



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ERICK RAMON MEDEIROS DO NASCIMENTO

**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO EM COMPÓSITO DE
MATRIZ POLIMÉRICA COM CARGAS MINERAIS**

Orientador: Prof^o. Dr. Daniel Freitas Freire Martins

CARAÚBAS - RN
2015

ERICK RAMON MEDEIROS DO NASCIMENTO

**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO EM COMPÓSITO DE
MATRIZ POLIMÉRICA COM CARGAS MINERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Daniel Freitas Freire Martins -
UFERSA

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCA)
Setor de Informação e Referência

N244p Nascimento, Erick Ramon Medeiros do.

Propriedades mecânicas à tração em compósito de matriz
polimérica com cargas minerais / Erick Ramon Medeiros do
Nascimento -- Caraúbas, 2015.
68f.: il.

Orientador: Profº. Dr. Daniel Freitas Freire Martins.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido.

1. Pedreiras. 2. Pó de pedra. 3. Compósitos poliméricos. I. Título.

RN/UFERSA/BSCA

CDD: 621.2

Bibliotecário: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

ERICK RAMON MEDEIROS DO NASCIMENTO

**PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO EM COMPÓSITO DE MATRIZ
POLIMÉRICA COM CARGAS MINERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 04/12/2015

BANCA EXAMINADORA

	Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins Presidente
	Profª. Me. Ana Cláudia de Melo Caldas Batista Membro
	Profª. Me. Adiana Nascimento Silva Membro
	Prof. Me. Wendell Albano Membro

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, que me guiou e me deu forças durante todo o curso. Que nos momentos mais difíceis me abençoou e me fez seguir em frente, mesmo diante dos obstáculos que surgiram ao longo do caminho.

A toda minha família, que sempre me apoiou e incentivou durante essa jornada. Meu pai, minha mãe, minha irmã, minha namorada, meus avós, tios e primos. Quero agradecê-los por cada conversa, cada conselho, por estarem sempre ao meu lado. Vocês foram importantíssimos, me ajudando a crescer cada vez mais como ser humano.

Agradecer especialmente ao meu pai, Demilson Moraes, que foi o meu maior motivador e entusiasta ao longo de todo o curso, se fazendo sempre presente em todos os momentos. Ao senhor, que vivenciou inúmeras situações lado a lado comigo, o meu muito obrigado. É pelo senhor que estou aqui e essa conquista é sua também. Te amo demais.

A professora Ana Claudia Batista, que iniciou e prosseguiu com minha orientação, tendo depois que se afastar por motivos de força maior. Muito obrigado pelo comprometimento, dedicação e incentivo na elaboração deste trabalho, se mostrando sempre atenciosa e principalmente paciente com as dúvidas que surgiam. Os meus sinceros agradecimentos por contribuir para o meu crescimento pessoal e intelectual.

Ao professor Daniel Freitas, que assumiu minha orientação. Obrigado por toda a ajuda, se mostrando sempre presente ao longo do projeto.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por toda estrutura prestada, contribuindo para uma melhor formação de seus discentes e ao excelente corpo docente da universidade.

Agradecer a todos os meus amigos, tanto os antigos quanto os que fiz na UFERSA, amigos estes que pude compartilhar os mais variados momentos, bons e ruins. Todos vocês me ajudaram bastante e têm grande contribuição nessa conquista. Obrigado a todos.

Ao meu pai, Demilson, que ao longo de todo o curso foi meu maior incentivador e amigo. Esse trabalho também é do senhor pai. Te amo demais.

Seja a mudança que você quer ver no mundo.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Com o passar do tempo, a sociedade moderna evoluiu e cresceu consideravelmente, sempre buscando novas formas de avançar e usufruir daquilo que tinha em mãos. Com esse grande avanço, também vieram à tona grandes problemas, que devem ser levados em conta, como a correta utilização do meio ambiente. A busca por materiais mais resistentes e sustentáveis têm sido objeto de foco na tentativa de reduzir parte desses impactos ambientais. No Rio Grande do Norte, existe uma grande concentração de pedreiras, e praticamente todas elas descartam seus rejeitos livremente na natureza, fato que provoca uma série de problemas nas mais diversas escalas. Atendendo a essas solicitações, destacam-se os materiais compósitos poliméricos, que utilizando rejeitos oriundos das pedreiras, visam à criação de novos materiais ecológicos. Logo, o presente trabalho teve como objetivo estudar e avaliar as propriedades mecânicas à tração em compósito de matriz polimérica com cargas minerais, através dos resultados obtidos por meio de ensaios mecânicos da resistência mecânica à tração uniaxial, seguindo a norma ASTM D638. Percebe-se que a fração da carga mineral e o tipo de carga influenciam de forma significativa características mecânicas dos compósitos, como aumento da rigidez e módulo de elasticidade dos materiais.

Palavras Chave: Pó de pedra, propriedades mecânicas, compósitos.

ABSTRACT

In the course of time, modern society has evolved and grown considerably, always seeking new ways to move forward and make use of what was at hand. With this major breakthrough, also came to light major problems, that must be taken into account, such as the proper use of the environment. The search for more resilient and sustainable materials have been the focus object in the attempt to reduce some of these environmental impacts. In Rio Grande do Norte, there is a large concentration of quarries, and practically all of them discard their waste freely in nature, a fact that causes a series of problems in the most diverse scales. In view of these requests stands out the polymeric composite materials, that using wastes coming from the quarries, aimed at creating new environmentally friendly materials. Therefore, this study aimed to study and evaluate the mechanical properties of tensile strength in polymer matrix composite with mineral fillers, through the results obtained through mechanical tests of mechanical resistance to uniaxial tensile, following ASTM D638. It is noticed that the fraction of the mineral filler and the type of load significantly influence mechanical properties of the composites, such as increased stiffness and material modulus of elasticity.

Keywords: Stone dust, mechanical properties, composites.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de Calcário de diferentes regiões.....	24
Tabela 2 - Resultado Quantitativo - Granito.	52
Tabela 3 - Resultado Quantitativo - Calcário.	52
Tabela 4 - Propriedades mecânicas dos CP's de resina pura.	53
Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos CP's de calcário 10%.	54
Tabela 6 - Propriedades mecânicas dos CP's de calcário 30%.	55
Tabela 7 - Propriedades mecânicas dos CP's de granito 10%.....	56
Tabela 8 - Propriedades mecânicas dos CP's de granito 30%.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	18
Figura 2 - Acúmulo de pó de pedra em pedreiras.	20
Figura 3 - Lavagem da brita.	20
Figura 4 - Resíduos gerados no processamento das pedras.....	21
Figura 5 - Tipos de rochas exploradas em pedreiras no Brasil para a obtenção de brita.	22
Figura 6 - Minerais componentes do Calcário: (a) Dolomita; (b) Silicato de Cálcio; (c) Grafite; (d) Mica; (e) Quartzo.	22
Figura 7 - Principais ocorrências de granitos.	25
Figura 8 - Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimento.....	28
Figura 9 - Classificação dos materiais compósitos.....	31
Figura 10 - Classificação dos compósitos com relação à matriz.....	32
Figura 11 - Classificação dos tipos de matrizes.	33
Figura 12 - Aplicações dos polímeros termofixos.....	34
Figura 13 - Aplicações dos polímeros termoplásticos.....	35
Figura 14 - Tipos de reforço.....	36
Figura 15 - Material utilizado como reforço - Granito.....	39
Figura 16 - Material utilizado como reforço - Calcário.	39
Figura 17 - Processo de Peneiramento.	41
Figura 18 - Ilustração das placas de vidro utilizadas como molde.....	42
Figura 19 - Aplicação do desmoldante (b) no molde de vidro (a).	43
Figura 20 - Grampo tipo “C” (b) usado para prender o molde (a).	43
Figura 21 - Passo a passo do corpo de prova de resina pura.	44
Figura 22 - Passo a passo do corpo de prova de granito.	46
Figura 23 - Placa de calcário desmoldada.	49
Figura 24 - Máquina de tração.....	50
Figura 25 - Corpos de prova testados: (a) Resina pura; (b) Calcário 10%; (c) Granito 10%; (d) Calcário 30%; (e) Granito 30%.....	51
Figura 26 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de resina pura.	53
Figura 27 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 10% de Calcário.	54
Figura 28 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 30% de Calcário.	55
Figura 29 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 10% de Granito.	56
Figura 30 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 30% de Granito.	57

Figura 31 - Gráfico Tensão x Deformação comparando Os CP's de Resina Pura, C_10 e C_30.	58
Figura 32 - Comparativo entre os CP's de resina pura, C_10 e C_30: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.....	59
Figura 33 - Gráfico Tensão x Deformação comparando Os CP's de Resina Pura, G_10 e G_30.	60
Figura 34 - Comparativo entre os CP's de resina pura, G_10 e G_30: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.....	61
Figura 35 - Gráfico Tensão x Deformação comparando os CP's de C_10 e G_10.....	62
Figura 36 - Comparativo entre os CP's de C_10 e G_10: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.....	63
Figura 37 - Gráfico Tensão x Deformação comparando os CP's de C_30 e G_30.....	64
Figura 38 - Comparativo entre os CP's de C_30 e G_30.	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVO GERAL	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 IMPACTO AMBIENTAL – RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
2.2. PEDREIRAS	20
2.2.1. Calcário	22
2.2.2. Granito.....	24
2.3. MATERIAIS FABRICADOS UTILIZANDO PÓ DE PEDRA.....	27
2.3.1. Construção Civil.....	27
2.3.2. Utilização em polímeros.....	29
2.4. Compósitos.....	29
2.4.1. Matriz	31
2.4.1.1. Poliéster	35
2.4.1.2. Reforço	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS NOS COMPÓSITOS	39
3.3. GRANULOMETRIA	40
3.4. FABRICAÇÃO DO MOLDE	41
3.5. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO	42
3.5.1. Preparação do molde	42
3.5.2. Corpo de prova de resina pura.....	44
3.5.3. Corpo de Prova de Granito.....	46
3.5.4. Corpo de Prova de Calcário	48
3.6. ENSAIO DE TRAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52

4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO GRANITO E CALCÁRIO POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X - FRX	52
4.2. DESEMPENHO MECÂNICO NA TRAÇÃO UNIAXIAL PARA OS CP'S DE RESINA PURA.....	53
4.3. DESEMPENHO MECÂNICO NA TRAÇÃO UNIAXIAL PARA OS CP'S DE CALCÁRIO 10%	54
4.4. DESEMPENHO MECÂNICO NA TRAÇÃO UNIAXIAL PARA OS CP'S DE CALCÁRIO 30%	55
4.5. DESEMPENHO MECÂNICO NA TRAÇÃO UNIAXIAL PARA OS CP'S DE GRANITO 10%	56
4.6. DESEMPENHO MECÂNICO NA TRAÇÃO UNIAXIAL PARA OS CP'S DE GRANITO 30%	57
4.7. COMPARATIVOS	58
4.7.1. Influência da porcentagem na composição de cada material	58
4.7.1.1. Calcário.....	58
4.7.1.2. Granito	60
4.7.2. Influência do tipo de material para cada porcentagem.....	62
4.7.2.1. Composição 10% de pó de pedra	62
4.7.2.2. Composição 30% de pó de pedra	64
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, uma questão relevante na sociedade moderna é a preocupação com o meio ambiente. Ao longo dos anos se extraíram muitos recursos naturais de forma inadequada, e como consequência disso surgiram problemas relacionados às ações humanas de degradação. Grande parte dessas ações está relacionada ao indevido destino dos resíduos gerados pelas mais diversas atividades. Da Costa (2011, p.16) afirma que: “No desenvolvimento das várias atividades vivenciadas pelo homem, dentre elas, as sociais, residenciais, comerciais, industriais, entre outras, uma enorme quantidade de resíduos é produzida e descartada retornando ao meio ambiente. [...]”.

Na região oeste do Rio Grande do Norte, um dos problemas ambientais, no que diz respeito aos resíduos sólidos, é gerado pelas pedreiras, onde a industrialização do minério de pedra bruta produz o pó da pedra, que não é usado em outros processos e acaba por se acumular em toda área ao redor, criando inúmeros problemas. Além disso, de acordo com Bacci *et al.* (2006), os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local.

Novas alternativas surgem para sanar esse problema. Uma dessas alternativas seria uma busca para uso do pó de pedra em algum processo. Alguns trabalhos na área relacionaram cargas minerais em materiais de matriz polimérica, como por exemplo, os trabalhos de Lima (2007), Santos (2007) e Filho (2015).

Diante disso, este trabalho estudou as consequências ambientais geradas pelo acúmulo de pó de pedra atual e propõe a utilização desse rejeito como carga mineral (granito e calcário) em um compósito de matriz polimérica (poliéster). A caracterização mecânica foi realizada através do ensaio de tração, seguindo a norma ASTM D638 (Ensaio de tração para plásticos).

1.1 Justificativa

Os problemas ambientais gerados devido ao acúmulo de resíduos são preocupantes, afetando diretamente ao meio ambiente e à população. Tentando minimizar o impacto

ambiental gerado pelo pó de pedra, o projeto buscará uma utilização para o mesmo, reduzindo assim o seu acúmulo no meio.

Para início de estudo, foi identificado o problema dos rejeitos de pó de pedra, mais especificamente em pedreiras da região oeste potiguar, observando a forma como esse material é descartado e seu possível aproveitamento. Posteriormente, esses materiais foram utilizados como componente para a fabricação de placas, onde o material foi escolhido o poliéster, por ser um dos polímeros mais usados em matrizes de compósitos, por ser facilmente combinado a outros materiais, de fácil manuseio e de baixo custo. Estudá-lo com a adição de cargas minerais de pó de pedra será uma oportunidade de entender suas características e suas vantagens em relação aos materiais convencionais.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um material e comparar suas propriedades com o poliéster, utilizando resíduos minerais, oriundos do rejeito das pedreiras, buscando diminuir seu acúmulo e assim, minimizar os efeitos dos impactos ambientais ocasionados.

1.3 Objetivos Específicos

- Desenvolver um novo material, e comparar com a resina de poliéster, com frações de 10% e 30% de calcário e granito, e realizar a caracterização mecânica dos mesmos;
- Verificar o efeito da adição de cargas minerais (pó de pedra) nas propriedades mecânicas do poliéster.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho abordará entre outros pontos os impactos que são causados pelo acúmulo de resíduos sólidos no meio ambiente, sejam esses resíduos produzidos em áreas urbanas ou em outros locais; Será visto o acúmulo excessivo de pó de pedra nas pedreiras, com ênfase no calcário e no granito, que são os materiais mais utilizados e, conseqüentemente os mais desperdiçados.

Também será discutida nesta seção a situação das pedreiras da região médio oeste do Rio Grande do Norte, fonte de matéria-prima para fabricação de diversos produtos e objeto de estudo. Por meio deste, os rejeitos obtidos serão usados na criação de novos materiais, buscando características que sejam úteis.

2.1 Impacto ambiental – Resíduos Sólidos

O meio ambiente é um fator essencial na vida de qualquer ser vivo, e sua preservação é de suma importância para a ordem do planeta como um todo, bem como suas possibilidades. Dominguez (1994) *apud* Pereira (2004) afirma que o ambiente natural é aquele que compreende o mundo físico e biológico existente fora da sociedade, e o ambiente social é aquele que surge da matriz da população e sua cultura. Ambas devem coexistir dentro dos limites da comunidade. Diz que o ambiente construído compreende as estruturas feitas pelo homem e fornecem um local para trabalho e vida da população.

Enquanto que aspecto ambiental de acordo com a norma NBR ISO14001 (ABNT, 2004), é definido como um elemento da atividade, de produtos e/ou serviços de uma organização que possa interagir com o meio ambiente, fica a cargo da organização identificar os aspectos ambientais de seus produtos, processos e serviços ao estabelecer um sistema de gestão ambiental. Sendo assim, o aspecto tanto pode ser uma atividade executada, como uma máquina ou equipamento, os quais geram ou possam gerar algum efeito sobre o meio ambiente, o chamado impacto ambiental.

Já o impacto ambiental, definido pela resolução CONAMA001/86, Artigo 1º, considera qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. Dentro de uma organização, pode-se

dizer que esses impactos são as alterações causadas por todos esses efeitos, sejam eles benéficos ou maléficos.

