica de Luz Polarizada

Segundo o trabalho de Souza (2004), na etapa de amostragem coletou-se na pedreira Itereré, amostras que foram utilizadas para a preparação de lâminas petrográficas, ensaio que foi realizado pelo *Professor Emílio Velloso Barroso na UFRJ*. Na análise petrográfica de rocha utilizou-se o Microscópio Petrográfico da Zeiss, usando luz transmitida, modelo Axioplan 2 com aumento de 4x, 10x, 20x, 40x, 63x e 100x, acoplado ao equipamento para obtenção das imagens havia uma máquina fotográfica digital. Várias imagens foram obtidas nesta etapa, e algumas delas foram selecionadas por representarem de forma objetiva os resultados desta análise.

2.7.3.1. Descrição das Lâminas Petrográficas

PEDREIRA ITERERÉ (Souza,2004)

Mineralogia:

Plagioclásio: grãos hipidiomórficos (o contorno dos grãos não é perfeito, mas sua forma geral pode ser distinguida), com a maior dimensão na seção observada variando entre 0,2 e 5,0 mm.

Biotita: grãos hipidiomórficos, com tamanhos entre 0,5 e 3,0 mm; alguns grãos encontram-se estirados.

Quartzo: são xenomórficos (as faces cristalográficas são mal definidas, irregulares), com tamanhos variando até 1 mm, com predominância dos tamanhos menores que 0.5 mm.

Álcali-feldspato: também são xenomórficos e com tamanhos de no máximo 5 mm, predominando grãos de 2,5 mm.

Ortopiroxênio: grãos xenomórficos com tamanhos variando entre 0,5 e 1,0 mm.

Aspectos Relevantes para o Uso como Agregado:

A maior parte dos minerais descritos anteriormente não evidencia, de forma significativa, a presença de produtos de alteração intempérica. As superfícies dos grãos de feldspato e dos grãos de plagioclásio estão límpidas, sem saussuritas e, no caso dos grãos de plagioclásio, elas encontram-se microfaturadas figura 11. Os grãos de biotita apresentam leve descoloração nas bordas figura 12, provavelmente por ação intempérica incipiente. Os grãos de piroxênio apresentam precipitação, provavelmente de ferro, nas microfissuras figura 13.

Classificação da Rocha:

Trata-se de um charnoquito.

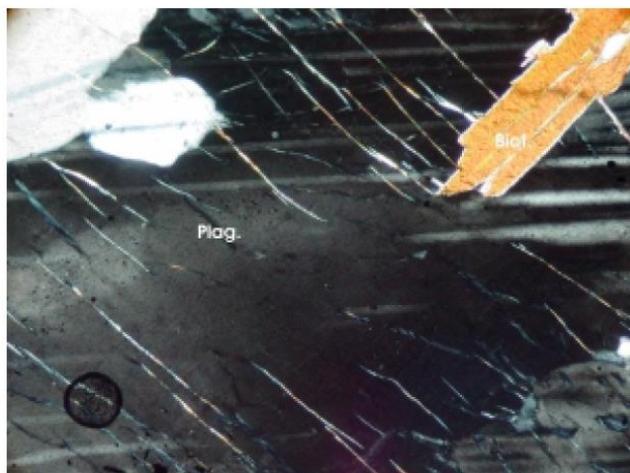


Figura 11. Suprfície de um grão de plagioclásio (PLAG.), com microfissuras

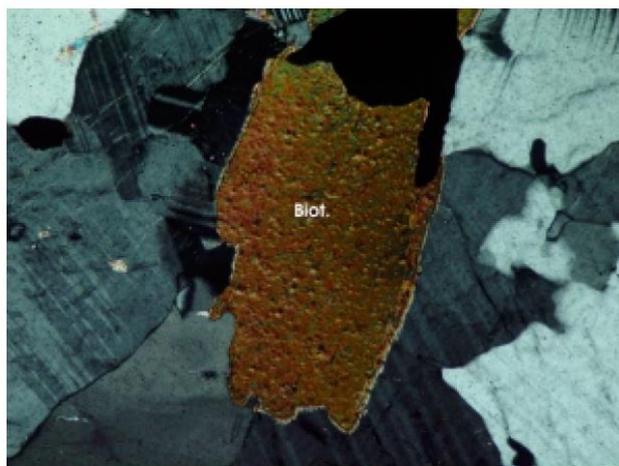


Figura 12. Grão de biotita com bordas de alteração intepérica incipiente



Figura 13: Detalhe dos grãos de ortopiroxênio (Opx.), apresentando microfissuras com precipitação de ferro

2.7.4. Composição Mineralógica

Na composição mineralógica dos finos de brita há predomínio de plagioclásios (andesina e oligoclásio), quartzo e ortoclásio. A Tabela 5 apresenta a composição química, obtida por fluorescência de raios-X (Philips PW 2400), das matérias-primas. Os finos de brita apresentam um teor significativo de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos indicando um potencial fundente. A desprezível perda ao fogo desse material também pode ser benéfica ao estudo de cerâmica argilosa. (Camara et. al. , 2010).

Tabela 4. Composição química dos finos de brita (% em peso)

Componentes	Finos de brita
SiO₂	63,51
Al₂O₃	18,81
Fe₂O₃	4,44
TiO₂	0,59
CaO	3,48
MgO	1,24
Na₂O	3,14
K₂O	3,78
PF	0,59

2.8. RESINA EPÓXI

Neste trabalho foi utilizado uma resina epoxídica do tipo éter diglicidílico do bisfenol (DGEBA), misturada a um endurecedor trietileno tetramina (TETA) na proporção estequiométrica de dez partes de endurecedor para cem partes de resina. Esta proporção estequiométrica em princípio equivale à abertura de todos os anéis epóxi por ligação com as moléculas de amina. (Monteiro et al, 2008)

Resinas Epóxi são uma das mais importantes classes de polímeros termoestáveis utilizados para aplicações estruturais ou como adesivos, pois mostra alta força de tensão e módulo, fácil processamento, boa resistência química e térmica.

Segundo Cantwell, (1997), a alta adesão apresentada por estes polímeros é consequência da polaridade dos grupos éteres e hidroxilas alifáticas que, frequentemente, constituem a cadeia da resina inicial e a rede do sistema curado. A polaridade desses grupos serve para criar forças de interação entre a molécula epóxi e a superfície adjacente a ela. Como matriz em compósitos, a existência desses grupos polares minimiza problemas relativos à interface resina/reforço.

A resina epóxi líquida possui baixa viscosidade e rapidamente se converte à fase termofixa pela mistura de agentes de cura apropriados. Estas resinas possuem uma combinação das seguintes propriedades: baixa viscosidade da resina e de seu endurecedor (fácil manuseio); podem ser curadas rapidamente na faixa entre 5 a 150°C, dependendo do agente utilizado Lee et. al., (1967); baixa contração durante a cura (aproximadamente 3%), outras resinas como fenólicas e acrílicas liberam água e apresentam alta contração; alta adesão; alto isolamento elétrico boa inércia química – as resinas epóxi curadas, dependendo do agente de cura, possuem boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos e versatilidade, sendo por isso utilizadas para inúmeras aplicações, sendo a principal delas em compósitos de fibras (Aquino, 2003).

Hoje em dia as resinas epóxis são utilizadas por uma infinidade de aplicações. Revestimento interno de embalagens de cerveja, refrigerante, cítricos, etc., são a base de resina epóxi. Placas de circuito impresso, encapsulamentos de componentes, pisos industriais, pranchas de surfe, tintas anticorrosivas, pintura em pó também usam epóxi como base.

Entretanto, em muitas aplicações, sua baixa resistência à fratura é a sua maior deficiência. Após a cura, o sistema epóxi apresenta pequena contração, em média na ordem de 2%. Este comportamento indica que para formar o sistema curado é necessário um baixo grau de rearranjo molecular. Quanto à estabilidade química, o epóxi é um dos termorrígidos mais inertes e possui boa estabilidade dimensional em serviço (Tanaka, 2002).

Ainda segundo Tanaka, 2002 a alta adesão por estes polímeros é consequência da polaridade dos grupos éteres e hidroxilas alifáticas que, frequentemente, constituem a cadeia da resina inicial e a rede do sistema curado. A polaridade desses grupos serve para criar forças de interação entre a molécula epóxi e a superfície adjacente a ela, otimizando o seu uso como adesivo e revestimento. Como matriz em compósitos, a existência desses grupos polares minimiza problemas relativos à resina/reforço.

2.8.1. Moldagem de compósitos por transferência de resina

Processos de moldagem líquida de compósitos requerem a impregnação de uma pré-forma fibrosa por uma resina polimérica, sendo composta normalmente de fibras de vidro ou carbono. Dentro dessa família de processos, encontra-se a moldagem por transferência de resina (RTM), que tem sido utilizado para produzir compósitos de alto desempenho, como componentes estruturais na indústria automotiva, mas que também vem ganhando espaço nas indústrias civil, aeroespacial e militar (Hiller et. al., 2006).

A moldagem por transferência de resina (RTM) é um processo de baixa pressão, utilizando um molde fechado que permite a obtenção de compósitos moldados com alta qualidade dimensional e superficial, usando uma resina termorrígida em estado líquido podendo ter várias formas de reforços com fibras. Entre os polímeros tipicamente usados como reforços de fibra de vidro há os epóxis, vinil-éster, metilmetacrilato, poliéster e fenólico. A escolha do polímero para a matriz e do reforço influenciam diretamente nos custos de produção do material, assim como no comportamento mecânico e acabamento superficial da peça moldada. Além dos polímeros e fibras de reforço, cargas minerais podem ser adicionadas para melhoria do retardamento ao fogo, módulo de flexibilidade e acabamento superficial (JHM Technologies, 2011).

Um processamento típico de RTM pode ser dividido em cinco etapas, conforme esquematizado na Figura 14. Inicialmente, a pré-forma é preparada e posicionada no molde. O molde é, então, fechado e a pré-forma é comprimida. Em seguida, a resina é injetada no molde e as fibras são impregnadas. Finalmente, depois da cura da resina o molde é aberto e a peça retirada. O molde de RTM deve possuir pelo menos uma entrada para injeção da resina e uma saída para permitir, durante a injeção da resina, a saída do ar de dentro do molde. Em peças grandes, é comum a presença de várias entradas e saídas (Alves, 2006).

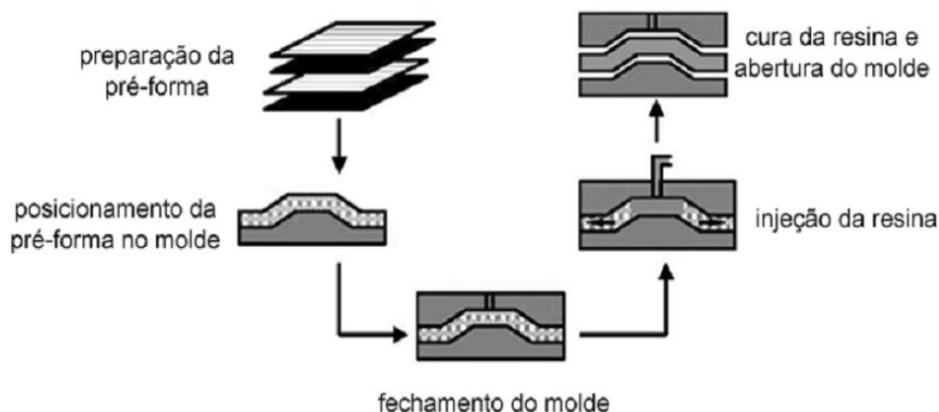


Figura 14: Esquema do processamento por RTM. Fonte (Alves, 2006)

2.5.2. Utilização do vácuo na moldagem de compósitos

A moldagem a vácuo é um processo alternativo da injeção de resina poliéster insaturado. É semelhante ao processo RTM. A diferença é que na moldagem a vácuo a mistura com resina é puxada para dentro do molde, enquanto no RTM ela é colocada sob pressão. O molde fechado (tipo punção/matriz), vedado com borracha, onde na periferia do molde é aplicado vácuo. O ar que fica dentro do molde é retirado permitindo assim a entrada da resina. (Fibercenter, 2010)

Outro processo utilizado na produção de compósitos, mas não muito divulgado pela indústria, é o de vibro compressão a vácuo. Neste processo cargas minerais são misturadas à resina e a massa é então compactada sob vibração e aplicação de vácuo. Atualmente os materiais conhecidos como rochas artificiais são produzidos por este processo

Estudos sobre este material e processo não são comuns de serem encontrados. (Lee et. al., 2008), produziu placas de “rocha artificial”, utilizando um processo com as variáveis: vibração, compressão e vácuo; as mesmas variáveis utilizadas pela indústria que produz comercialmente este tipo de material, ou seja, o processo de vibro compressão a vácuo. A figura 15 ilustra o equipamento utilizado neste estudo.

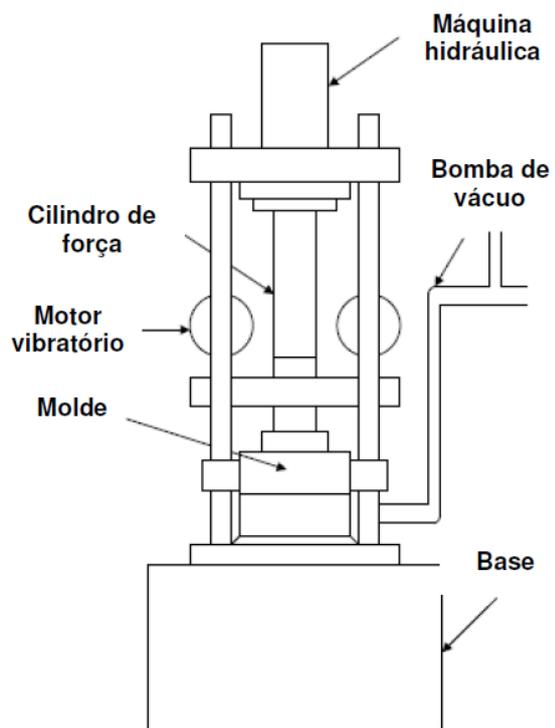


Figura 15. Esquema da prensa vibratória à vácuo utilizada por Lee et. all em sua pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

3.1.1 Resíduo de Brita

Os finos de brita foram coletados nas proximidades da cidade de Campos, resultantes do processo de britagem/moagem de rochas para obtenção de brita. A coleta foi feita na *Pedreira Itereré*, localizada na Serra da Bela Vista a 17 Km da Cidade de Campos dos Goytacazes.

Após a coleta do mesmo, o resíduo foi submetido ao moinho de bolas, possibilitando a passagem das partículas na peneira de 2 mm e dividida em três faixas granulométricas através do peneiramento a seco, de acordo com a norma técnica ABNT NBR 7181 (ABNT, 1984a).

A carga de resíduo foi classificada entre as peneiras de 10 e 200 mesh, dividindo-se em três diferentes granulometrias: grossa, média e fina como mostra a Tabela 6.