Outras definições de impacto ambiental são relevantes como, por exemplo, Brasil (1996) salientando, “que o impacto ambiental pode ser a alteração das características do meio ambiente, que resulte das atividades humanas e, que direta ou indiretamente afetem: a saúde, segurança e bem estar das pessoas [...]” e segundo Barbieri (2007), o impacto ambiental refere-se às alterações no meio físico, biótico e social que decorrem de ações humanas em andamento ou propostas.

Tendo em vista a resolução CONAMA 306/2002, que define meio ambiente como o conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas, entende-se que, todos os aspectos e impactos ambientais podem gerar efeitos que abrangem o todo: economia, sociedade e meio ambiente.

A preocupação com o impacto ambiental é nítida e podem-se destacar vários trabalhos na área, que buscam minimizar os impactos causados no meio, como Dos Santos e Martins (2002), que trata do problema não só no elo ambiental, mas também no jurídico, afirmando que é preciso relacionar ambos os lados para uma maior preservação. Já Valerio *et al.* (2008) comenta que é preciso uma melhor interação dos agentes econômicos da sociedade e a adoção de modelos de gestão de outros países para que haja uma melhora significativa na preservação do meio ambiente. Menossi (2004) trata da questão do aproveitamento de materiais, onde usou finos de materiais gerados de sobras de processos em elementos estruturais de excelente uso, como concreto e asfalto.

Dentre os impactos ambientais, um dos mais preocupantes é devido ao acúmulo de resíduos sólidos. De acordo com Demarjovic *apud* Valerio *et al.* (2008):

A geração de resíduos sólidos é um dos problemas mais agravantes da sociedade contemporânea, reforçado pelo crescimento gradativo e desordenado da população, pela aceleração do processo de ocupação do território urbano e pelo crescimento acentuado dos bens de consumo popularizados pelo aumento da produção industrial. A política de gestão de resíduos deve atuar de forma não só a garantir a coleta, o tratamento e a disposição, mas principalmente deve estimular a produção de uma menor quantidade de resíduos desde a sua geração. A política ambiental deve ter como prioridade um “ecological cycle management”, um sistema circular no qual a quantidade de resíduos reaproveitados seja cada vez maior e a de resíduos gerados, cada vez menores.

Atualmente, um dos problemas mais sérios enfrentados pela comunidade é o lixo urbano, como se pode ver na Figura 1. Devido ao constante crescimento da população, uma

quantidade maior de insumos é produzida para suprir a demanda, exigindo assim um processo de industrialização das matérias-primas, transformando depois esses produtos em produtos industrializados e consequentemente gerando resíduos sólidos, com sérios efeitos para o meio ambiente e para a qualidade de vida da coletividade (FONSECA, 1999).

Figura 1 - Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).



Fonte: <http://www.blogdoserido.com.br/municipios-nao-devem-cumprir-prazos-da-lei-de-residuos-solidos/>.

No século XXI, com o crescimento acentuado da população e das atividades industriais, muitos fatores surgem como consequência. Destacam-se alguns trabalhos relacionados, como Vanzin (2006), que cita uma demanda cada vez maior de energia e, consequentemente, o aumento do descarte de resíduos sólidos, fato que pode gerar muitos problemas ambientais. Sewell (1978) relata que a utilização dos recursos naturais pelo ser humano ocorre continuamente desde a sua existência, tanto para fins de sobrevivência como para comercialização. No entanto, a utilização desses recursos têm determinado modificações ao longo do meio em que estes se distribuem. Da Luz (2008) fala que por limitações de conhecimento ou de tecnologia, as práticas humanas vêm causando os problemas ao ambiente, tais como a poluição da água, poluição do ar, ruído, acúmulo de resíduos sólidos e outros efeitos.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) define como resíduos nos estados sólidos e semissólidos:

Os que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de variação. Considera-se também como resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição bem como, determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento em redes públicas de esgotos ou corpos receptores (ABNT, 2004).

Atualmente, a geração de resíduos industriais tem gerado muitos problemas ambientais em função do seu descarte inadequado, seja por falta de iniciativas ou por questões econômicas. Por esse motivo, medidas que estimulem e reduzam os custos ambientais para o reaproveitamento desses materiais são necessárias, em parceria com políticas de conscientização que visem mudar o comportamento em larga escala no que se refere ao tratamento dos resíduos sólidos industriais (DA LUZ, 2008). Dentre os resíduos sólidos industriais, no médio oeste potiguar, se destaca o pó de pedra.

De acordo com a nomenclatura usada pela NBR 7225 da ABNT (1993), “pó de pedra” é um material proveniente do britamento de pedra, com dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm podendo ser chamada ainda de “areia artificial” e “areia de brita”. A diferença entre os nomes está na forma como são processadas. Enquanto que a “areia artificial” passa somente pelo processo de lavagem, a “areia de brita” passa pelo mesmo processo e por rebritadores autógenos, onde a fração maior que 0,075 mm é arredondada por cominuição por impacto, aumentando a quantidade de material aproveitado.

Atualmente, um crescente número de trabalhos tem considerado a questão de rejeitos de pedreiras, em função da relativa abundância nas regiões produtoras, como se pode ver na Figura 2. Trabalhos como o de Almeida e Sampaio (2002) falam da substituição da areia natural pelo pó de pedra como solução para reaproveitamento e diminuição de impactos ambientais. Em países mais desenvolvidos, essa substituição se deu há mais tempo, onde a troca da areia convencional pelo pó de pedra se tornou viável e pôde ser processada e usada em escala comercial.

Figura 2 - Acúmulo de pó de pedra em pedreiras.



Fonte: Menossi (2004).

2.2. Pedreiras

Os problemas gerados nas pedreiras são os mais diversos, Da Luz (2008) afirma que é evidente a necessidade de solucionar os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, como mostrado na Figura 3, já que atualmente, a não incorporação desses resíduos em outros processos industriais, obriga as empresas a manter o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica, indisposição com a circunvizinhança e ocupação indevida do terreno.

Figura 3 - Lavagem da brita.



Fonte: <http://talleresalquezar.es/PT/categoria/instala%C3%A7%C3%B5es-fixas-de-lavagem/62>.

Segundo De Sousa (2007), as diversas etapas de produção a partir da pedra bruta geram resíduos da ordem de 30 a 40% da matéria prima total. Atualmente, as empresas do setor de um modo geral têm procurado formas de obedecer às leis ambientais, Mas a quantidade de resíduos jogada diretamente em lagoas e rios é grande. Apesar da lama de serragem dos blocos de mármore e granito – que geralmente são os mais utilizados como matéria prima - não serem considerados resíduos perigosos, constituem um sério problema ambiental. Campos *et al.* (2013) fala que os resíduos grossos das pedreiras, normalmente são constituídos de blocos de tamanhos irregulares, blocos com defeitos, pedaços de blocos, casqueiro (material retirado do bloco por ocasião do aparelhamento dos mesmos), lascas de rochas, entre outros. Os resíduos grossos das serrarias e marmorarias são constituídos principalmente de aparas (material resultante do aparelhamento das placas), pedaços de peças e lascas de rocha. A figura 4 mostra resíduos gerados das pedreiras.

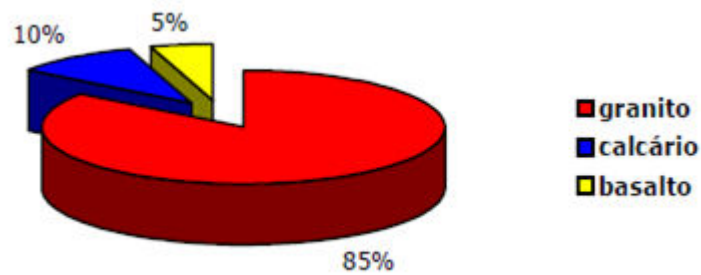
Figura 4 - Resíduos gerados no processamento das pedras.



Fonte: <http://municipio.mondimdebasto.pt/index.php/turismo/para-visitar/7-menu-turismo/menu-turismo/121-exploracao-de-recursos-naturais>.

De acordo com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e com a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Produção (ANEPAC), *apud* Poletto (2006), para a exploração de brita usam-se diversos tipos de rochas, mas no Brasil as mais usadas são: granito, calcário e basalto, como mostra a Figura 5. Dentre as citadas, serão destacadas as rochas de granito e calcário, por serem as mais utilizadas no médio oeste potiguar.

Figura 5 - Tipos de rochas exploradas em pedreiras no Brasil para a obtenção de brita.



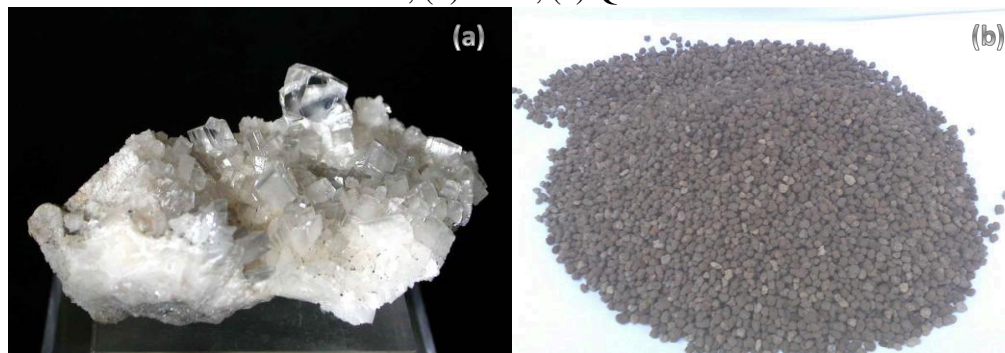
Fonte: Adaptado de DNPM-ANEPAC. (2004)

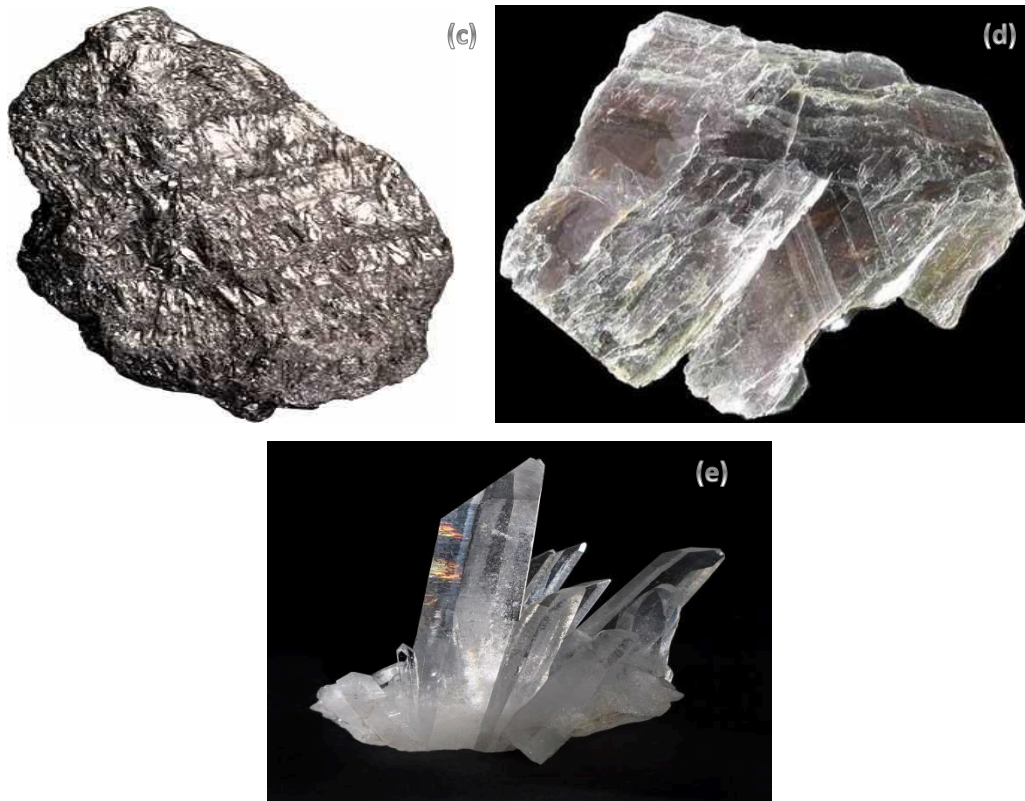
2.2.1. Calcário

O Calcário é uma rocha sedimentar formada em sua maior parte por carbonato de Cálcio. Também pode aparecer na forma de calcita ou aragonita (DA SILVA, 2008, p. 33).

Os Calcários, conforme sua origem são classificados em dois tipos: metamórficos e sedimentares (HOLANDA *et al.*, 1987). Nos calcários metamórficos são encontrados os seguintes minerais: dolomita, silicatos de cálcio (actinolita/tremolita, diopsídio, epidoto), grafite e mica. Nos calcários sedimentares, encontram-se: dolomita, quartzo, micas e argilominerais. A figura 6 mostra os minerais presentes nos dois tipos de calcário.

Figura 6 - Minerais componentes do Calcário: (a) Dolomita; (b) Silicato de Cálcio; (c) Grafite; (d) Mica; (e) Quartzo.





Fonte: Google.

Ainda de acordo com Holanda *et al.* (1987), a crosta terrestre praticamente não existem calcários puros, compostos unicamente por carbonato de cálcio. Geralmente, há a substituição do cálcio por outros cátions.

O calcário é um dos minérios produzidos em maior quantidade no Brasil, perdendo somente para os agregados (Areia, brita e minério de ferro), segundo Parente (2004). De acordo com critérios do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) *apud* Brasil (2000), as minas brasileiras de grande porte, cerca de 25% das extrações são de calcário.

Para Klein (2002), o calcário é um minério composto por calcita e carbonato de cálcio (CaCO_3). Entretanto, a calcita apresenta uma estrutura cristalina ligeiramente diferente da teórica, fato que também ocorre na sua composição química. Isso se dá porque o cálcio é substituído em soluções sólidas por cátions de ferro, zinco, manganês, estrôncio e, principalmente, magnésio. A tabela 1 mostra algumas destas diferenças, que relacionadas ao cristal de CaCO_3 acabam por influenciar nas propriedades do calcário e na sua composição.

Tabela 1 - Composição de Calcário de diferentes regiões.

Material Calcário	Teores Totais		
	CaO (%)	MgO (%)	CaCO ₃ Equivalente
Calcário Itaú	47,2	5,1	96,8
Calcário Limeira	27,6	19,2	96,9
Calcário Taubaté	31,7	19,7	105,4

Fonte: Gallo *et al.* (1956).

2.2.2. Granito

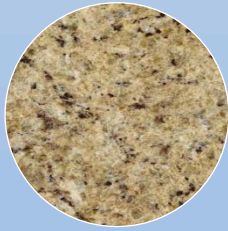
Para o Panorama de Rochas Ornamentais na Bahia (1994) o granito é definido tecnicamente como rocha ígnea uniforme de textura granular constituída de quartzo, feldspato e mica. Santos (2005) define Granito como rochas magmáticas que ocorrem tanto sob a forma de maciços rochosos (afloramento principal da rocha) quanto em matacões (blocos arredondados de afloramento secundário).

Ainda de acordo com Santos (2005) os minerais formadores dos granitos são definidos por associações variáveis de quartzo, feldspatos, micas, piroxênios e anfibólios, com diversos minerais proporções reduzidas. Normalmente o quartzo é translúcido, incolor ou fumê. Os feldspatos conferem aos granitos a coloração avermelhada, rosada ou creme-acinzentada. A cor negra é conferida principalmente por teores variáveis de mica (biotita), piroxênio e anfibólio impregnados na matriz das rochas.

Existe uma grande variedade de granitos no mercado comercial. Essas variedades vão desde o “granito comum”, constituído quase que só por feldspatos potássicos, até o granodiorito, constituído principalmente por feldspatos plagioclásios. Os granitos considerados verdadeiros são aqueles onde o feldspato potássico excede o feldspato plagioclásio na rocha. Dentre as características de cada tipo de granito, a que mais chama a atenção é sua cor. Por meio dela sabe-se que materiais a compõem e qual a sua concentração.

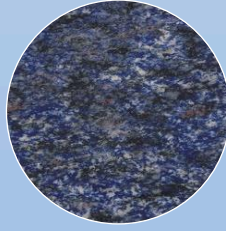
Dos Santos (2008) diz que nos granitos amarelos, por exemplo, o hidróxido de ferro é o responsável pela coloração, oriundo do intemperismo na rocha. Já o granito azul é formado a partir de um nefelina sienito submetido a processos metassomáticos envolvendo como fluido principal o cloro. O granito branco é decorrente do processo de albitização (transformação do feldspato em albita), alterando quimicamente a composição da rocha. A figura 7 mostra as principais formas de granito.

Figura 7 - Principais ocorrências de granitos.



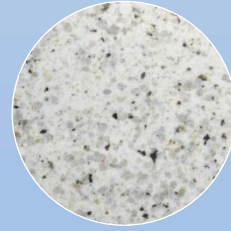
Granito Amarelo:

Originado do intemperismo com presença de hidróxido de ferro, que é o responsável pela coloração amarelada. Encontrado nos estados de CE, ES, MG, PE e RJ.



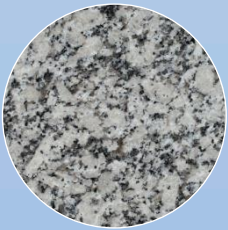
Granito Azul:

A Sodalita é a responsável pela coloração azul do granito. Sua ocorrência se dá a partir de um nefelina sienito submetido a processos metassomáticos envolvendo fluidos. Encontrado nos estados da BA, RO e SP.



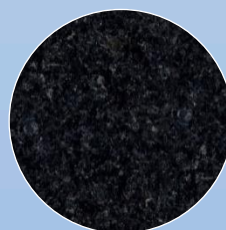
Granito Branco:

Resultado do processo de albitização (transformação de feldspatos em albitas), a cor branca é decorrente de alterações químicas na composição mineralógica. Encontrado nos estados de AL, BA, CE, PE, RJ e RN.



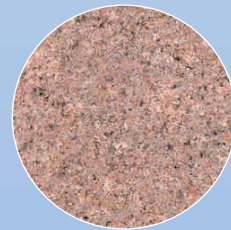
Granito Cinza:

Nesse tipo de granito, a coloração cinza ocorre devido a partes não alteradas dos corpos graníticos. Encontrado nos estados da BA, CE, ES, MT, PE, RJ e SC.



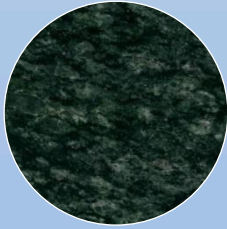
Granito Preto:

Comercialmente um dos granitos mais utilizados, é composto amplamente por minerais como feldspato e sílica, daí a cor escura. Encontrado nos estados da BA, ES, CE, MG, SP e SC.



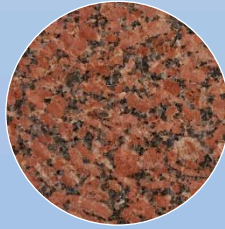
Granito Rosa:

Semelhante aos granitos vermelhos, os granitos rosas se diferenciam por apresentarem feldspatos potássicos ovóides cobertos por plagioclásios sódicos, com composição ao redor do oligoclásio., sendo chamados de rapakivi. É encontrado nos estados de AL, CE, ES, SP, MG, PB e RJ.



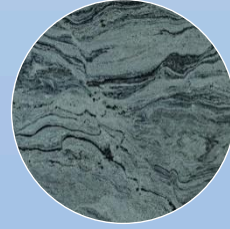
Granito Verde:

Sua tonalidade verde se dá pela presença de feldspato e quartzo na composição. Encontrado nos estados da BA, CE, ES, MG, SP e PR.



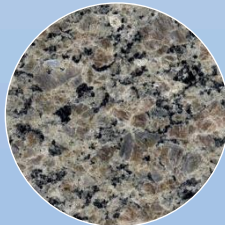
Granito Vermelho:

Esteticamente um dos granitos mais belos. Características dos minerais constituintes e da sua granulação grossa e isotrópica. Encontrado nos estados da BA, CE, MG e PE.



Granitos Movimentados:

São rochas metamórficas, como gnaisses e xistos, com estruturas tectônicas proeminentes, que são as responsáveis pelos movimentos no desenho das peças. Um dos tipos de granito mais exóticos. Encontrado nos estados da BA, CE, ES, MG, PE, RN e RO.



Granitos Diversos:

São aqueles granitos que não se enquadram nas cores e estruturas listadas anteriormente, sendo encontrados com uma certa dificuldade. Os estados que contêm esse tipo de material são ES, RJ, RS, SC e SP.

Fonte: Adaptado de Dos Santos (2008).

2.3. Materiais fabricados utilizando pó de pedra

Na engenharia, a preocupação ambiental com a necessidade de incentivo em políticas de reaproveitamento, muito vem sendo feito a fim de minimizar possíveis impactos, e muitos trabalhos vêm sendo produzidos na área, em busca de soluções. Dento da área de aproveitamento de resíduos sólidos, pó de pedra, pode-se destacar alguns trabalhos descritos a seguir.

2.3.1. Construção Civil

Silva e Vidal (2003) estudaram a possibilidade de algumas pedreiras da região de Sobral, no Ceará, realizarem o aproveitamento dos rejeitos da extração. Na região existe um grande número de pedreiras que gera enormes quantidades de rejeitos, causando sérios problemas tanto ambientais quanto na lavra. Normalmente as pilhas de rejeitos são depositadas no pátio da pedreira, mas o acúmulo exagerado vinha dificultando as futuras atividades das frentes de lavra, além de implicar em agressão ambiental. Como na região não existe a atividade de produção de pedra, foram criadas pequenas instalações processamento para a confecção dos diversos produtos, a maioria para uso na construção civil, como materiais para preenchimento de alicerces, muro de arrimo, paralelepípedo, pedra tosca para calçamento, cascalho para aterro, britas e pós em geral, como mostra a figura 8. A iniciativa além de benéfica ambientalmente, ainda se tornou fonte de emprego e renda para a população local. O processamento dos rejeitos é realizado em áreas fora das atuais concessões de lavra, e transportado por caminhões para um lugar determinado e distante, para não haja interferência com os trabalhos de lavradas rochas ornamentais.

Figura 8 - Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimento.



Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000400393.

Cajaty *et al.* (2001) estudaram os rejeitos de pedreiras de algumas regiões do Ceará, através da unidade de talha-blocos de pequeno porte para produzir ladrilhos (800 m²/ mês) com dimensões 30x30 cm e 40x40 cm de espessuras variando de 5 a 10 mm. A matéria-prima foi desbastada na forma cúbica de pequenos blocos com arestas de 0,45 metros e que apresentassem boa simetria entre as duas faces adjacentes. Os blocos aproveitados das pilhas de rejeitos foram transformados em bloquetes que são beneficiados também usados na produção de ladrilhos de rochas ornamentais, evitando o desperdício do material. Nos estados do Ceará e Bahia já existem empresas que produzem ladrilhos para pisos e revestimentos nas dimensões absorvidas pelo mercado local e nacional, a partir de blocos fora de padrão e de tamanho variado.

Almeida e Pontes (2002) estudaram os rejeitos finos gerados nas serrarias de mármore e granitos, especialmente nos teares da região de Cachoeiro de Itapemirim, no Espírito Santo. Através de processos tecnológicos para aproveitamento destes rejeitos na indústria de cerâmica vermelha e de pré-moldados, o impacto ambiental gerado por esses resíduos acumulados nos tanques e nas barragens foi otimizado nas proximidades das indústrias de beneficiamento.

Gonçalves e Moura (2002) estudaram a utilização dos resíduos da serragem de blocos de mármore e granitos das indústrias de beneficiamento da Bahia como materiais de construção. Carvalho *et al.* (2002) estudaram o aproveitamento dos resíduos finos das serrarias da região de Santo Antônio de Pádua, no Rio de Janeiro. Foram obtidos de

argamassas comuns a colantes depois de feito o processo, fato que reduziu bastante os impactos ambientais na região. Foram feitos também estudos de melhoria nos efluentes da serraria, tendo sido construídos diversos tanques de decantação na região, obtendo efluente limpo com reaproveitamento de água no processo.

2.3.2. Utilização em polímeros

Cada projeto necessita de materiais específicos. Diante disso, devem ser analisadas suas propriedades com o intuito de interligá-los e se chegar a melhor escolha desejada. Em busca de utilidade para materiais antes ociosos, muitos trabalhos se destacam na área.

Lima (2007) analisa por meio de revisões bibliográficas e discussões as interações tanto físicas quanto químicas que ocorrem num compósito, visando obter valores exatos sobre suas propriedades para uso futuro. Ele conclui que para cada carga mineral deve-se fazer um processo de preparação específico, em função de propriedades únicas presentes em cada carga. Santos (2007) foi um pouco mais adiante, e além de analisar as propriedades intrínsecas dos materiais, confeccionou (por meio de moldes) placas com resíduos industriais de poliéster e EVA (etileno acetato de vinila), concluindo que ambas apresentaram boa adesão à matriz de poliéster, sendo viáveis e melhorando a resistência à impacto do composto. De uma maneira semelhante, Filho (2015) fabricou e analisou um compósito polimérico com matriz formada a partir de uma resina ortoftálica reforçada com partículas de sílica tratadas, onde concluiu que quanto maior a concentração de sílica no material, maior será o seu módulo de elasticidade e menor será sua resistência máxima à tração. Concluiu também que a resistência à tração varia de acordo com o tamanho do grão de sílica, onde esse grão sendo menor irá implicar numa maior resistência.

2.4. Compósitos

Os compósitos são caracterizados pela união física e/ou química de dois ou mais elementos, uma matriz e um reforço, capazes de permanecerem distintos. Compósitos em geral são capazes de oferecer propriedades específicas que não seriam alcançadas por cada um de seus componentes quando constituídos separadamente (ASTM D3878-95).

A palavra “compósito” remete à modernidade, porém, há pelo menos cinco mil anos utilizam-se palhas e crina de cavalo para reforçar tijolos de barro (ASHBY e JONES, 2007). Callister (2002) diz que compósito é um material feito artificialmente, exigindo do

pesquisador conhecimentos científicos sobre as propriedades físicas e mecânicas dos materiais individuais (fases), bem como da interação entre ambos, de modo que o produto final venha a resultar num material que atenda os requisitos desejados.

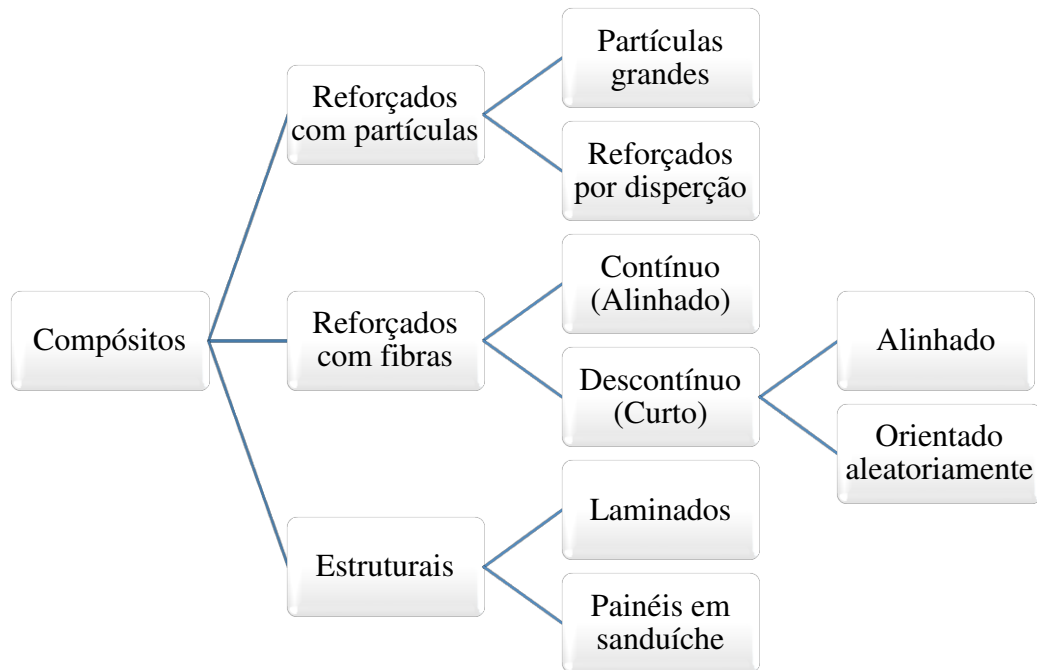
Callister (2002) ainda relata que, tecnicamente, compósitos são materiais que quando combinados, vêm a proporcionar melhorias nas propriedades mecânicas do novo material, e que se configura em uma combinação de materiais multifásicos exibindo uma proporção significativa de propriedades das fases que o constituem. O principal objetivo consiste na obtenção de um material que combina as características de seus componentes apresentando um desempenho estrutural superior quando comparado às fases constituintes isoladamente.

Contudo, a indústria de compósitos ainda é recente. Ela cresceu rapidamente nos últimos 30 anos e hoje as indústrias que fabricam polímeros de alto desempenho reforçados com fibra de vidro, carbono ou Kevlar possuem uma taxa de crescimento mais alta (mais de 10% ao ano) do que praticamente qualquer outro ramo de produção de materiais (ASHBY e JONES, 2007). No Brasil, a aplicação de compósitos se desenvolve principalmente no setor aeronáutico, utilizando esse tipo de material em componentes externos e internos de aviões e helicópteros e, em menor escala, na estrutura de foguetes (RESENDE e BOTELHO, 2000).

Esse forte crescimento da indústria de compósitos poliméricos acontece devido ao aumento na utilização dos polímeros e a possibilidade de modificar fácil e amplamente as características e propriedades finais desse tipo de material, obtendo assim, um desempenho diferenciado. Além disso, existe também o aspecto ambiental, que nos dias de hoje sempre é um ponto a ser respeitado.

Na figura 9 pode-se observar a classificação dos compósitos na sua formação. No trabalho, serão analisados os compósitos reforçados com partículas ou particulados.

Figura 9 - Classificação dos materiais compósitos.

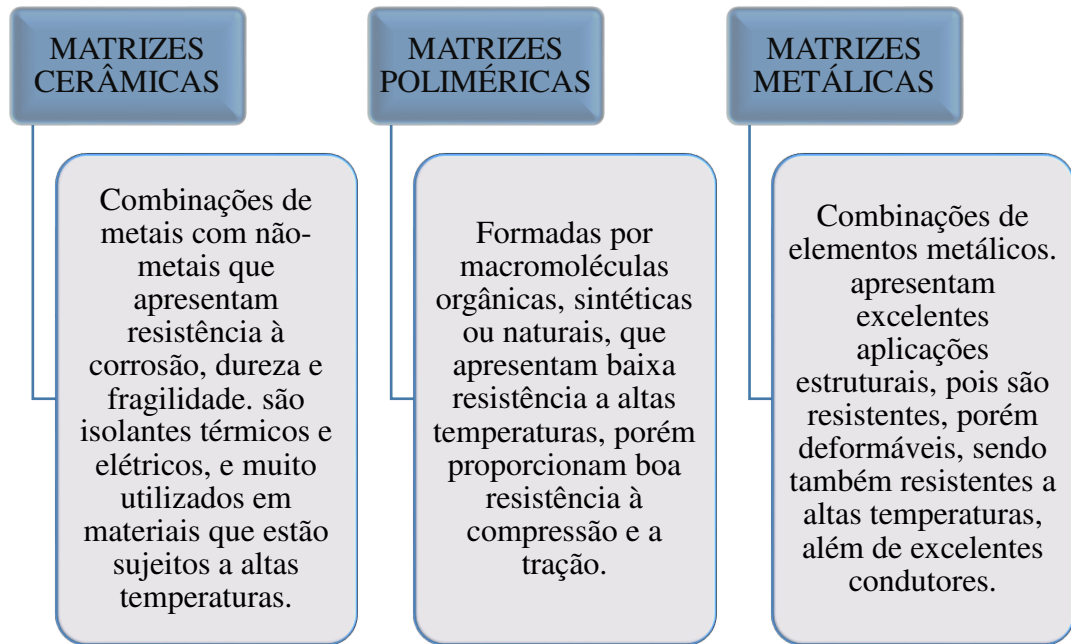


Fonte: Adaptado de Da Silva e Júlio (2013).