Tabela 5 – Faixas Granulométricas utilizadas.

Classe	Faixa granulométrica (mm)
Grosso	2,000 – 0,710
Médio	0,710 – 0,063
Fino	<0,063

A Figura 16 ilustra o resíduo separados por três faixas granulométricas.



Figura 16. Resíduo britado e separado em três faixas granulométricas.

3.1.2 Resina Epóxi

Foi utilizada a epóxi do tipo diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA), fornecido pela EpoxyFiber; nome comercial: MC 130; densidade: 1,16g/ml.

Para a cura do epóxi foi utilizada a amina TRIETILENOTETRAMINA (TETA), fornecida pela EpxyFiber; densidade: 0,98g/ml.

3.3. 3.2. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MAIOR EMPACOTAMENTO

A partir das três faixas granulométricas utilizou-se o modelo simplex-centroid (Figura 17), para previsão do empacotamento de misturas de partículas dos finos de brita.

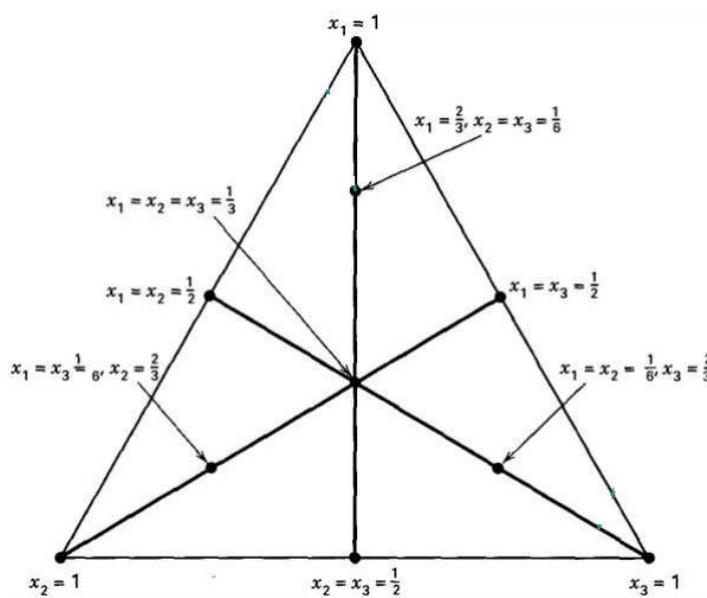


Figura 17. Modelo simplex-centroid

O empacotamento das misturas foi associado com a densidade aparente seca das misturas, uma maior densidade aparente seca é associada com um maior empacotamento de partículas. Recomendações e dispositivos relacionados no método B da norma brasileira ABNT MB-3388 (1991), foram utilizados na determinação da densidade aparente seca das misturas.

De modo resumido, as misturas foram introduzidas em um recipiente de volume conhecido. Um peso de 10 Kgf foi posicionado sobre a mistura de partículas e o sistema foi vibrado em um vibrador de peneiras com frequência de 60 Hz por 10 minutos (Figura 18). No fim da vibração, a mistura contida no recipiente foi pesada e a densidade aparente seca calculada.



Figura 18. Aparato utilizado na determinação da densidade aparente seca das partículas de mármore

Uma matriz de experimentos com 10 composições (Tabela 7) e três repetições cada foi utilizado. Para os modelos matemáticos, os parâmetros correspondentes foram: x_1 = grosso (G), x_2 = médio (M), e x_3 = fino (F).

Tabela 6- Matriz de experimentos para determinar a densidade aparente seca.

Composição	X1	X2	X3
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	1/2	1/2
5	1/2	1/2	0
6	1/2	0	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	2/3	1/6	1/6
9	1/6	1/6	2/3
10	1/6	2/3	1/6

3.4. PRODUÇÃO DAS PLACAS DE MÁRMORE ARTIFICIAL

As placas de rocha artificial foram produzidas nas dimensões de 100mm de largura por 100mm de comprimento com 10mm de espessura através de um molde sobre compressão. Inicialmente, o resíduo finos de brita pelo processo de britagem e classificado entre as peneiras de 10 e 200 mesh, sofreram aquecimento a 100°C durante 24 horas para a retirada da umidade.

Após o período de 24 horas, o resíduo foi retirado da estufa e colocado no dessecador a fim de retornarem à temperatura ambiente. Em seguida o mesmo foi pesado e misturado manualmente em um recipiente seguindo as proporções de 10% e 15% de resina epóxi. Em seguida, a mistura foi adicionada ao molde e nivelado com uma espátula.

Antes de receber a mistura, os moldes foram devidamente preparados para evitar a saída de material durante a prensagem e adesão exagerada nas paredes internas da matriz. O molde, então, foi posicionado com sua tampa em uma prensa de capacidade de 15 toneladas, onde se prensou o mesmo com 10 toneladas de peso.

Duas horas e meia depois a placa prensada foi retirada do molde (Figura 19) e disposta sobre uma superfície plana para a cura em temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, as placas foram então submetidas a um tratamento térmico a 90°C, por um período de 5 horas, em estufa, para uma pós cura.



Figura 19- Molde para a confecção dos corpos de prova

3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE MÁRMORE ARTIFICIAL

Para as placas de rocha artificial foram avaliadas as propriedades mecânicas e físicas através de testes padronizados, como: densidade, absorção de água, porosidade aparente, resistência à flexão e desgaste abrasivo.

Os resultados dos ensaios obtidos com o a rocha artificial produzido tiveram seus resultados comparados com a rocha artificial comercial (Estelar) fornecida pela EcologicStone, localizada em Cachoeiro-ES.

3.5.1. Densidade, absorção de água e porosidade aparente

A determinação da densidade, da absorção de água e da porosidade aparente foi realizada a partir de orientações da norma técnica NBR 15845/2010-anexo B. Foram utilizados 11 corpos de prova, com dimensões de (30 x 30 x 10)mm.

Inicialmente colocaram-se os corpos de prova em um recipiente e adicionou-se água até alcançar 1/3 de sua altura. Depois de 4 h, foi inserida água na bandeja até alcançar 2/3 da altura total do corpo de prova. Após mais 4 horas, foi feita a completa submersão dos corpos de prova. Após esse período os mesmos permanecerão neste ambiente por mais 40 horas. Posteriormente, individualmente, cada corpo foi pesado tanto na condição submerso quanto exposto ao ar.

A absorção de água foi calculada através da seguinte expressão:

a) densidade aparente:

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 1000$$

Legenda:

M_{sec} = Massa seca

M_{sat} = Massa saturada

M_{sub} = Massa submersa

b) porosidade aparente:

$$n_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100$$

c) absorção de água:

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100$$

3.5.2. Determinação da Tensão de Ruptura à Flexão

Foi avaliado o desempenho mecânico das diferentes placas de rocha artificial, testadas sob condições de flexão em um sistema de três pontos e realizada na máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582, disponível no SMMA/LAMAV (Figura 20). Os valores de tensão de flexão (σ) foram determinados.

As medições foram realizadas utilizando uma velocidade de 0,25mm/min com suporte de comprimento igual a 80 mm, célula de carga 100KN de acordo com a norma UNE-EM 14617-2/2008. Foram feitas réplicas com 6 corpos de prova.



Figura 20. Ensaio de flexão de três pontos da pedra artificial

3.5.3. Desgaste Abrasivo

Pode-se definir desgaste abrasivo como a perda de material pela passagem de partículas rígidas sobre a superfície do material a ser avaliado. O teste de abrasão (Figura 21) foi realizado no equipamento de ensaio abrasivo tipo AMSLER, presente no Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, em Cachoeiro de Itapemirim (ES), utilizado na análise de desgaste abrasivo para rochas ornamentais. O ensaio seguiu orientações da NBR 12.042:2012. Este ensaio teve por objetivo verificar as modificações sofridas pelo material após seu desgaste em uma pista giratória circular, em presença de areia normatizada. Foram ensaiadas duas placas nas dimensões: 70mm x 70mm x 30mm e medida a diminuição após 500 e 1000 metros de percurso, conforme indica a norma.

O cálculo de desgaste abrasivo foi realizado pela fórmula:

$$D = \frac{(E_i - E_f)}{E_i} \times 100$$

Onde:
D = Desgaste;
E_i = Espessura inicial;
E_f = Espessura final.



Figura 21. Equipamento de desgaste abrasivo do tipo Amsler (Costa *et al.*, 2014)

3.5.4. Avaliação da Microestrutura

Para avaliação da microestrutura, utilizou-se da técnica de observação da região de fratura em MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) para averiguação da adesão das partículas a resina DEGBA-TEPA.

As verificações de MEV foram realizadas através do aparelho Super Scan SSX-550 da SHIMADZU, localizado no Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV/UENF), mediante preparação das amostras empregando fita adesiva de carbono com camada de ouro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MAIOR EMPACOTAMENTO

Os resultados para a densidade aparente seca, obtida para as misturas de partículas de finos de brita, conforme composições granulométricas apresentadas na Tabela 7, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7. Densidade aparente seca das misturas testadas

Mistura	Peso das partículas (g)			Densidade aparente seca (g/cm ³)			
	1	2	3	1	2	3	MÉDIA
1	1.460	1.445	1.435	1,44	1,43	1,42	1,43
2	1.690	1.685	1.735	1,67	1,66	1,71	1,68
3	1.480	1.495	1.495	1,46	1,48	1,48	1,47
4	1.620	1.650	1.635	1,60	1,63	1,61	1,61
5	1.860	1.815	1.775	1,84	1,79	1,75	1,79
6	1.815	1.810	1.815	1,79	1,79	1,79	1,79
7	1.860	1.785	1.850	1,84	1,76	1,83	1,80
8	1.830	1.895	1.875	1,81	1,87	1,85	1,84
9	1.520	1.470	1.435	1,50	1,45	1,42	1,46
10	1.795	1.780	1.805	1,77	1,76	1,78	1,77

4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

4.2.1. Densidade, absorção de água e porosidade aparente

A tabela 9 apresenta a densidade, porosidade aparente e absorção de água, para as placas de rocha artificial com finos de brita com concentração de 10 e 15% de resina, e pedra comercial Stellar (fornecida pela ecologicstone).

Tabela 8. Densidade, absorção de água e porosidade aparente da rocha artificial do material comercial.

	Comercial	Rocha Artificial 10%	Rocha Artificial 15%
Densidade [g/cm ³]	2,38±0,04	2,35±0,08	2,25±0,02
Absorção [%]	0,18±0,04	0,35±0,09	0,25±0,004
Porosidade [%]	0,44±0,1	0,81±0,19	0,55±0,04

4.2.1.1. Densidade Aparente

Nota-se que as médias das rochas artificiais produzidas têm uma menor densidade aparente em relação à rocha comercial.

A menor densidade encontrada acarreta em um material com menor peso por metro quadrado, ou seja, mais leve, nesse caso, a rocha artificial com 15% de resina em massa é a amostra com menor densidade aparente se comparada a rocha comercial. Lee et. al. (2008) durante suas pesquisas de material artificial, variou níveis de pressão de compressão, nível de vácuo e frequência de vibração no processo produtivo, e assim encontrou valores variando de 2,03 a 2,45 g/cm³. Tal autor inferiu que valores maiores de pressão de compressão influenciam na compactação de materiais, proporcionando materiais mais densos. Desta forma, o valor encontrado de densidade para esta pesquisa está abaixo do valor informado pelo fabricante, mas está dentro da faixa encontrado por Lee et. al. (2008) levando em conta que o material desenvolvido neste trabalho não utiliza vácuo, onde poderia ocorrer uma melhor compactação do material e eliminação de bolhas.

4.2.1.2. Absorção de Água

Com relação as médias das rochas artificiais produzidas têm uma maior absorção de água em relação à rocha comercial Stellar. A amostra de rocha artificial com 10% de resina em massa apresenta a maior absorção.

De acordo com Chiodi (2008), um valor abaixo 0,1% possui uma qualidade muito alta, sendo assim, o valor obtido está acima desta classificação, comprovando a alta absorção de água para atuação como material de revestimento.

O único valor encontrado para absorção de água que está dentro da norma recomendada e regulamentada pela ASTM C503 que deve ter o valor de absorção menor ou igual a 0,2% (ASTM C503, 1999) é o da rocha comercial Stellar.

Borsellino *et al.* (2009) utilizou resíduos de mármore e epóxi e obteve como resultado o valor de 0,25%, o mesmo resultado encontrado na rocha artificial com 15% de resina em massa. Já comparando com Ribeiro *et al.* (2014 b,c), o mesmo registrou a média de $0,19 \pm 0,02\%$. Considerando que Ribeiro *et al.* (2014) utilizou um resíduo calcítico de mármore e apenas variou a resina, já que o mesmo utilizou a resina poliéster, infere-se que a alta absorção de água e do nível de porosidade encontrados nesta pesquisa indicam que não houve uma boa compactação e distribuição do resíduo na resina epóxi utilizada, dado pelo fato da mistura do material ter sido feita de maneira manual.

4.2.1.3. Porosidade Aparente

Com relação as médias das rochas artificiais produzidas têm uma maior porosidade aparente em relação à rocha artificial Stellar. O baixo nível de porosidade pode indicar uma boa aderência entre o resíduo e a resina epóxi e isso não ocorreu com nenhuma das amostras de rocha artificial se comparada à rocha comercial. Ribeiro (2011) utilizando a tecnologia de RTM, recomendada para cargas fibrosas e não particuladas, não obteve uma adesão satisfatória das partículas de mármore a resina poliéster, encontrando um valor de porosidade mais elevado, na média de $8,28 \pm 0,75\%$, fato que prejudicou as propriedades do material pesquisado. Já Chiodi, (2008) classificam que materiais de revestimento de qualidade alta devem ter porosidade abaixo de 0,5%, portanto a única amostra que chega perto dessa classificação é a rocha artificial com 15% de resina em massa.

4.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.3.1. Tensão de Ruptura em Flexão

O comportamento mecânico das formulações da rocha artificial com finos de brita (com 10 e 15% em massa de resina), resina epóxi pura e a pedra comercial Stellar são apresentados na figura 22. Comparando as curvas da RAPE, LAF e a curva do epóxi puro vemos que a adição da carga provocou um aumento considerável na rigidez do material, um comportamento esperado, uma vez que a adição de partículas rígidas a polímeros geralmente atuam aumentando o módulo elástico.

Tabela 9. Valores de resistência à flexão para a rocha artificial 10 e 15% de resina, comercial e resina epóxi.