2.4.1. Matriz

Para a fabricação dos compósitos, são usadas como matrizes diferentes tipos de materiais. Dentre elas, temos as três principais: matrizes propriamente poliméricas, matrizes metálicas e matrizes cerâmicas. A figura 10 mostra esses tipos.

Figura 10 - Classificação dos compósitos com relação à matriz.



Fonte: Adaptado de Silva (2014).

As matrizes cerâmicas, devido às altas temperaturas envolvidas nos processos de fabricação, apresentam-se em um patamar diferente de utilização das demais. Os materiais compósitos que possuem uma matriz cerâmica são dotados de resistência à oxidação e à deterioração sob temperaturas elevadas (FILHO, 2015).

Souza (2012) afirma que misturas de pós cerâmicos e precursores poliméricos constituem sistemas com enormes vantagens e com potencial para a preparação de compósitos visando a formação de cerâmicas estruturais complexas.

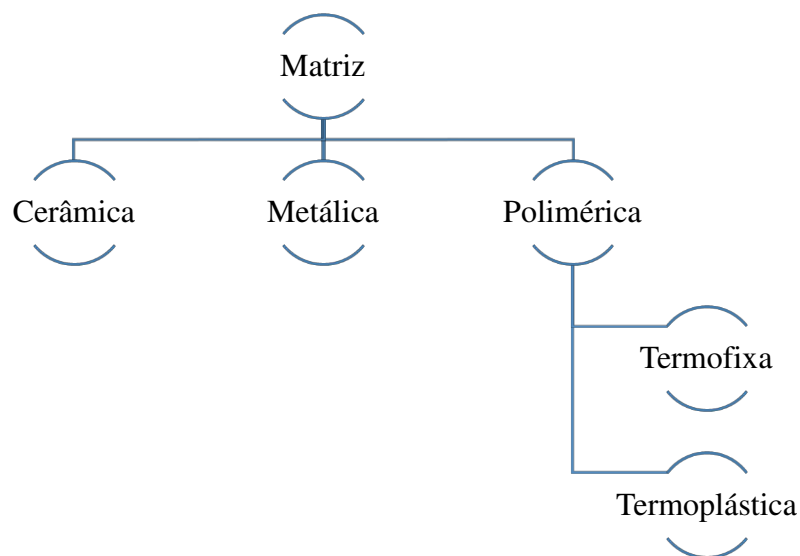
As partículas podem ter uma grande variedade de geometria, porém elas devem possuir aproximadamente as mesmas dimensões em todas as direções. Para que ocorra um reforço eficaz, as partículas devem ser pequenas e devem estar distribuídas por igual ao longo de toda a matriz (CALLISTER, 2002).

As matrizes poliméricas podem ser orgânicas, ou seja, formado por macromoléculas, composto químico formado por “n” unidades estruturais repetidas (meros) as quais dão lugar aos monômeros e essas macromoléculas podem estar unidas mediante forças de alta ou baixa intensidade. As matrizes poliméricas têm como principal função espalhar ou amontoar o reforço para que quando submetida a uma tensão a mesma deva ser capaz de distribuir e transferir as tensões para o componente do reforço (BATISTA, 2013).

Pimenta (1996) afirma que compósitos de matrizes metálicas são melhores utilizados do que compósitos poliméricos em altas temperaturas. Como a densidade dos metais base é baixa, isso possibilita uma resistência e módulo específico alto. Essa combinação de materiais os torna adequados para uso principalmente na indústria aeroespacial e em novas aplicações mecânicas.

De acordo com Callister (2002), os polímeros são divididos de acordo com a sua fusibilidade em função da temperatura, sendo classificados em: termofixos e termoplásticos, como mostra a figura 11. Dentro do projeto será abordada uma matriz polimérica, em função de utilidades específicas. Dentro das matrizes poliméricas temos uma divisão: as matrizes termofixas e as termoplásticas.

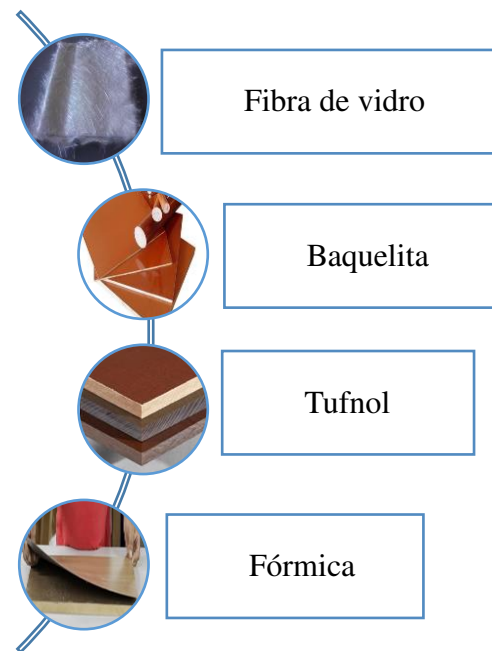
Figura 11 - Classificação dos tipos de matrizes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os Termofixos são polímeros em rede, ou seja, possuem ligações cruzadas covalentes entre as cadeias moleculares adjacentes. São materiais que se tornam permanentemente duros durante a sua formação e não amolecem quando aquecidos novamente. Isso ocorre justamente devido as ligações, que prendem as cadeias umas às outras para resistir aos movimentos de vibração e de rotação em temperaturas elevadas. Os polímeros termofixos são, em geral, mais duros e mais resistentes do que os termoplásticos e possuem uma melhor estabilidade dimensional. As principais aplicações dos polímeros termofixos estão descritas na figura 12:

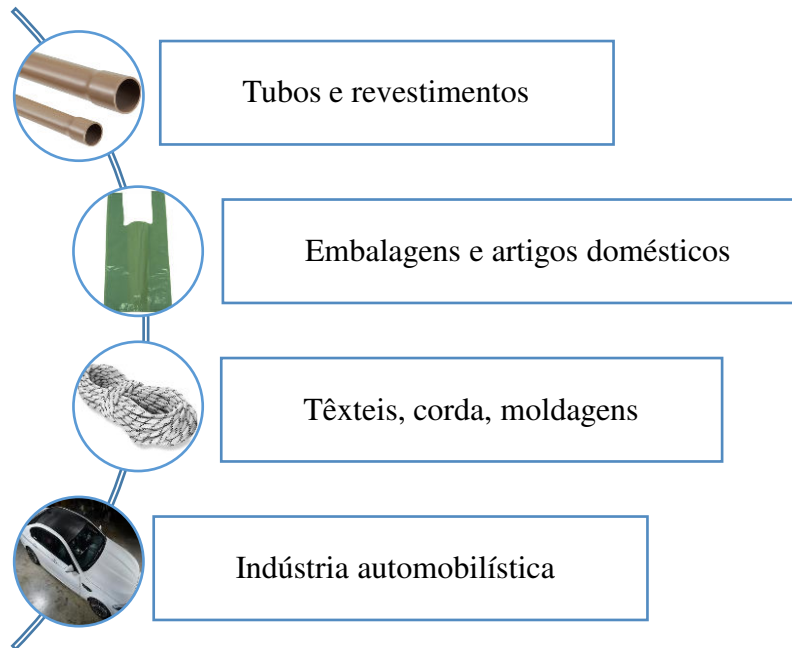
Figura 12 - Aplicações dos polímeros termofixos.



Fonte: Adaptado de Filho (2015).

Os Termoplásticos são polímeros que amolecem quando aquecidos. Devido a esse amolecimento, o material pode ser aquecido por repetidas vezes sem maiores problemas, a explicação está em uma análise em escala molecular, pois na medida em que a temperatura é elevada, as forças de ligação secundárias diminuem (devido ao maior movimento das moléculas), de tal maneira que o movimento relativo de cadeias adjacentes é facilitado quando se aplica uma tensão. Ao se elevar a temperatura rapidamente, o material perde suas propriedades e degrada de forma irreversível. Adicionalmente, os termoplásticos são materiais macios. A figura 13 descreve algumas de suas principais aplicações:

Figura 13 - Aplicações dos polímeros termoplásticos.



Fonte: Adaptado de Filho (2015).

2.4.1.1. Poliéster

Poliésteres são polímeros sintéticos versáteis, encontrados comercialmente como fibras, plásticos, filmes e resina. Dependendo de sua formulação, ausência ou presença de duplas ligações entre os átomos de carbono que formam sua cadeia molecular, eles podem ser classificados como saturados e insaturados. Os saturados são resultado da reação de um biálcool com um biácido saturado, havendo somente ligações simples. Já os insaturados são resultado de ligação entre um ácido insaturado, um ácido saturado e um biálcool, com ligações simples e duplas.

De Castro e Ferreira (2014) definem o poliéster como um tipo de fibra química, que foi desenvolvido para melhorar e copiar as fibras naturais. À medida que as suas aplicações foram se desenvolvendo, ele foi se tornando necessário, principalmente porque a população cresceu e passou a demandar produtos oriundos do poliéster, como roupas, que fossem acessíveis e baratos.

As resinas de poliéster podem ser aplicadas em diversos processos produtivos, como garrafas PET, fibras, filamentos e filmes, o que gera uma grande diversidade de produtos finais presentes em vários setores da indústria, principalmente na área têxtil, como artigos domésticos (cortinas, lençóis). As principais características da resina de poliéster são:

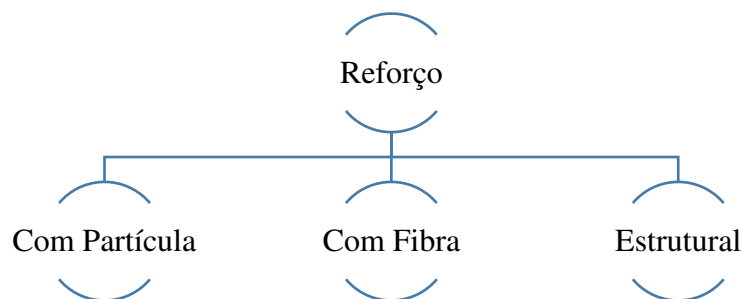
- Estabilidade dimensional;
- Alta resistência a ambientes quimicamente agressivos;
- Ótimas propriedades elétricas e isolantes;
- Fácil pigmentação;
- Não libera materiais voláteis durante a cura;
- Cura a frio.

2.4.1.2. Reforço

Os reforços atuam de modo a complementar as propriedades dos compósitos, como por exemplo aumentar a tenacidade do composto, aumentar a retenção de resistência mecânica, aumentar o coeficiente de dilatação linear e a vida residual.

Os reforços podem ser formados com fibras, com partículas e estrutural, como é mostrado na figura 14.

Figura 14 - Tipos de reforço.



Fonte: Adaptado de Da Silva e Júlio (2013).

Kaw (2006) diz que compósitos reforçados com partículas consistem de partículas imersas em matrizes como ligas metálicas, cerâmicas, elastômeros e polímeros termorrígidos. Como essas partículas ficam dispostas de forma aleatória, o resultado é um compósito isotrópico, ou seja, que apresenta as mesmas propriedades em todas as direções. Algumas de suas vantagens são: resistência mecânica melhorada, maior temperatura de operação, entre outros.

Compósitos reforçados com partículas geralmente apresentam cargas de reforço mais duras e rígidas. Eles podem ser subdivididos em outras duas classificações: compósitos reforçados com partículas grandes e reforçados por dispersão. O termo “grande” é usado para indicar que as interações partícula-matriz não podem ser tratadas no nível atômico ou

molecular, em vez disso é empregada à mecânica do contínuo. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração da carga. Neste caso, a melhoria das propriedades mecânicas está diretamente relacionada a uma ligação forte na interface matriz-partícula (CALLISTER, 2002).

Juvandes (2002) diz que a família dos compósitos reforçados por fibras resulta da união de reforço natural ou sintético com resina termoendurecível cargas de enchimento chamadas “fillers”. Para obter materiais mais avançados, recorre-se a aditivos, como catalizadores. Pimenta (1996) fala que em compósitos reforçados com fibras, muitas vezes são usados metais dúcteis para a fase da matriz. Ligas de alumínio, cobre e titânio têm sido usadas como matriz e reforçados com carbono, carboneto de silício, alumina, boro, borsic e outras fibras metálicas. A concentração de fibras varia de 20% a 50%. Callister (1991) por sua vez fala que os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa encontra-se na forma de uma fibra. Os compósitos reforçados com fibras apresentam resistência e/ou rigidez alta em relação ao seu peso. Essas características são expressas em termos de resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente, às razões do limite de resistência à tração em relação à densidade relativa e ao módulo de elasticidade em relação à densidade relativa.

Ainda de acordo com Callister (1991), Um compósito estrutural é composto normalmente tanto por materiais homogêneos como por compósitos, cujas propriedades dependem tanto dos materiais constituintes quanto do projeto geométrico dos elementos estruturais. Os compósitos laminares e os painéis em sanduíche são os tipos de compósitos estruturais mais comuns.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Afim de analisar as propriedades do compósito polimérico reforçado com partículas de pó de pedra foram utilizados os seguintes materiais e processos:

MATERIAIS E MÉTODOS	Fluorescência de Raios-X	
	Materiais utilizados nos compósitos	Reforço
		Matriz
	Polimérica	Termofixa
		Termoplástica
	Granulometria	
	Fabricação do Molde	
	Confecção dos corpos de prova para ensaio de tração	Preparação do molde
		Corpo de prova de resina pura
		Corpo de Prova de Granito
		Corpo de Prova de Calcário
	Ensaio de tração e preparação dos corpos de prova	

3.1. Fluorescência de Raios-X

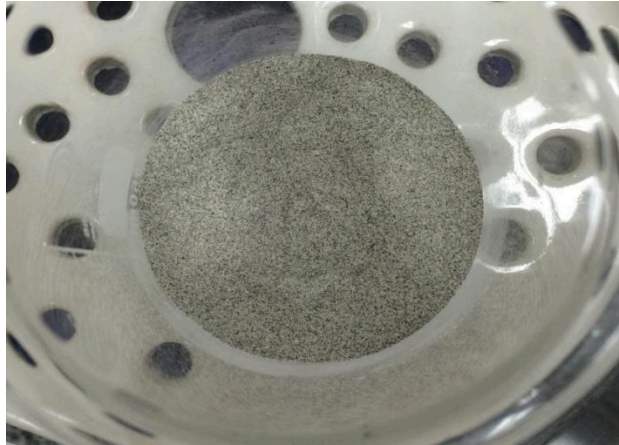
De acordo com Parreira (2006), o método de fluorescência de raios-X (FRX) são transições eletrônicas, que originam raios-X característicos nos átomos, necessários para retirar os elétrons das camadas mais internas dos átomos, camadas essas K, L e M, através do efeito fotoelétrico, e isto é possível fazendo-se incidir sobre a amostra a ser analisada um feixe de radiação. O sistema de fluorescência de raios-X é constituído de uma fonte para a excitação das amostras, um detector que identifica e separa os raios X característicos, uma placa multicanal que registra o espectro obtido e a eletrônica necessária para a alimentação do sistema e amplificação dos sinais provenientes do detector. Para este trabalho, os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

3.2. Materiais utilizados nos compósitos

Os materiais e métodos utilizados para confecção do material proposto foram:

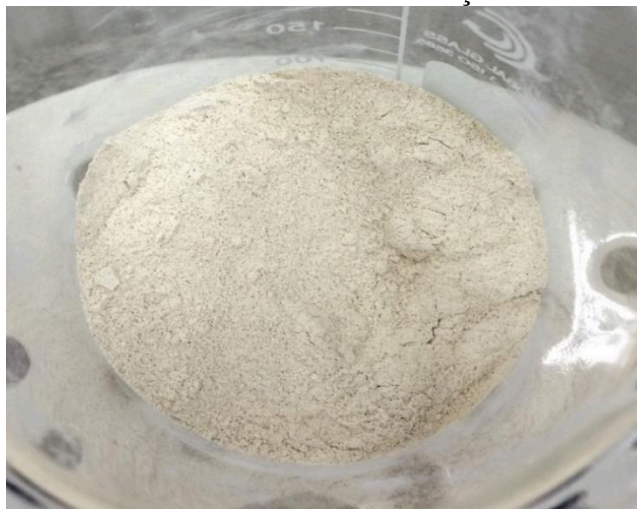
- **Reforço:** Partículas de pó de pedra (calcário e granito) foram usadas como reforço, por apresentarem propriedades úteis ao material. Foi obtida em pedreira do município de Caraúbas-RN. A granulometria realizada foi entre #100 e #200. O ensaio foi realizado na UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). As figuras 15 e 16 mostram os pós de granito e calcário, utilizados, respectivamente.