Corpos de prova	Resistência a flexão (MPa)
Rocha artificial 10%	30±1,44
Rocha artificial 15%	32±2,02
Comercial	36,61±2,48
Resina epóxi	93,59 ± 4,7

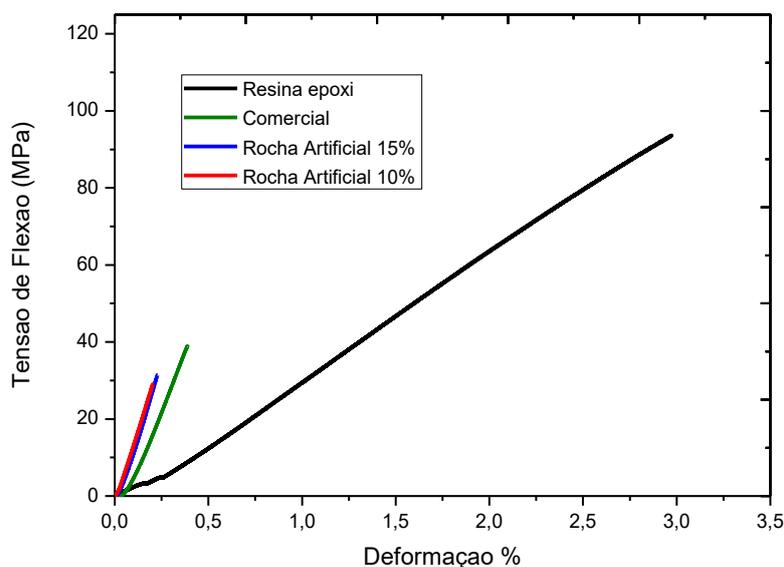


Figura 22. Comportamento mecânico no ensaio de resistência à flexão para as rochas artificiais 10 e 15% de resina, comercial e da resina epóxi pura.

No teste de resistência à flexão em três pontos foram obtidos os valores médios das amostras da rocha artificial com 10% de resina em massa de 30±1,44Mpa, rocha artificial com 15% de resina em massa de 32±2,02Mpa e rocha comercial 36,61±2,02MPa, valores superiores ao mínimo esperado para a rocha de mármore calcítico normatizado pela ASTM C503 que deve ser superior a 7Mpa sua tensão de ruptura em flexão. O resultado considerando que a rocha artificial desenvolvida nesse trabalho apresentou resistência muito acima deste valor, pode-se afirmar, neste aspecto, que tal material é uma excelente opção de substituto ao mármore calcítico, com resistência muito superior a ele. Esta possível substituição acarretaria, conseqüentemente, economia de material, devido às menores dimensões para a seção resistiva (dada a maior resistência), que, aliada ao menor custo do material, geraria economia de custos na compra e instalação deste. Adicionalmente, ao

comparar os resultados da rocha artificial com finos de brita com o mármore artificial de Ribeiro (2015) percebe-se propriedade muito superior. Este resultado superior poderia já ser esperado, dado o fato da brita ser mais resistente do que o mármore, o que tenderia a tornar o compósito mais resistente também, apesar do menor teor de material incorporado. Contudo, relativamente ao processo de fabricação, este resultado é um pouco contraditório em relação ao resultado esperado devido ao processo de fabricação do compósito. O compósito do Ribeiro (2015) foi fabricado usando-se a tecnologia de vibro-compressão a vácuo, onde, durante todo o processamento (mistura, vibração e compactação), a amostra se encontrava sob vácuo; ao passo que o material produzido por este trabalho não teve este recurso. Possivelmente, o vácuo permitiria um melhor escoamento dos gases, o que diminuiria a porosidade e uma melhor compactação nos compósitos de resíduo de brita, o que iria se refletir em melhores propriedades mecânicas. Isso indica uma baixa dispersão dos resultados e uma considerável estabilidade mecânica do material artificial produzido em virtude das ligações cruzadas geradas pela resina epoxídica.

Chiodi (2008) na classificação de rochas ornamentais de revestimento relataram que materiais com resistência à flexão acima de 20Mpa possuem alta resistência.

Borsellino et. al. (2009) utilizou resíduos de mármore e epóxi e obteve como resultados valores de resistência à flexão entre 10,6 e 22,2MPa, ou seja, o resultado obtido nesta pesquisa está acima do esperado de acordo com os resultados dos fabricantes comerciais. Borsellino *et al.* (2009) no entanto não utilizaram a metodologia do vácuo durante a produção das placas artificiais, fato que justifica valores de flexão menores do que os encontrados em pesquisas com o mesmo material e utilizando vibro compressão a vácuo, como Ribeiro (2015), que permitiu maior poder de ligação entre as matérias primas. Foi identificado no trabalho de Borsellino *et al.* (2009) que a falta do vácuo proporciona um material mais poroso e com mais vazios conectados que atuam como concentradores de tensões.

4.3.2. Desgaste Abrasivo

A tabela 11 mostra que as composições das pedras artificiais apresentam redução de espessura em relação à pedra comercial analisada.

As normas aplicadas às pedras artificiais não apresentam limites de desgaste abrasivo. Frasnão sugere para esta propriedade, valores para o desgaste abrasivo Amsler inferior a 1 mm⁵. Chiodi (2001) sugere parâmetros tecnológicos para aplicar pedras calcárias em coberturas horizontais. De acordo com os autores, revestimento de piso de baixo tráfego deve apresentar desgaste abrasivo amsler menor que 6 mm, pavimentos de tráfego médio deve apresentar desgaste abrasivo menor que 3 mm e revestimento de alto tráfego deve apresentar desgaste menor que 1,5 mm. Assim, de acordo com os parâmetros apresentados pelos autores, a pedra comercial pode ser aplicado em revestimento de alto tráfego, no entanto, as composições da rocha artificial com 10% de resina em massa e 15% de resina em massa, sofreram um menor desgaste em relação a rocha comercial. O resultado obtido foi altamente satisfatório já que o desgaste apresentado por este produto é pequeno mesmo sobre ambientes de alto tráfego.

Tabela 10. Amsler desgaste associado com redução da espessura rocha artificial 10 e 15% e Stellar.

Material		Desgaste abrasivo (mm)	
		500 m	1000 m
Rocha	artificial	0,66	1,37
	10%		
Rocha	artificial	0,57	1,39
	15%		
	Stellar (Comercial)	0,70	1,53

Em relação à pesquisa de Ribeiro (2011) foram encontrados valores de 2,5 e 5,7mm como desgaste da espessura na pista de 500 e 1000 m, respectivamente; vale ressaltar que este autor utilizou resíduos do mármore dolomítico. O maior desgaste encontrado por este pesquisador está relacionado à grande porosidade que foi encontrada em seu material que não teve uma boa adesão e também devido ao uso da resina poliéster juntamente com o solvente, fato que pode ter prejudicado o entrecruzamento das ligações químicas do compósito.

4.3.2. Avaliação da Microestrutura

As interações interfaciais satisfatórias influenciam nas propriedades mecânicas dos compósitos. A força da ligação adesiva pode ser um dos fatores influenciadores da interação. Assim, através do molhamento de contato há a aproximação resina/partícula (Miller et al., 1988).

Através de um molhamento perfeito pela resina epoxídica, o desempenho máximo de um material artificial pode ocorrer. Destaca-se que quanto mais forte for a interface resina/partícula, melhor as propriedades mecânicas dos compósitos (Debnath et al., 2004). Verifica-se um molhamento eficiente no material produzido através da análise das regiões de fratura pelas micrografias.

As Figuras 23, 24, 25 e 26 representam as micrografias obtidas por MEV da superfície de fratura da amostra de rocha artificial com 10% de resina em massa produzida nessa pesquisa.

Foram encontrados poros evidentes o que pode indicar que a fratura possa ter ocorrido por uma falta de adesão, ou a não existência de uma interface de resina deixando em contato as partículas gerando microcavidades que possam ter atuado como concentradores de tensão. As superfícies de fratura apresentadas registram superfícies com rompimento mecânico em virtude da solicitação mecânica.

Foram encontrados cavidades e problemas de homogeneização, inclusive mais acentuado que no caso de maior quantidade de resina demonstrando que a fratura pode ter ocorrido em virtude de poros decorrentes da falta da ação do vácuo, que não foi empregada neste trabalho e do molhamento ineficiente que acarretou uma menor adesão de resina nos grãos, já que ambos os fatos estão presentes nas imagens, se observam partículas e contato sem presença de DGEBA como interface e vazios regulares e vale destacar que os poros evidentes podem ter atuado como concentradores de tensão, acarretando em propriedades mecânicas inferiores, conforme registrado nos ensaios de flexão em três pontos.

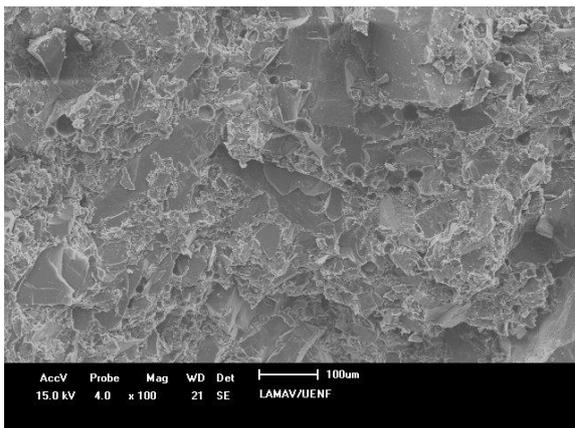


Figura 23. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 100 vezes.

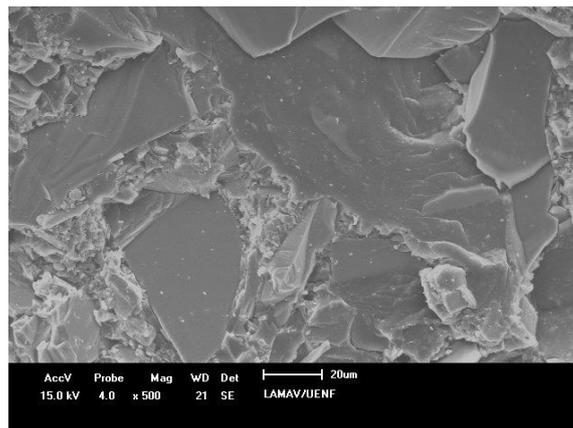


Figura 24. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 500 vezes.

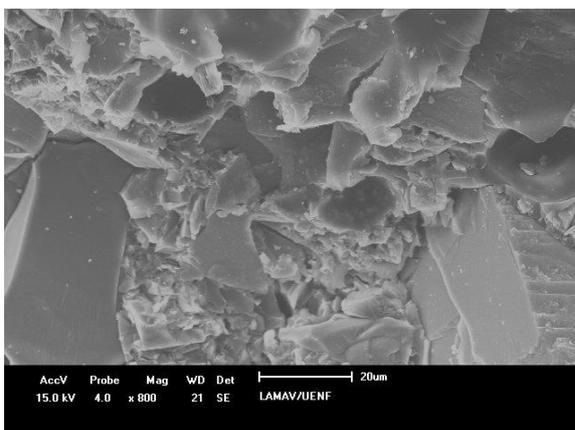


Figura 25. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 800 vezes.

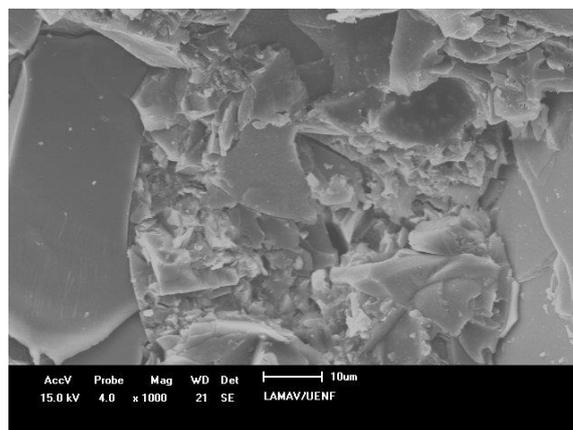


Figura 26. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 10% de resina em massa e um aumento de 1000 vezes.

As Figuras 27, 28, 29 e 30, representam as micrografias coletadas por MEV da superfície de fratura da amostra de rocha artificial com 15% de resina em massa que foram produzidas na pesquisa.

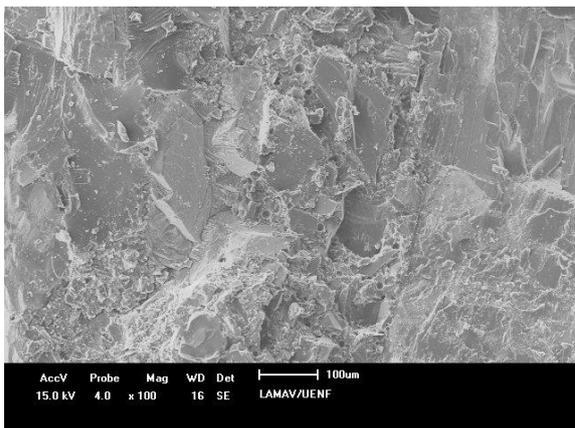


Figura 27. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 100 vezes.

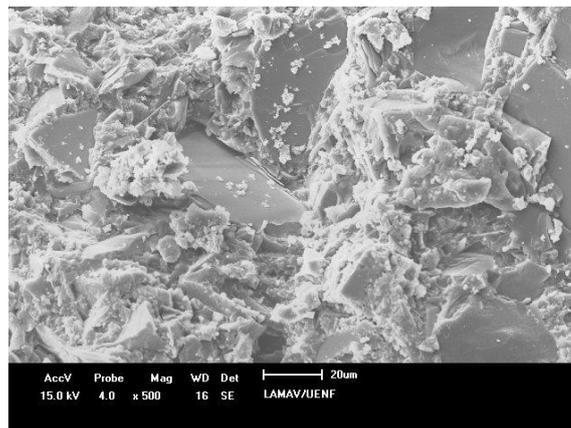


Figura 28. . Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 500 vezes.

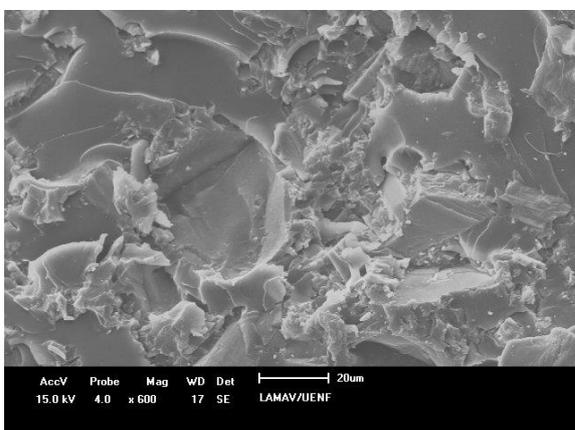


Figura 29. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 800 vezes.

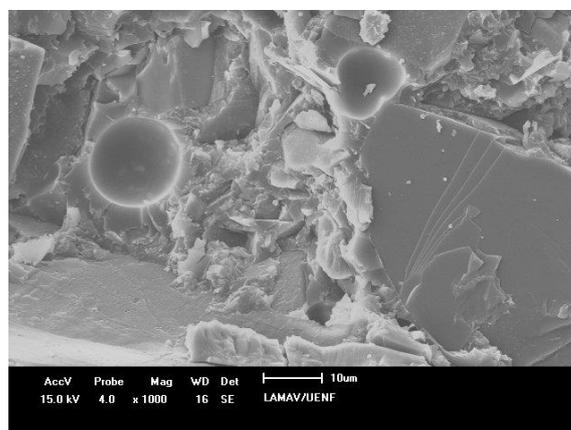


Figura 30. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da rocha artificial com 15% de resina em massa e um aumento de 1000 vezes.