Figura 15 - Material utilizado como reforço - Granito.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 - Material utilizado como reforço - Calcário.



Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Matriz:** A Resina Poliéster Ortoftálica 5061 foi utilizada como fase matriz deste compósito por apresentar propriedades desejáveis e fácil acesso.

3.3. Granulometria

Almeida *et al.* (2012) define análise granulométrica como a quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de um mineral. A granulometria é dividida em duas partes distintas: análise granulométrica por peneiramento e análise granulométrica por sedimentação.

Ainda de acordo com Almeida *et al.* (2012), o ensaio de granulometria tem como objetivo romper os agregados do solo, liberando as partículas isoladas na suspensão por meio de uma combinação de energia mecânica e química e formando uma suspensão estabilizada para a quantificação após a separação das frações.

Os solos grossos, como areias e pedregulhos, possuem pouca ou nenhuma quantidade de partículas finas e por isso podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento. Em solos possuindo quantidades de partículas finas significativas, deve-se realizar o ensaio de granulometria conjunta, que engloba as fases de peneiramento e sedimentação. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível determinar a construção da curva de distribuição granulométrica, bem como estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade, entre outras.

Foi feito o processo de granulometria nos materiais estudados para o projeto. Ambos os pós (granito e calcário) foram selecionados em peneiras #100 e #200, como mostra a figura 17.

Figura 17 - Processo de Peneiramento.



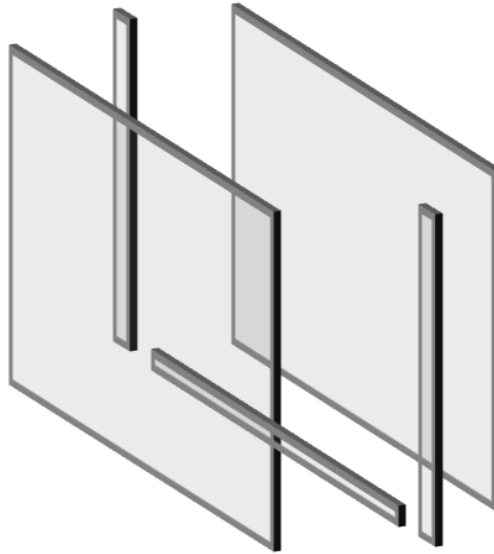
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4. Fabricação do Molde

Foram fabricadas placas de vidro (como mostra a figura 18) com a finalidade de molde para realização da fabricação dos materiais propostos. As dimensões e quantidades das placas são:

- 02 placas de 40 cm X 02 cm, com 03 mm de espessura;
- 01 placa de 38 cm X 02 cm, com 03 mm de espessura;
- 01 placa de 40 cm X 40 cm, com 08 mm de espessura;
- 01 placa de 35 cm X 40 cm, com 08 mm de espessura.

Figura 18 - Ilustração das placas de vidro utilizadas como molde.



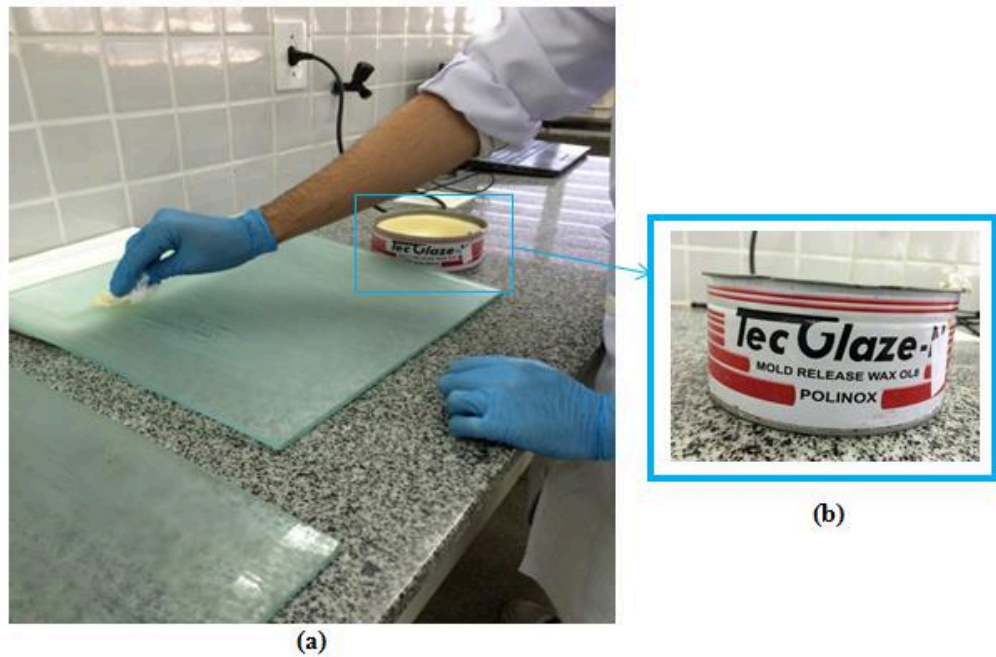
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5. Confeção dos corpos de prova para ensaio de tração

3.5.1. Preparação do molde

O primeiro passo foi aplicar o desmoldante (Tec Glaze) na superfície do vidro, de modo a isolar o material e garantir uma melhor uniformidade na sua formação, conforme mostra a figura 19.

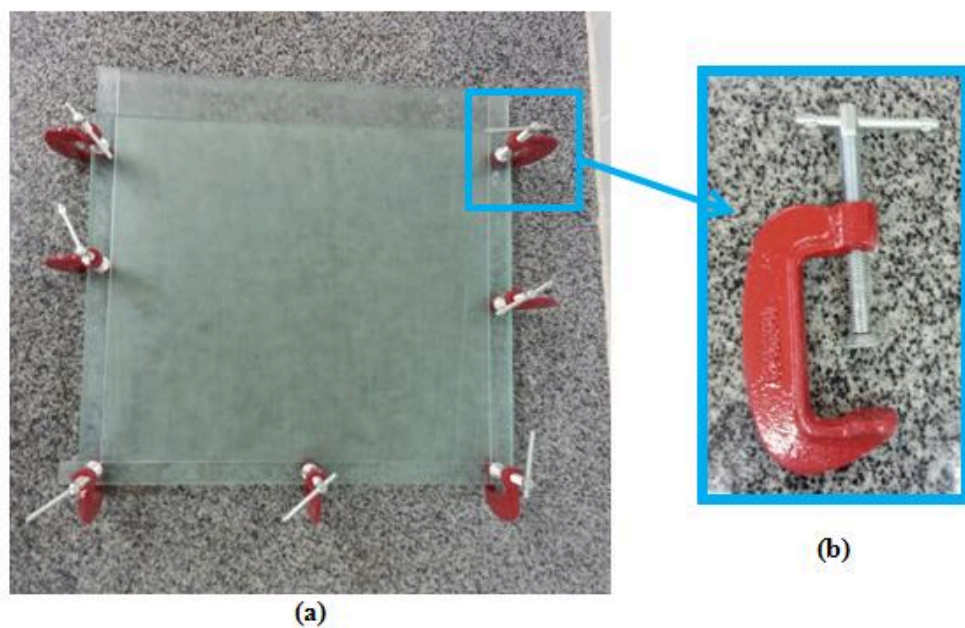
Figura 19 - Aplicação do desmoldante (b) no molde de vidro (a).



Fonte - Elaborada pelo autor.

Feito isso, as placas foram presas por meio de grampos tipo “C”, ilustrados na figura 20, com um espaço vazio de 03 mm entre ambas, espessura essa do material estudado.

Figura 20 - Grampo tipo “C” (b) usado para prender o molde (a).



Fonte - Elaborada pelo autor.

3.5.2. Corpo de prova de resina pura

O primeiro material produzido, para efeito de comparação, foi puramente polimérico. Foram pesados, misturados e despejados em um pote 360g de resina ortoftálica juntamente com 2% de monômero. Depois, levou-se essa mistura à bomba de vácuo durante 10 minutos para a retirada de bolhas e logo depois adicionou-se 0,5 % do catalisador. Misturou-se manualmente o material por cerca de 2 minutos e levou-se novamente à bomba de vácuo. Após esse tempo, o material foi despejado no molde, onde permaneceu por 24 horas, para que houvesse o processo de cura. Concluída a cura, o material foi desmoldado. A figura 21 descreve o passo a passo da realização do processo.

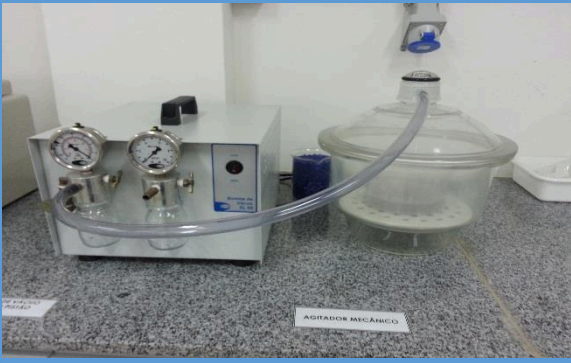
Figura 21 - Passo a passo do corpo de prova de resina pura.



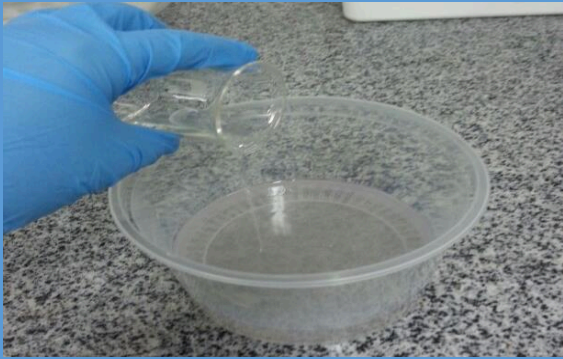
Passo 1: Pesagem da resina, monômero e catalisador.



Passo 2: Mistura do monômero (2%).



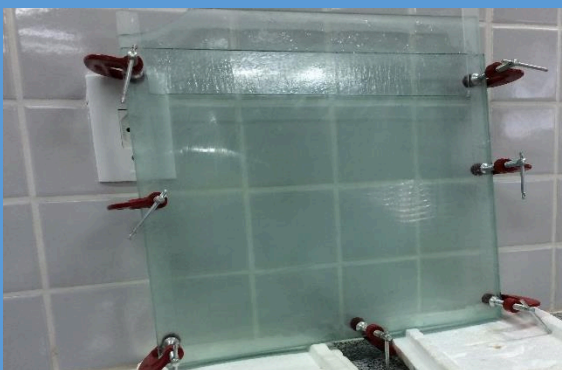
Passo 3: Utilização da bomba de vácuo.



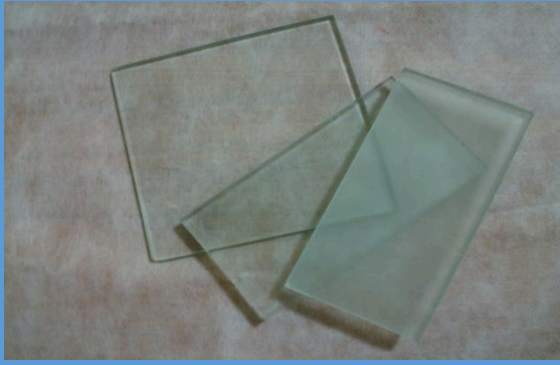
Passo 4: Adição do catalisador (0,5%).



Passo 5: Utilização da bomba de vácuo.



Passo 6: Material no molde.



Passo 7: Placa desmoldada.

Fonte: Elaborada pelo autor.

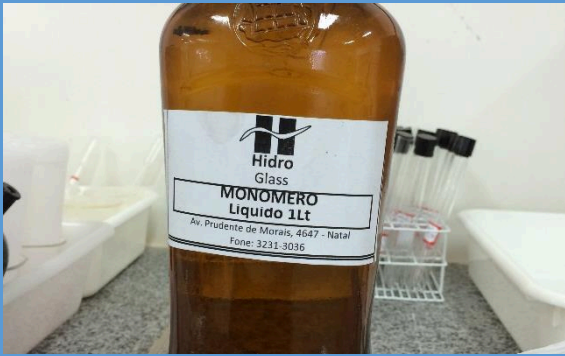
3.5.3. Corpo de Prova de Granito

O primeiro compósito foi confeccionado a partir da resina de poliéster ortoftálica, onde pesaram-se 360g da mesma. Feito isso, adicionou-se a ela 2% de monômero e levou-se para a bomba de vácuo por 10 minutos para a retirada de bolhas. Depois disso, adicionou-se 0,5% de catalisador, voltando para a bomba de vácuo. Por último, com a resina devidamente misturada, adicionou-se o pó de granito na proporção de 10% e 30%, ou seja, 40g, completando a formação do composto. Levou-se a mistura pela última vez à bomba de vácuo por 10 minutos e despejou-se no molde. A figura 22 relata o passo a passo do processo.

Figura 22 - Passo a passo do corpo de prova de granito.



Passo 1: Pesagens de Resina, monômero, catalisador e pó de pedra.



Passo 2: Mistura do monômero (2%).



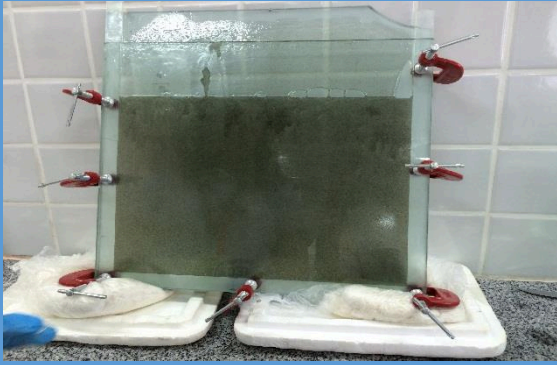
Passo 3: Utilização da bomba de vácuo.



Passo 4: Adição do catalisador (0,5%) e o pó de pedra.



Passo 5: Utilização da bomba de vácuo.



Passo 6: Material no molde.



Passo 7: Placa desmoldada.

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5.4. Corpo de Prova de Calcário

Com o calcário foi realizado exatamente o mesmo processo do granito, exceto no tempo de permanência na bomba de vácuo. Ao adicionar o pó de calcário na mistura realizada antes, o tempo na bomba foi de 15 minutos, em função de uma maior quantidade de bolhas na mistura.

Figura 23 - Placa de calcário desmoldada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6. Ensaio de tração e preparação dos corpos de prova

Segundo Dalcin (2007), o ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até sua ruptura. É um dos ensaios mais usados na indústria de componentes mecânicos devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas de cada material.

Ainda de acordo com Dalcin (2007), com o ensaio de tração pode-se afirmar que as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas por todo seu corpo, até ser atingida uma carga máxima próxima do final do ensaio e assim, fazer com que a carga cresça numa velocidade razoavelmente lenta durante todo o teste. O ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material.

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFERSA, com base na norma ASTM D638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*). Para a execução dos ensaios deste projeto, utilizou-se a máquina de ensaio universal DL-10000, da EMIC, ilustrada na figura 24, com capacidade máxima de 100 KN e velocidade de 05 mm/min, como sugerido na norma. Foram cortados a laser na TacArt, em Natal/RN. 5 corpos de prova de cada material e foi feita a média dos valores após a realização dos ensaios, como mostra a figura 25, também de acordo com a norma ASTM D638.

Figura 24 - Máquina de tração.