Nota-se que foram localizados poucos poros e está bem aderida caracterizando que a fratura ocasionada no teste em três pontos possa ter ocorrido em virtude de poros ou por falta de adesão devido a mistura manual sem utilização de vácuo.

As melhorias são devido a um melhor molhamento das partículas e assim uma interface mais extensa. Como a resina teve maior contribuição em peso e também apresenta melhores propriedades, a sua contribuição deveria aumentar também nestas condições, fato que foi observado e confirmado nos ensaios de flexão em três pontos e ensaios de densidade.

5. CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho esteve concentrada em uma metodologia que desenvolvesse compósitos com um resíduo mineral em uma matriz polimérica com base em resina epóxi, procurando alternativas para a reciclagem de resíduos gerados nas fases de beneficiamento de rochas de pedreiras e/ou marmoraria na etapa de exploração das rochas.

De forma geral, o processo se mostrou bastante viável, sendo a metodologia capaz de proporcionar a reciclagem desses rejeitos e despertou para a possibilidade de desenvolver novos materiais a custos competitivos com as rochas naturais e artificiais do mercado.

A nível prático, as compactações mais viáveis foram as amostras com quinze por cento de resina em massa com resultados mais próximos ao comparar com a rocha comercial Stellar.

As partículas do resíduo de finos de brita se mostraram vantajosas à confecção de compósitos, devido à sua morfologia. Este fato sugere uma boa interface entre matriz e fase de reforço, o que tende a gerar melhores propriedades mecânicas no compósito. A densidade aparente dos compostos confeccionados se mostrou compatível com os valores informados por outros fabricantes de rochas artificiais. Contudo, a absorção de água e a porosidade aparente se mostraram acima das demais rochas artificiais, demandando melhoras no processo produtivo para que o produto seja competitivo nestes aspectos.

As micrografias eletrônicas de varredura nas regiões de fratura indicaram que tiveram uma boa adesão a resina epoxídica DGEBA/TEPA, sendo visíveis poros nas amostras que possam ter atuado como concentradores de tensão, mas isso pode ser esclarecido pelo fato de as amostras terem sido feitas manualmente.

Caso estes corpos de prova fossem fabricados sob a ação de vibro compressão a vácuo, a ação da influência desses fatores alteraria consideravelmente os resultados encontrados, melhorando-os ainda mais do ponto de vista mecânico.

As formulações com quinze por cento de resina proporcionaram um melhor molhamento da carga e uma interface mais extensa, gerando melhores propriedades mecânicas.

Desta forma, a utilização do resíduo finos de brita juntamente com o sistema epoxídico DGEBA/TEPA proporciona a geração de uma rocha artificial com boas propriedades físicas e mecânicas.

A partir dos resultados obtidos pode-se constatar que o resíduo estudado apresenta grande potencial de uso como rocha artificial, contudo, necessita-se diminuir a porosidade, através da melhoria da tecnologia de produção.

A provável causa das baixas propriedades mecânicas reside na porosidade elevada, resultado do processo produtivo. Para melhorar tal aspecto, deve-se buscar a tecnologia de vácuo para evitar o aprisionamento de gases durante a produção do compósito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Belo Horizonte. Os dados primários sobre exportações foram obtidos a partir de consulta à Base ALICE do MDIC (www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br), 2008.

ALVES, A. L. dos S. **Processamento de placas compósitas pela técnica de moldagem por infusão de resina de seemann (scrimp)**. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência em Engenharia Metalúrgica de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

AQUINO, R. C. M. P.; **Desenvolvimento de Compósitos de Fibras de Piaçava da Espécie Attalea Funifera Mart e Matriz de Resina Poliéster**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). **Solo: análise granulométrica**. - NBR 7181, 13p.

BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2009.

BRETON COMPANY. (2006) **Plants for Manufacturing Natural Stone Surfaces by Breton Technology**. Disponível em: <http://www.breton.it/dynamic/en/azienda/filosofia.php?PHPSESSID=7589075f46902>
Acesso em março de 2014.

BORSELLINO, C.; CALABRESE, L.; DI BELLA, G. **“Effects of power concentration and type of resin on the performance of marble composite structures”**. Construction and Building Materials, vol. 23, n.5, pp 1915-1921, 2009.

CAESARSTONE. (2014) CaesarStone Quartz Surfaces. Disponível em <<http://www.caesarstoneus.com/catalog/technical-specs.cfm>>. Acesso em Março 2014.

CALLISTER, W.D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013

CAMARA, R.S.; Monteiro, S.N.; Vieira, C.M.F. **Utilização de finos de brita em cerâmica argilosa**. Revista Matéria, v. 15, n. 3, pp. 480 – 487, 2010

CANTWELL, W. J.; MORTON, J (1991). **The impact Resistance of Composites Materials** – a Review – Composites; vol. 22, n.5.

CAVALCANTE e SILVA, D., VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena**. In: Morais J. O. Rochas industriais : pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, cap 4. Fortaleza, Realce, 2003.

CHAWLA, K.K.,(1998) Composite Materials Science and Engineering, Springer-Verlag, New York.

CHIOD, C. F.. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2007**. Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos.

CHIODI, C, F. **Situação e perspectivas brasileiras do setor de rochas ornamentais e de revestimento**. In: Ribeiro, A. F. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais I, Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, 2001. p. 2-12.

CHOU, T. W., MCCULLOUGH R. L. e PIPES, R. B., (1986) **Composites, Scientific American**, Vol 255, p. 192-203.

COMPAC MARMOL E QUARTZ. **El Cuarzo Tecnológico**. Disponível em www.compacmq2.com/web/portugues/producto/mc_prode.php?link=abe1d2d1
Acesso em 16/05/2010.

DEBNATH, S.; RANADE, R.; WUNDER, S.L.; MCCOOL, J.; BOBERICK, K.; BARAN, G. **Interface effects on mechanical properties of particle-reinforced composites.** Dent Mater. 2004; 677-86.

FIBERCENTER. (2010) **Mármore sintético.** <http://www.fibercenter.com.br/processos/marmoresintetico.html> > Acesso em mai. 2014.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. **Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas.** Polímeros: ciência e tecnologia, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2002.

FRANGELLA, L. N. M. **Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.** Universidade Federal do Rio Janeiro - UFRJ XV Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2006.

FRAZÃO, E, B.; FARJALLAT, J. E. S. **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento.** I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa. 1995.47-58p.

GOBBO, L. A. et. Al.. **Aproveitamento de Resíduos Industriais. A cadeia produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimentos no Estado de São Paulo: Diretrizes e ações para inovação e competitividade** -. p. 129-151, 2004.

GODOI, F. K. **O desafio do Licenciamento para Micro e Pequenas Empresas.** VI Seminário Nacional de APL de Base Mineral. Bióloga/Esp. Gerenciamento de Resíduos Subgerente de Licenciamento de Mineração – IEMA /ES, 2009.

GRIJÓ, P. E. A.; BAASCH, S. S. N., GNAUCK, B. FRÜNDDT, P. **Iniciación a La Química de Los Plásticos. 1º edición española.** Hanser Editorial, S. L. Barcelona, 1992, 2003.

HILLER, G.R.; FILLA, J.L.; SCHMIDT, T.M.; AMICO, S.C. **Influência das condições de moldagem por transferência de resina (RTM) no comportamento mecânico de compósitos poliméricos.** Porto Alegre - RS - LAPOL - Escola de Engenharia – UFRGS, 2006.