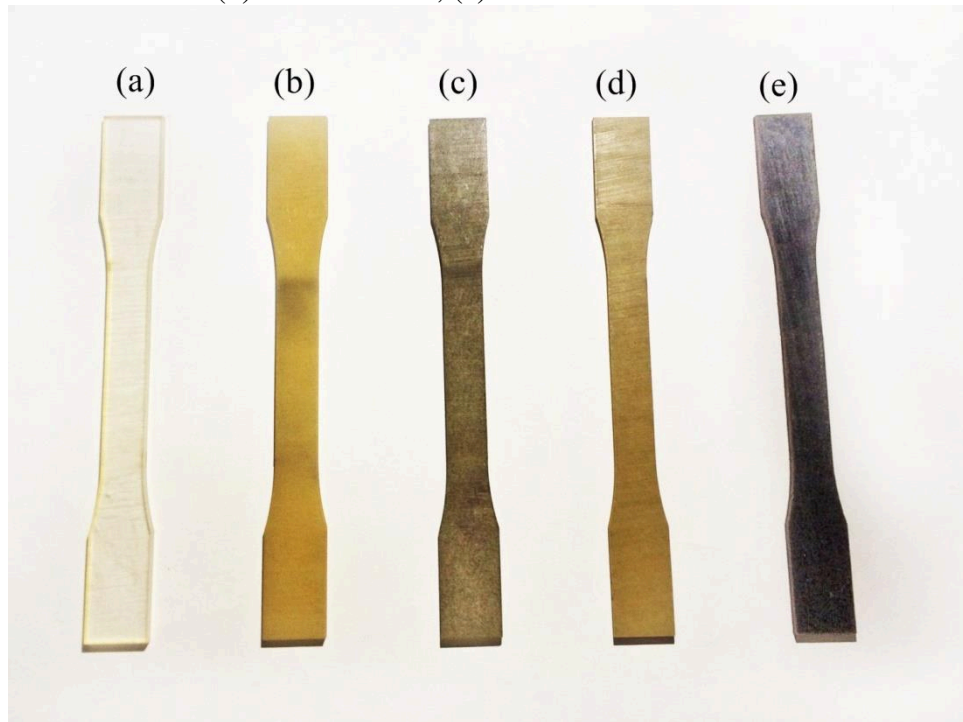


Fonte: Elaborada pelo autor.

Para uma melhor convenção, foram adotadas as seguintes siglas para cada corpo de prova:

- Resina pura: Corpos de prova confeccionados com 100% de resina;
- C_10: Corpos de prova confeccionados com 10% de calcário;
- C_30: Corpos de prova confeccionados com 30% de calcário;
- G_10: Corpos de prova confeccionados com 10% de granito;
- G_30: Corpos de prova confeccionados com 30% de granito.

Figura 25 - Corpos de prova testados: (a) Resina pura; (b) Calcário 10%; (c) Granito 10%; (d) Calcário 30%; (e) Granito 30%.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foram feitas análises quantitativas nos pós de calcário e granito, afim de se saber a composição dos materiais. Depois, ocorreu a realização dos ensaios. Com os resultados obtidos foi possível traçar o gráfico Tensão x Deformação de cada corpo de prova de cada material, bem como o seu módulo de elasticidade (calculado para 30% da resistência à tração). Os resultados serão analisados a seguir:

4.1. Caracterização química do Granito e Calcário por Fluorescência de Raios-X - FRX

Inicialmente, foram obtidas as composições de cada material por meio de fluorescência de raios X, com o objetivo de conhecer melhor as suas composições e influência no material final. As tabelas 2 e 3 mostram os resultados para o granito e calcário, respectivamente.

Tabela 2 - Resultado Quantitativo - Granito.

Material Analisado	Resultado
SiO₂	54,337%
Fe₂O₃	16,713%
Al₂O₃	13,524%
K₂O	6,559%
CaO	4,047%
ZrO₂	2,964%
TiO₂	0,995%
MgO	0,646%
MnO	0,215%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 - Resultado Quantitativo - Calcário.

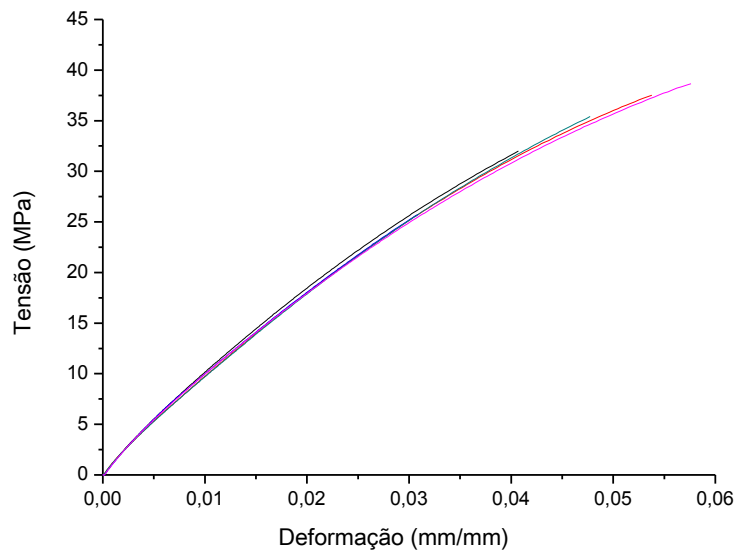
Material Analisado	Resultado
CaO	90,966%
SiO₂	4,607%
Fe₂O₃	1,911%
Al₂O₃	1,718%
K₂O	0,730%
MnO	0,069%

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2. Desempenho mecânico na tração uniaxial para os CP's de resina pura

De início, foi testada a resina ortoftálica pura. Na figura 26 é mostrado o gráfico Tensão x Deformação para esse material.

Figura 26 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de resina pura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico da figura 26, podemos observar que em função de sua linearidade, o material apresenta características frágeis até o momento de sua ruptura. A seguir, serão mostrados na tabela 4 os valores médios e desvio padrão da tensão máxima, deformação normal e módulo de elasticidade do material.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas dos CP's de resina pura.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	33,90	±5,23
Deformação Normal (mm/mm)	0,05	±0,01
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,13	±0,04

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tanto pela figura 26 quanto pela tabela 4, percebe-se que a deformação praticamente não teve desvio padrão (0,01%), enquanto que a resistência e o módulo de elasticidade apresentaram valores com o desvio padrão de 5,23% e 0,04%, respectivamente. Provavelmente, desvio padrão na resistência ocorreu devido as bolhas/imperfeições dos

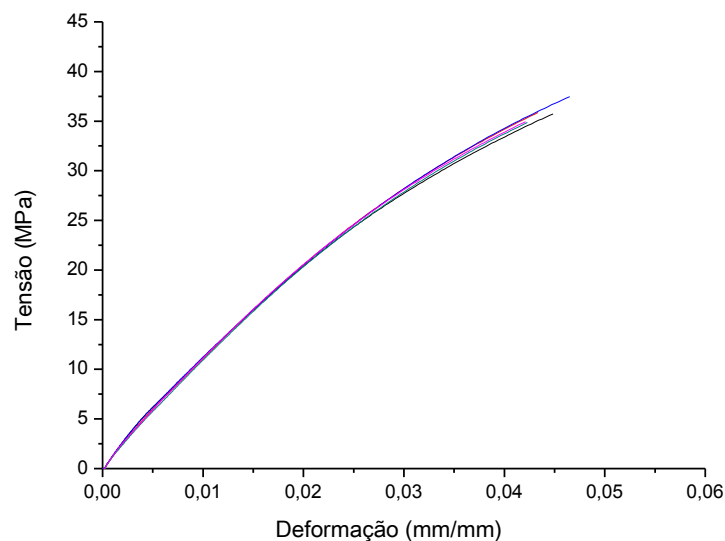
corpos de prova, oriundos do processo de fabricação. Essas bolhas acabam agindo como concentradores de tensão, tornando o material mais frágil. O módulo é uma característica intrínseca do material, não sofrendo influência das bolhas.

Destaca-se que o valor obtido para a resistência a tração está de acordo com a literatura, de acordo com Crawford (1998, p. 17) a resistência a tração da resina poliéster é de 21 MPa até 45 MPa.

4.3. Desempenho mecânico na tração uniaxial para os CP's de Calcário 10%

Nesta seção, serão analisados os CP's com 10% de calcário em sua composição. A figura 27 ilustra o gráfico Tensão x Deformação do material e a tabela 5 mostra seus valores obtidos com seus desvios padrões.

Figura 27 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 10% de Calcário.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos CP's de calcário 10%.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	36,01	±0,88
Deformação Normal (mm/mm)	0,04	±1,51 x 10 ⁻³
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,11	±0,01

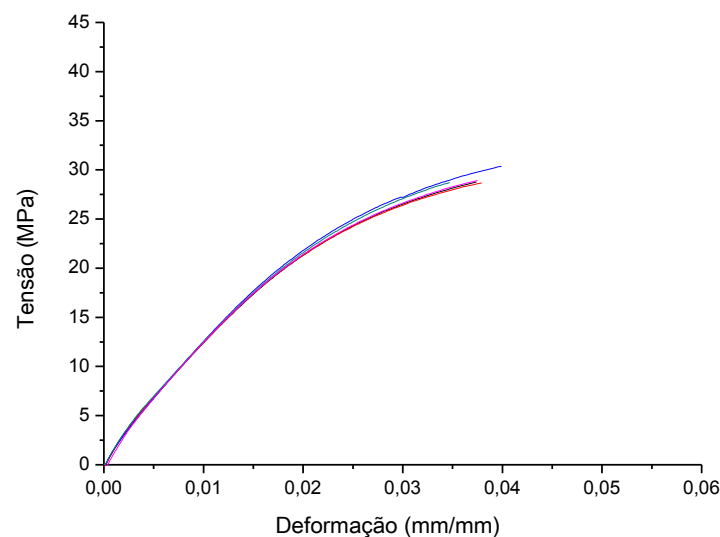
Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela figura 27 e pela tabela 5, percebe-se que tanto o módulo, resistência e a deformação não apresentaram grandes desvios padrões, mostrando que as partículas preencheram de forma uniforme os espaços no material. Em comparação com o CP de resina pura, provavelmente a inserção de partículas fez com que a quantidade de bolhas diminuísse, justamente porque alguns espaços vazios foram preenchidos por essas partículas.

4.4. Desempenho mecânico na tração uniaxial para os CP's de Calcário 30%

A seguir, serão analisados os CP's com 30% de calcário na composição. A figura 28 mostra os resultados do ensaio de tração, no gráfico Tensão x Deformação.

Figura 28 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 30% de Calcário.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores para tensão máxima, deformação normal e módulo de elasticidade do composto são apresentados na tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Propriedades mecânicas dos CP's de calcário 30%.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	29,09	±0,71
Deformação Normal (mm/mm)	0,04	±1,85 x 10 ⁻³
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,51	±0,15

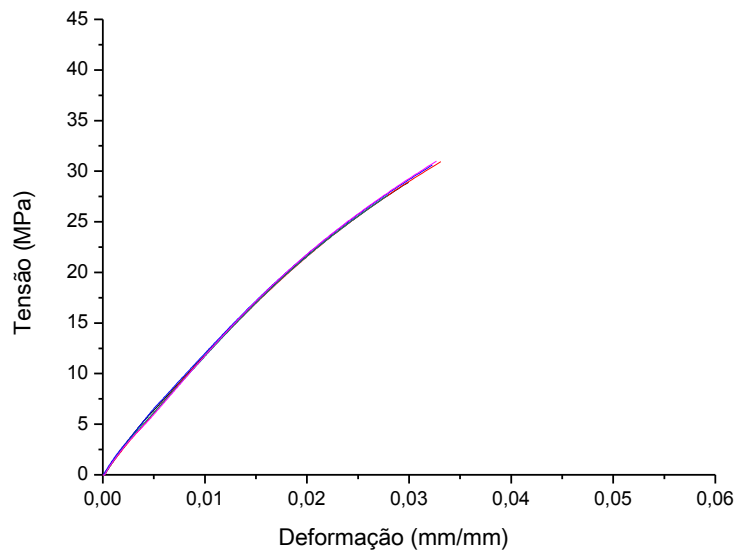
Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela figura 28 e pela tabela 6, pode-se observar um módulo de elasticidade maior no composto, em comparação com o calcário 10%. O aumento na quantidade de pó de pedra fez com que o módulo aumentasse, tornando assim o material mais rígido.

4.5. Desempenho mecânico na tração uniaxial para os CP's de Granito 10%

Serão analisados agora os CP's com 10% de granito em sua composição. Os resultados são descritos na figura 29.

Figura 29 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 10% de Granito.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores das propriedades mecânicas do material são descritos na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Propriedades mecânicas dos CP's de granito 10%.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	29,84	±1,51
Deformação Normal (mm/mm)	0,03	±2,23 x 10 ⁻³
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,33	±0,06

Fonte: Elaborada pelo autor.

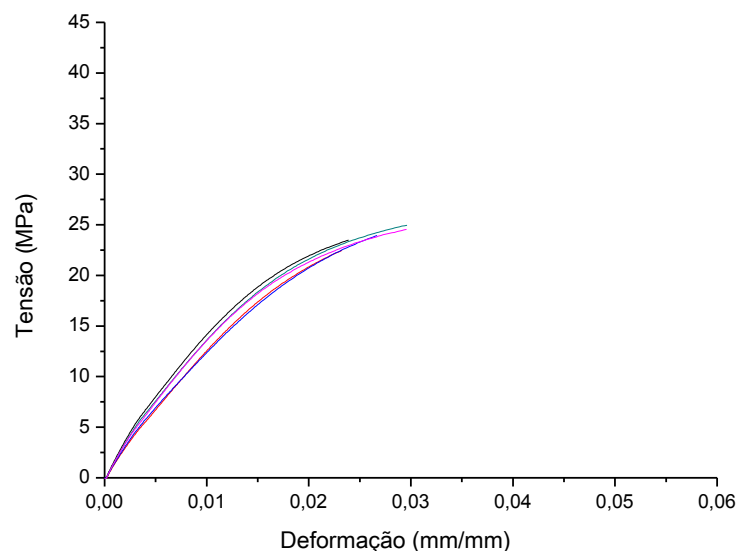
Tanto pela figura 29 quanto pela tabela 7, percebe-se que a resistência e a deformação apresentaram desvio padrão de 1,51% e 2,23 x 10⁻³%, respectivamente. Em comparação com

a resina pura o desvio padrão foi bem inferior, mostrando que as bolhas/imperfeições dos corpos de prova foram minimizadas, mas em proporções menor que o calcário 10%.

4.6. Desempenho mecânico na tração uniaxial para os CP's de Granito 30%

Por último, serão analisados os CP's com 30% de granito em sua composição. Os resultados do ensaio de tração são mostrados no gráfico Tensão x Deformação da figura 30 a seguir:

Figura 30 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP's de 30% de Granito.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 8 a seguir seguem os valores das propriedades mecânicas desses CP's.

Tabela 8 - Propriedades mecânicas dos CP's de granito 30%.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	23,92	±0,93
Deformação Normal (mm/mm)	0,03	±3,38 x 10 ⁻³
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,76	±0,14

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pela figura 30 e pela tabela 8, pode-se observar que assim como nos compostos de calcário, o módulo de elasticidade é significativamente maior no composto de 30%. Em comparação com o composto G_10, o aumento na quantidade de pó de pedra também

aumentou o seu módulo, deixando o material mais rígido. O CP G_30 também apresentou um gráfico com perda da linearidade.

4.7. Comparativos

Vamos analisar agora os materiais produzidos neste projeto, comparando-os em relação ao seu tipo e a sua porcentagem.

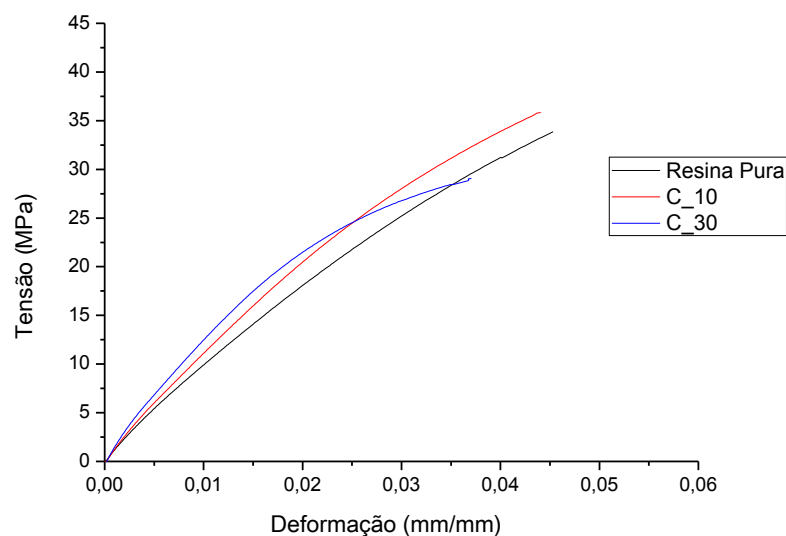
4.7.1. Influência da porcentagem na composição de cada material

Vamos comparar particularmente a influência da porcentagem de pó de pedra na composição dos materiais. As frações são de 10% e 30% para calcário e granito, respectivamente.

4.7.1.1. Calcário

A figura 31 mostra o gráfico das curvas médias da resina pura, do calcário 10% e do calcário 30% com o objetivo de realizar um comparativo do comportamento mecânico dos materiais.

Figura 31 - Gráfico Tensão x Deformação comparando Os CP's de Resina Pura, C_10 e C_30.

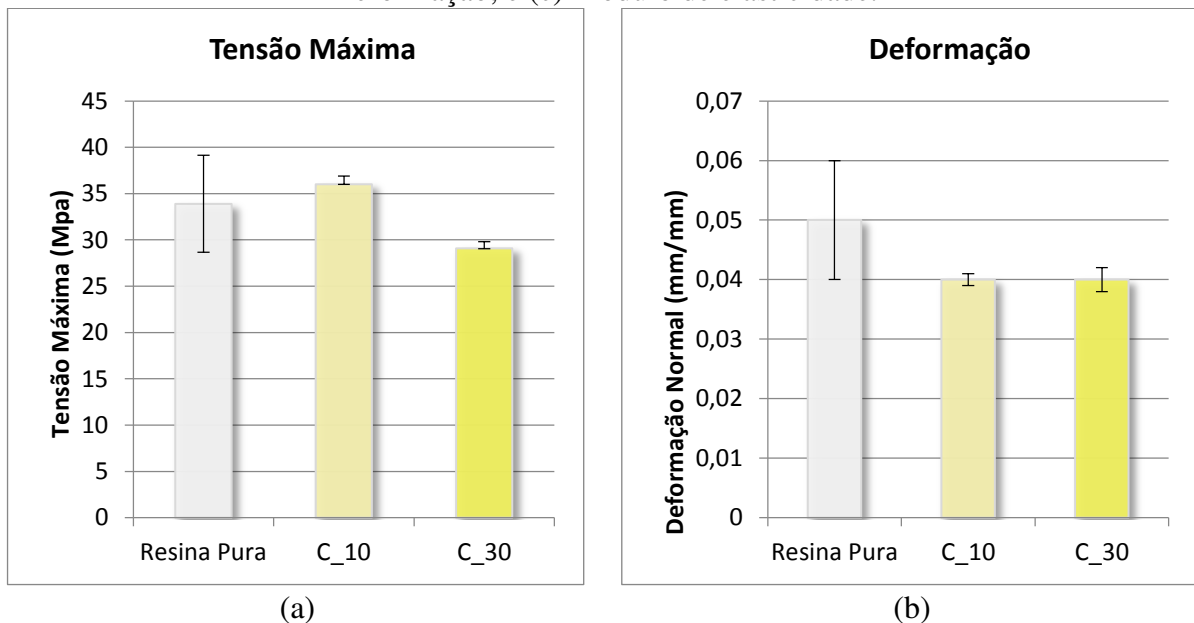


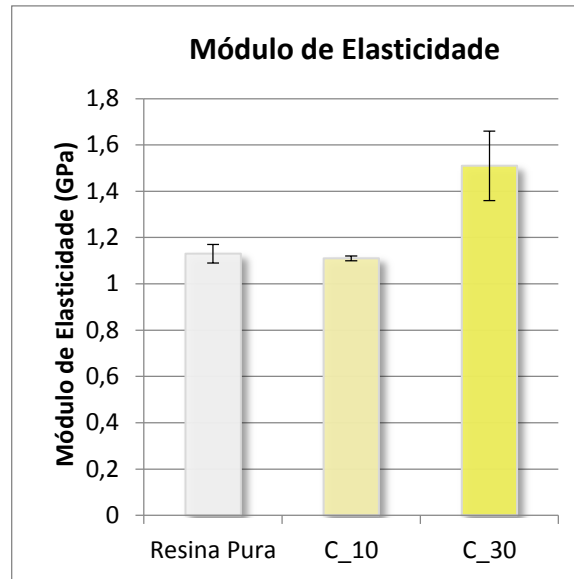
Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico da figura 31, pode-se observar que a o material com 10% de Calcário apresenta, na média, uma leve superioridade no que diz respeito à tração e uma pequena inferioridade na deformação em relação à resina pura. Porém, de acordo com os desvios padrões das tabelas 4 e 5 não podemos afirmar que isto é verdade, o gráfico em barras (Figura 32) mostra que ambos apresentam intervalos em comum.

Acrescentando, percebe-se que à medida que aumentamos a porcentagem do calcário para 30%, ocorreu uma melhora da rigidez e uma perda na resistência. Em uma avaliação quantitativa temos um acréscimo de 33,63% e uma perda de 14,19%, do material com 30% de calcário em relação ao de resina pura, respectivamente. Um resultado interessante é que para 30% de calcário o gráfico não apresenta linearidade como os gráficos para a resina pura e 10% de calcário. A figura 32 mostra os valores médios comparativos dos três materiais analisados, para cada propriedade separadamente, em forma de gráfico de barras.

Figura 32 - Comparativo entre os CP's de resina pura, C_10 e C_30: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.





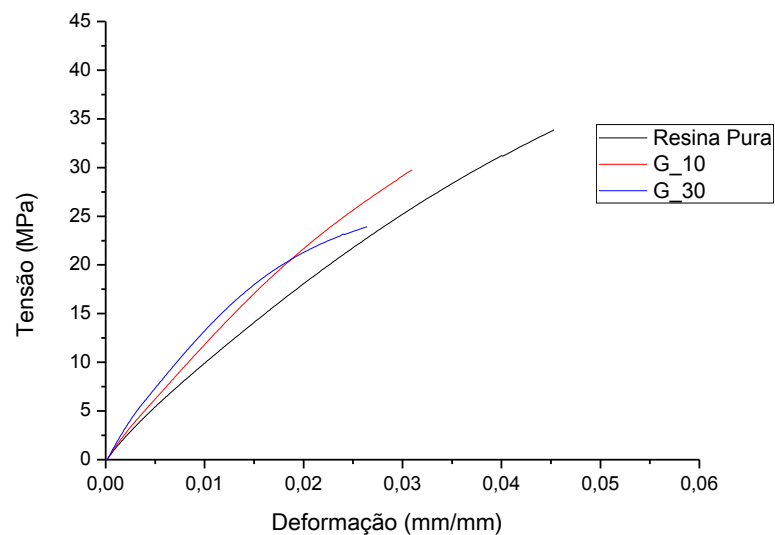
(c)

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.7.1.2. Granito

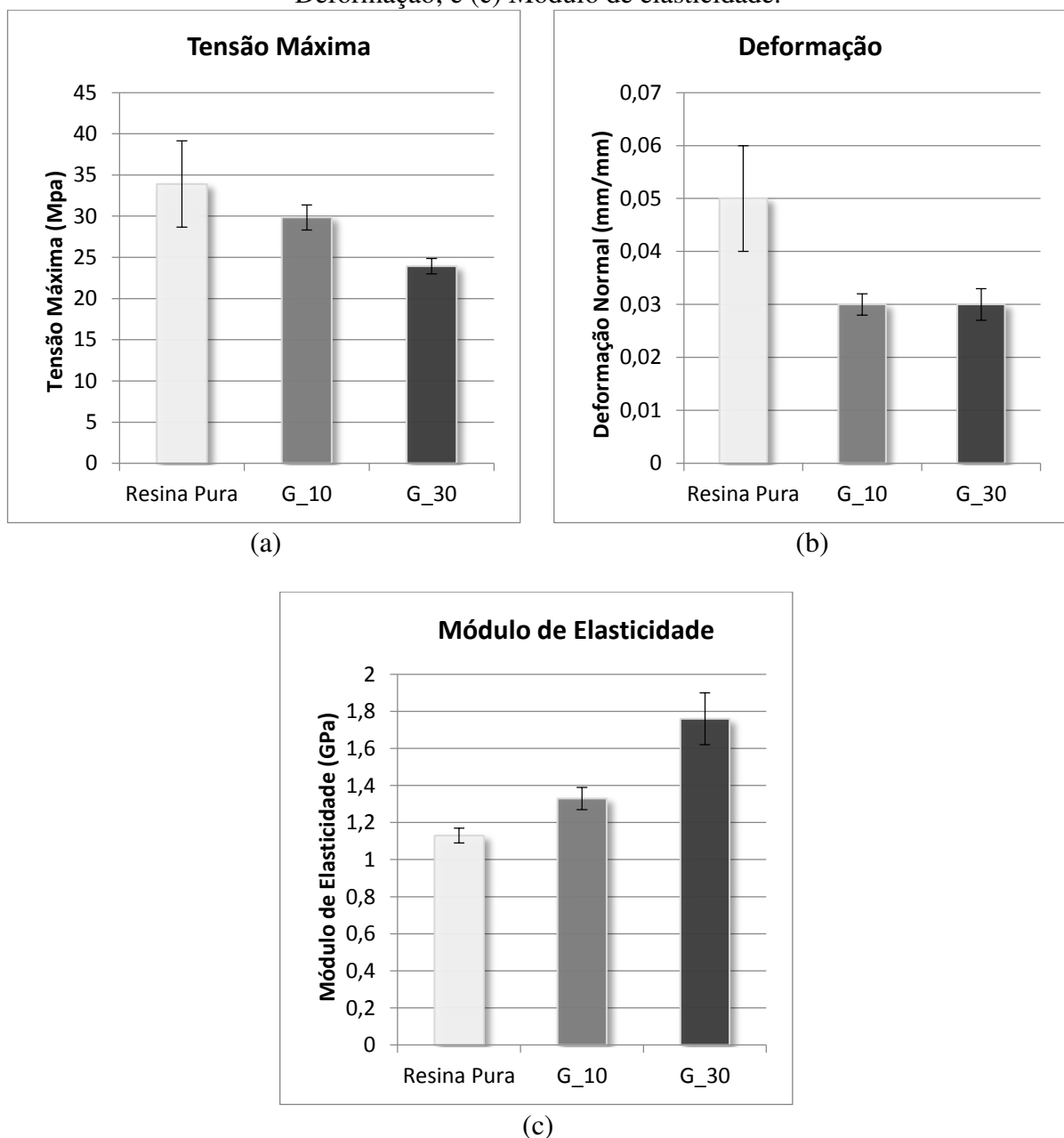
A figura 33 mostra o gráfico comparando os valores médios da resina pura, do granito 10% e do granito 30%.

Figura 33 - Gráfico Tensão x Deformação comparando Os CP's de Resina Pura, G_10 e G_30.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico da figura 33, podemos perceber que à medida que se aumenta a porcentagem do pó de pedra diminui a resistência e melhora-se a rigidez, um acréscimo de 55,75% e uma perda de 23,92%, do material com 30% de granito em relação ao de resina pura, respectivamente. No que diz respeito à deformação, do G_10 para o G_30 não ocorreu nenhuma mudança significativa. Para 30% de pó de granito, o gráfico perde linearidade. A figura 34 mostra os valores médios comparativos dos três materiais, para cada propriedade separadamente, em forma de gráfico de barras.

Figura 34 - Comparativo entre os CP's de resina pura, G_10 e G_30: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

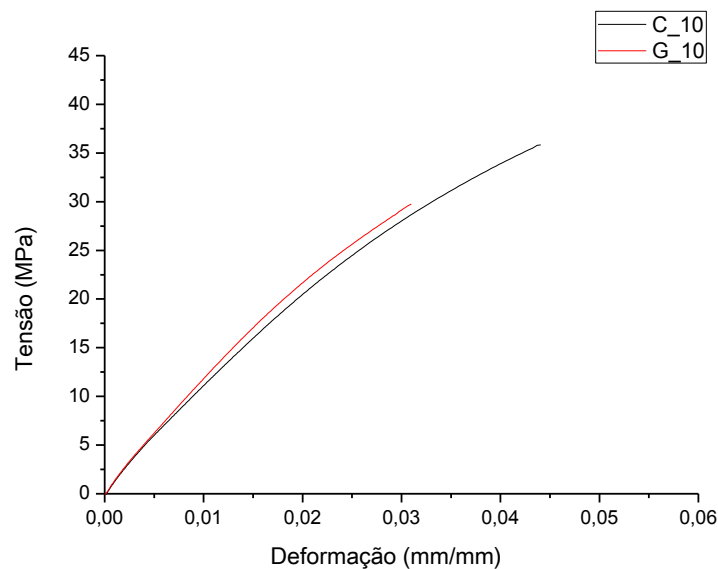
4.7.2. Influência do tipo de material para cada porcentagem

Vamos comparar agora a influência do tipo de material para cada porcentagem de pó de pedra na composição.

4.7.2.1. Composição 10% de pó de pedra

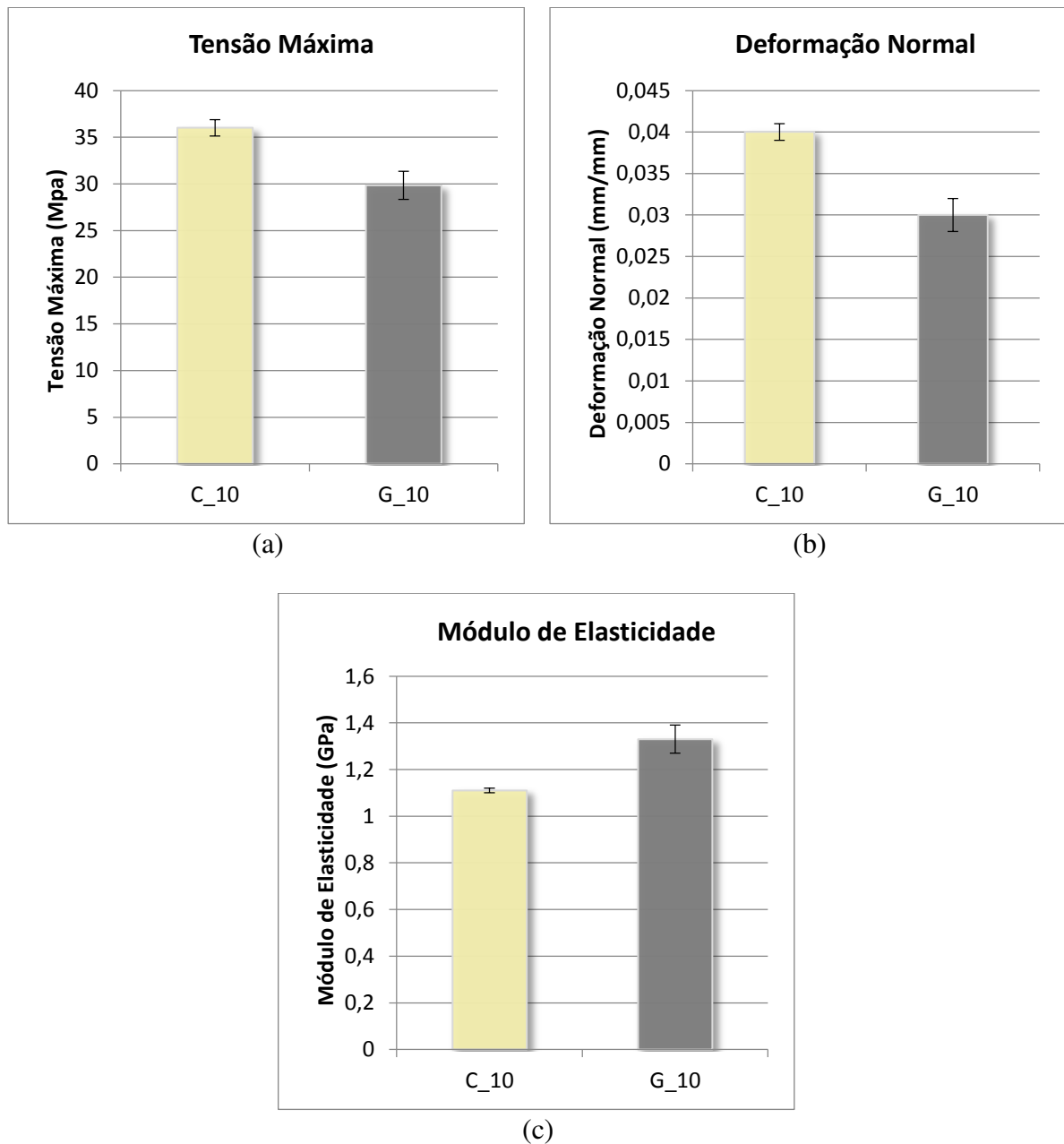
Serão analisados agora os compostos de granito e calcário reforçados com 10% de pó de pedra. A figura 35 mostra o gráfico Tensão x Deformação desse comparativo e a figura 36 mostra os gráficos de barra para cada propriedade.