JHM Technologies inc.. *www.rtmcomposites.com*. Acesso em 15/02/2011.

JOHN, P. S.P., VANDERLEY M.; ROCHA, J. C.. **Utilização de Resíduos Compósitos à Base de Resina Éster Vinílica e Sílica Funcionalizada**. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14, 2000, Construção Civil. Coletânea Habitare, Vol. 4. Porto Alegre. 2003.

LAVENGOOD, R.; SILVER, F. M. **Engineering Materials Handbook Engineering Plastic: Interpreting Supplier Data Sheets**. Metals Park: ASM International; v.2 638-345p. (1988)

LEE, G.-W.; LEE, N.-J.; JANG, J.; LEE, K.-J.; NAM, J.-D. (2002). **Effects of surface modification on the resin-transfer moulding (RTM) of glass-fibre/unsaturatedpolyester composites**. Composites Science and Technology v.62, n.1, p. 9-16.(1997)

LEE, M.Y.; KO, C.H.; CHANG, F.C.; LO, S.L.; LIN, J.D.; SHAN, M.Y.; LEE, J.C. (2008). **Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction**. Cement & Concrete Composites, 30, pp.583–587.

MACHADO. R. V. **Nutrição Mineral e a Utilização de resíduos de Rochas Ornamentais**. UFES. Vitória, XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2008.

MEDINA H. V. De.(2006). **Clean technologies for recycling**. In: Daniel Brissaud, SergeTichkiewitch and Peggy Zwolinski, Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development, Springer, Netherlands. pp. 199-208.

MELLO, R. M; D' AGOSTINO, L. F. **Avaliação da utilização da lama proveniente do acabamento de mármore e granitos como matéria prima em cerâmica vermelha**. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais e II Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 2004.

MENEZES, R. R.; FARIAS, J. Filho; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas.** Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, PB. Cerâmica vol.55 no.335 São Paulo jul./set., 2009

MENEZES; R. R., NEVES; G. A., FERREIRA; H. C. (2002) **O Estado da Arte Sobre o Uso de Resíduos como Matérias-primas Cerâmica Alternativas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* Campina Grande, PB, 6(2):303-313.

MILLER, J.D., ISHIDA, H., MAURER, F.H.J (1988). **Dynamic-mechanical properties of interfacially modified glass sphere polyethylene.** *Rheologica Acta*, 27: 397.

MONTEIRO, S.N.; FERREIRA, A.S.; LOPES, F.P.D. **A Comparative Study of Curaua Waste Fibers Reinforced Epoxy Matrix Composites as Building Material.Symposium.** REWAS: Characterization of Minerals, Metals, and Materials. P.20-30.CANCUM (2008b).

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F.. **Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha.** Grupo de Materiais Cerâmicos, LAMAV. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

MOURA, W. A.. **Utilização do resíduo do beneficiamento de Rochas Ornamentais (Mármore e Granitos) na construção civil.** IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu - Paraná. 7p., 2002.

MOUTRIZ, A. P; GIBSON, A. G. (2006). **Fire Properties of polymer Composite Materials.** Springer, 2006.

NERY, M. A. C.; SILVA, E. A.. **Balço mineral de rochas ornamentais 1988-2000.** [S.I.], 2001. Mimeografado.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C.. **Compósitos Estruturais: Ciência e tecnologia.** Editora Edgard Blücher, 1ed, São Paulo, 2006.

PEITER, C.C. et. al. **Rochas Ornamentais no século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras.** Relatório Técnico sobre o Setor de Rochas Ornamentais do Brasil. Rio de Janeiro: Cetem/Abirochas. 160p, 2001.

REZENDE, M.C.; BOTELHO, E. C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial.** Polímeros, São Carlos, v. 10, n. 2, Jun. 2000.

RIBEIRO, C. E. G. (2011). **Produção de rocha artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster.** 91 f. Mestrado (Mestrado em Engenharia e Ciência Dos Materiais), - Campos Dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 91 p.

RIBEIRO, C. E. G.; RODRIGUEZ, R. J. S.; VIEIRA, C. M. F. (2014 b) **Determination of apparent dry density for ternary mixture of crushed marble waste.** The Minerals, Metals & Materials Society, San Diego, p.83-89.

RIBEIRO, C. E. G. ; RODRIGUEZ, R. J. S. ; VIEIRA, C. M. F. (2014 c). **Production of ornamental compound marble with marble waste and unsaturated polyester.** EPD Congress 2014. 1ed.: John Wiley & Sons, Inc., 2014, v. , p. 129-136.

RIBEIRO, C. E. G. **Desenvolvimento de um mármore artificial alternativo com resíduo da indústria de mármore e poliéster insaturado.** 2015. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.

ROWELL, R.; SANADE A. R.; CAULFREUD, D. F. e JACOLSON, R. E. **Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities.** (1997)

SAAR, L. C. A.. **Aproveitamento de resíduos provenientes da serragem de granitos ornamentais em teares multilâminas para fins de construção civil: Proposta metodológica para confecção de tijolos.** Concurso de Monografia "Arranjo Produtivo Local". 2006.

SANTANA, H. Considerações **Sobre os Nebulosos Conceitos e Definição de Filer em Misturas Asfálticas**. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá – Mato, 1995, Grosso v. 1, 2005.

SANTOS, E. A. (2007). **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Natal – RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 103p.

SCHWARTZ. M. M. (1992). **Composite Materials Handbook**, 2nd edition, McGrawHill Book Company, New York, 1992.

SCHWARTZ, S. H. **Universals in the content and structure of values: theoretical advances and empirical tests in 20 countries**. In: ZANNA, M. (Ed.). Advances in experimental social psychology. New York: Academic Press, 1992. v. 25, p. 1-65.

SOBRINHO, D. S. G. et. al. **Utilização dos resíduos de Rochas Ornamentais na produção de blocos estruturais**. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis - Santa Catarina. 10p., 1999.

SOUZA, J. N.; RODRIGUES, J. K. G.; SOUZA NETO, P. N.. **Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente**, 2004.

STRONG, A. B. (1989). **Fundamental of composite: Materials. Methods, and applications**, Society of Manufacturing Engineeres. Dearbons, ML, 1989.

TANAKA, K.; MINOSHIMA, K.; GRELA, W.; KOMAI, K. **Characterization of the aramid/epoxy interfacial properties by means of pullout test and influence of water absorption**. Composites Science Technology, v. 62, p.2169-2177, 2002.

VIDAL, F. W. H.; ADEODATO, F. J. F.. **Aproveitamento de Blocos de tamanhos despadronizados, através de talha-blocos.** Trabalho apresentado no I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, ES, 2005.

VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, A. F. **Rochas ornamentais do Ceará – Aproveitamento de rejeitos da pedreira asa branca em Santa Quitéria – CE.** I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Bahia, 28/11/2001 a 01/12/2001.

VLACK, L. H. Van. **Princípios de Ciência dos Materiais.** Editora Blücher, São Paulo, 1970.

WEETON, J. W. (1986). **Engineers Guide to Composite Materials, American Society for Metals.** Metals Park, OH, 1986.

WILKERES, J. O., GREENE, J. P. **Steady-State and Dynamic Properties of Concentrated Fiber-Filled Thermoplastics.** Polymer Engineering and Science, MID-November, v. 35, n. 21, p. 1-12., 1995.

WOISHNIS, W. A. (1993). **Engineering Plastics and Composite.** 2nd edition, ASM International, Materials Park. OH, 1993.