Figura 35 - Gráfico Tensão x Deformação comparando os CP's de C_10 e G_10.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 36 - Comparativo entre os CP's de C_10 e G_10: (a) Tensão média; (b) Deformação; e (c) Módulo de elasticidade.



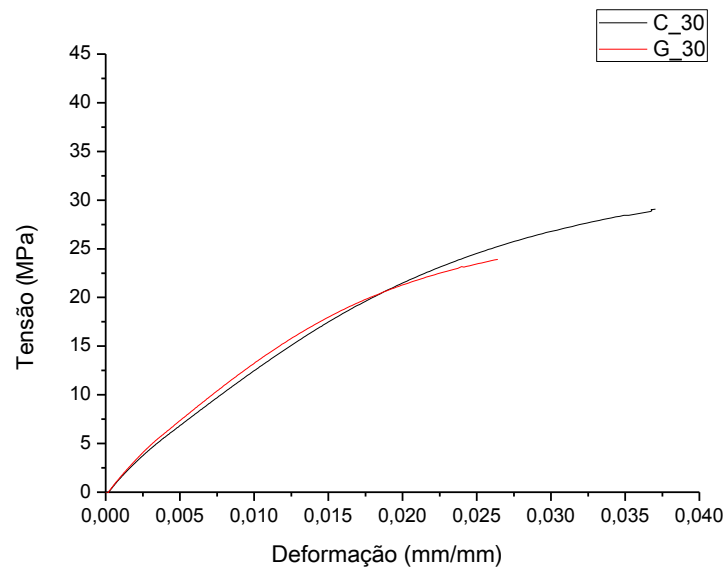
Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelas figuras 35 e 36, pode-se observar que o C_10 apresenta aumento de 20,67% na resistência e de 33,33% em relação à deformação quando comparado com o G_10. Porém, ao se utilizar o granito tem-se um ganho de 17,77% no módulo de elasticidade em relação à utilização do calcário, ambos com 10% de sua composição. O resultado mostra que a composição do pó de pedra influencia diretamente no resultado.

4.7.2.2. Composição 30% de pó de pedra

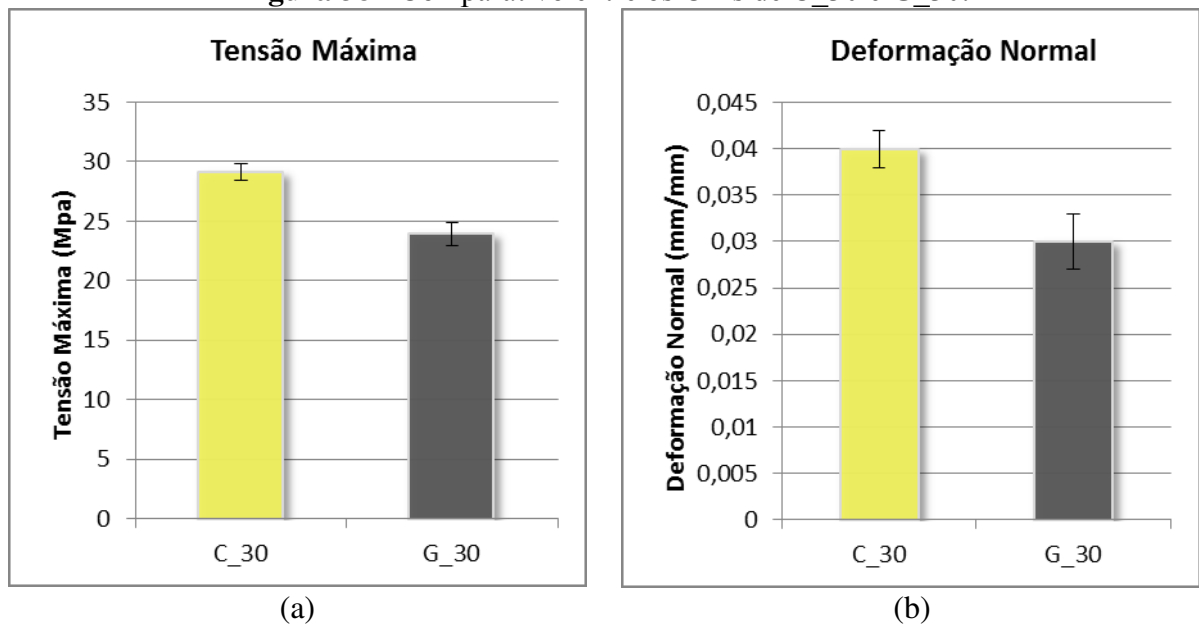
Serão analisados agora os compostos de granito e calcário reforçados com 30% de pó de pedra. O gráfico Tensão x Deformação e o gráfico em barras desse comparativo é mostrado nas figuras 37 e 38 a seguir.

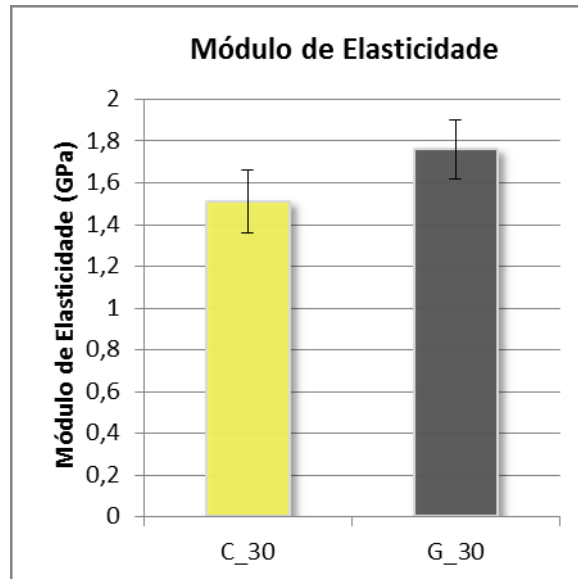
Figura 37 - Gráfico Tensão x Deformação comparando os CP's de C_30 e G_30.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 38 - Comparativo entre os CP's de C_30 e G_30.





(c)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelas figuras 37 e 38, pode-se observar que assim como nos compostos com fração de 10%, o C_30, em valores, ao se utilizar o calcário obtêm-se um aumento de 21,61% na resistência, em relação ao granito. Porém, o compósito com 30% de granito obteve a melhor rigidez, um aumento de 16,55% ao se trocar a utilização de calcário por granito, num percentual de 30%.

Percebe-se que tanto para a composição de 10%, quanto para a composição de 30% o calcário apresentou maior resistência e deformação enquanto que o granito apresentou o melhor módulo, mostrando que essa é uma característica adquirida pela composição do pó de pedra.

5. CONCLUSÕES

A partir das análises e testes realizados nos compósitos ao longo deste projeto, é possível concluir que com a adição de cargas minerais em polímeros ocorre uma alteração significativa no comportamento mecânicos do material.

As propriedades obtidas de acordo com as diferentes concentrações de pó de pedra podem ser vantajosas, principalmente do ponto de vista mecânico, visto que propriedades como módulo de elasticidade e deformação, por exemplo, podem ser usadas de acordo com diferentes necessidades.

As principais alterações mecânicas obtidas foram:

- A inserção do pó de pedra fez com que houvesse uma redução do desvio padrão, possivelmente reduzindo o número de espaços vazios;
- Em concordância com Filho (2015), tanto para o Granito, quanto para o Calcário, à medida que aumenta concentração do pó de pedra, o material apresenta uma melhora na rigidez;
- Tanto o G_10 quanto o G_30 apresentaram uma rigidez superior e uma menor resistência e deformação quando comparado respectivamente ao C_10 e ao C_30;
- O G_30 apresentou maior módulo, um aumento de 55,75% da rigidez em relação à resina pura.

A partir dos estudos feitos no decorrer deste projeto, pode-se concluir que rejeitos de pó de pedra ociosos em pedreiras podem ser reaproveitados na fabricação de novos materiais, diminuindo sua quantidade e evitando prejuízos ao meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Brivaldo Gomes de et al. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Disponível em: <
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96926/1/ComTec-66-Analise-Granulometrica.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2015.
- ALMEIDA, S. L. M.; PONTES, I. F. **Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras**, p. 89 – 100 dos Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editorado pelo CETEM/ CBPM, Rio de Janeiro, 2002.
- ALMEIDA, S.L.M. e SAMPAIO, J.A.; **Obtenção de Areia Artificial com Base em Finos de Pedreiras**. Areia e Pedra, n.20, p.32-36, Dezembro de 2002.
- ASHBY, M. F.; JONES David R.H. **Engenharia de Materiais**. v.II, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**. Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT. 35 p. 2004.
- _____. **Materiais de pedra e agregados naturais. NBR 7225**. Rio de Janeiro: ABNT. 4p. 1993.
- ASTM D 638 – 14. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**¹. p. 17 2015.
- BACCI, Denise de La Corte et al. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 47-54, jan/mar. 2006.
- BARBIERI, J. C. **Impacto ambiental**. In: _____. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2007, p. 289-290.
- BATISTA, Ana Claudia de Melo Caldas. **Envelhecimento Ambiental em Compósitos Poliméricos à Base de Tecidos de Reforço Híbridos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)**. Diário [da] República do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Secretaria de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **O universo da mineração brasileira**. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/UniversoMineracao/univmi00.pdf>. Acesso em: 25 out. 2015.

CAJATY et all. **Rochas Ornamentais do Ceará - Aproveitamento de rejeitos da Pedreira Asa Branca Santa Quitéria – CE**, p. 101 – 106 dos Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/ CBPM, Rio de Janeiro, 2002.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª Ed, 2002.

_____. **MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING An Introduction**. New York, NY, 1991.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de et al. **Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando a mitigação de impacto ambiental**. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1474/23simpgeol200916-25.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 out. 2015.

CARVALHO et all. **Aproveitamento dos Resíduos Finos das Serrarias de Santo Antônio de Pádua**, p. 190 – 197 dos Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro 2002, Recife – Editorado pelo CETEM/ UFPE, Rio de Janeiro, 2002.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente (2002). **Resolução 306**: "Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais", de 05 de julho de 2002.

_____. **Resolução 001**: "Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA", de 23 de janeiro de 1986.

GRAWFORD, RJ. **Plastics Engineering**. 3ª Ed, 1998.

DALCIN, Gabrieli Bortoli. **Ensaio dos Materiais**. 2007. 41 f. Monografia – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2007.

DA COSTA, João Maria Macedo. **Diagnóstico sócio ambiental dos resíduos sólidos no município de angicos-RN**. 2011. 63 f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2011.

DA LUZ, Marta Pereira. **Aproveitamento de Filer De Pedreiras Da Região Metropolitana De Goiânia Em Pavimentos Flexíveis Urbanos – Avaliação Técnica e Socioambiental**. 2008. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

DA SILVA, Achiles Dias Alves. **Aproveitamento de Rejeito de Calcário do Cariri Cearense na Formulação de Argamassa**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

DE SOUSA, José Gonçalves de. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: Aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES**. 2007. 42 f. Monografia (Especialista em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

DOS SANTOS, Antônio Silveira Ribeiros; MARTINS, Renata de Freitas. **Poluição: considerações ambientais e jurídicas**. **Revista Imes**, São Paulo, p. 97-102, jul/dez. 2002.

DOS SANTOS, Eyllisson André. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

DOS SANTOS, Lourdes Regina Correa. **Perfil Analítico Sumário do Setor de Rochas Ornamentais no Brasil**. 2008. 88 f. Monografia (Geologia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

FERREIRA, Aline Aparecida; CASTRO, Mariana Saran Ferreira de. **Estudo para Retirada de Ensimagem de Fibras de Poliéster**. 2014. 36 f. Monografia (Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

FILHO, Luiz Tadeu Antas. **Avaliação das alterações nas propriedades mecânicas do polímero pela adição de sílica**. 2015. 43 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade do Rio Grande do Norte. Natal. 2015.

FONSECA, **Iniciação ao Estudo dos Resíduos Sólidos e da Limpeza Urbana: A União**. 1999.122p.

GALLO, J. Romano et al. Efeitos de Três Tipos de Calcário na Reação do Solo e no Desenvolvimento da Soja (*). **Bragantia**, v. 15, n. 12, p. 121-130, jun. 1956.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A. **Reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil**, p. 179 – 189 dos Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro 2002, Recife – Editorado pelo CETEM/ UFPE, Rio de Janeiro, 2002.

HOLANDA, C. J. N. 1987. **Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais**, p. 29. Minérios de Pernambuco. Recife – PE.

JUVANDES, Luiz Filipe Pereira. **Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP**. 2002. 76 f. Monografia (Licenciatura em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, 2002.

KAW, A. K. **Mechaniche Of Composite Materials**, 2nd Edition, Broken Sound Parkway. CRC Press: 2006.

KLEIN, C. 2002. **Mineral Science**. 22nd Edition, p. 411-413. ISBN: 0-471-25177-1. The University of New México.

LIMA, Antônio Bastos Torres. **Aplicações de cargas minerais em polímeros**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LUIZ, André et al. **Resíduos Sólidos: Uma Revisão Bibliográfica**. Disponível em: < http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2010-2/4-periodo/Residuos_solidos_uma_revisao_bibliografica.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição a areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

PANORAMA DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA BAHIA; Superintendência de Geologia e recursos minerais. Salvador/BA, 1994.

PARENTE, R.C. Cimento. **Sumário mineral**, Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2004/CIMENTO%202004.pdf>. Acesso em: 25 out. 2015.

PARREIRA, Paulo Sérgio. Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil. **LFNATEC**, v. 10, n. 1, p. 2-16, jun. 2006.

PEREIRA, Luiz Antonio da Costa. **Mineração de granito para britagem: uma contribuição ao desenvolvimento regional**. 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento regional e meio ambiente) – Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho. 2004.

PIMENTA, Carlos Jorge Medeiros de. **Comportamentos Tribológico de Matriz Metálica**. 1996. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Porto, 1996.

POLETTO, Cleide. **A exploração de Pedreiras na Região Metropolitana de São Paulo no Contexto do Planejamento e Gestão do Território**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

REZENDE, M. C., BOTELHO, E. C. O. **Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial**. v.10, 2000.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Calcário e Dolomito**. Disponível em: <
[http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1105/16.CALCARIO%20e%20DOLOMITA1\(salvador\).pdf?sequence=1](http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1105/16.CALCARIO%20e%20DOLOMITA1(salvador).pdf?sequence=1)>. Acesso em: 23 out. 2015.

SANTOS, Alcinéia Melgikos dos Anjos. **Exposição Ocupacional a Poeiras em Marmorarias: Tamanhos de partículas característicos**. 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SEWELL, G. H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: EDUSP, CETESB, 1978. 295p.

SILVA, Antonia Tayla. **Propriedades Mecânicas em Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Juta**. 2014. 50 f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caruaru, 2014.

SILVA, D. C.; VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granito nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena**, p. 341-360 do Livro de Rochas Industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, Edição Livro Técnico, Fortaleza, 2003.

SOUSA, Breno Ferreira de. **Compósitos de Matriz Cerâmica Obtidos a Partir da Pirólise de Polissiloxanos e Carga Reativa De Tisi2**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2012.

VALERIO, Diogo et al. **Redução da geração de resíduos sólidos:** uma abordagem econômica. Disponível em:
<<http://www.anpec.org.br/encontro2008/artigos/200807211417570-.pdf>> Acesso em: 20 out. 2015.

VANZIN, Emerson. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica:** aplicação no Aterro Santa Tecla. Passo Fundo: Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, 2006 (Dissertação de Mestrado em Engenharia).