

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

JONATHAN BRUNO CAMARGO CORRÊA

**PROJETO DE UMA BASE DE GRANITO SINTÉTICO PARA MÁQUINA
DIDÁTICA DE VIBRAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

JONATHAN BRUNO CAMARGO CORRÊA

**PROJETO DE UMA BASE DE GRANITO SINTÉTICO PARA MÁQUINA
DIDÁTICA DE VIBRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami

Coorientador: Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO DE UMA BASE DE GRANITO SINTÉTICO PARA MÁQUINA DIDÁTICA DE VIBRAÇÃO

JONATHAN BRUNO CAMARGO CORRÊA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 14 de Junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Rogério Akihide Ikegami
Prof. Orientador

Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa
Prof. Coorientador

Dr. Carlos Elias da Silva Junior
Membro titular

Dr. Julio Cesar de Souza Francisco
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

A Deus acima de tudo, aos meus amados pais Wagner e Rosangela e a todos os meus irmãos que tornaram possível a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, sempre presente em minha vida, que iluminou meu caminho e tornou possível a realização deste sonho que por tantas vezes me pareceu impossível.

Aos meus pais e irmãos que me apoiaram, ampararam e acima de tudo, fizeram tudo que foi possível para eu estar me formando.

Ao professor Dr. Rogério Akihide Ikegami pela sugestão do tema, orientação e estímulo constante durante todo o período da elaboração deste trabalho. Agradeço-lhe pela dedicação, apoio e a amizade.

Ao professor Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa, pela coorientação.

A todos os professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Em especial aos professores Dr. Carlos Elias da Silva Junior e Dr. Julio Cesar de Souza Francisco, por todos os ensinamentos que foram muito importantes para desenvolvimento do meu conhecimento.

Ao Programa de Bolsas de Fomento às Ações de Graduação, que junto com a Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, destinaram recursos para a compra de todos os materiais necessários para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos que me apoiaram e me acompanharam durante esta dura jornada.

RESUMO

CORRÊA, Jonathan Bruno Camargo. **Projeto de uma base de granito sintético para máquina didática de vibração**. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

A capacidade de amortecimento de vibrações é uma das propriedades mais importantes do granito sintético, é superior ao ferro fundido e tem sido empregado na construção de bases de máquinas ferramentas e de equipamentos de precisão. O uso do granito sintético para construção de base de máquinas visa suprir as limitações constatadas pelo uso do ferro fundido, onde os problemas provenientes da aplicação deste material estão relacionados aos elevados valores do coeficiente de expansão e condutividade térmica, que resultam em erros na fabricação. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo projetar e fabricar uma base de granito sintético para uma bancada didático-experimental de análise de vibração, e como objetivo principal a obtenção de melhorias no amortecimento de vibração da bancada, para que a base não influencie diretamente nos resultados da análise de vibração do sistema em si.

Palavras-chave: Granito Sintético. Resina Epóxi. Análise de Vibração. Bancada Didática.

ABSTRACT

CORRÊA, Jonathan Bruno Camargo. **Synthetic granite base project for didactic vibration machine**. 57 f. End-of-Course work (Bachelor of Engineering) – Federal Technology University of Parana. Cornélio Procópio, 2017.

The capacity to damp mechanical vibrations is one of the most important properties of synthetic granite, it is better than cast iron and it has been adopted in tool machine foundations and precision equipments manufacturing. The synthetic granite use for machine foundations manufacturing aims to supply the limitations identified by the use of cast iron, where problems coming from the application of that material are related with high values of thermal expansion coefficient and thermal conductivity, which result in manufacturing errors. This course conclusion work intends to design and manufacture a synthetic granite base for a vibration analysis experimental workbench, and its main goal is to achieve improvements in vibration damping of the experimental workbench, so that the base does not induce directly in the results of the vibration analysis system itself.

Keywords: Synthetic Granite. Epoxy Resin. Vibration Analysis. Didactic Workbench.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bancada comercial.....	13
Figura 2 – Bancada produzida em universidade.....	14
Figura 3 – Bancada experimental.....	17
Figura 4 – Bancada experimental.....	18
Figura 5 – Bancada experimental.....	18
Figura 6 – Bancada experimental existente.....	21
Figura 7 – Modelagem completa em 3D.....	22
Figura 8 – Molde, moldagem e desmoldagem de peças em granito sintético.....	24
Figura 9 – Modelagem do molde.....	26
Figura 10 – Detalhe da fixação dos insertos.....	27
Figura 11 – Detalhe da parte elétrica.....	28
Figura 12 – Processo de fresamento dos insertos do motor.....	29
Figura 13 – Processo de fresamento dos pinos.....	29
Figura 14 – Soldagem dos insertos do motor.....	30
Figura 15 – Insertos finalizados no processo de torneamento.....	31
Figura 16 – Insertos finalizados no processo de roscamento.....	31
Figura 17 – Montagem completa do molde.....	32
Figura 18 – Detalhe da fixação dos insertos (vista superior da base).....	32
Figura 19 – Grãos de granito natural triturados.....	33
Figura 20 – Peneiras para análise granulométrica.....	34
Figura 21 – Resina epóxi transparente com endurecedor.....	36
Figura 22 – Detalhe do processo para retirar bolhas.....	38
Figura 23 – Vaso de pressão utilizado.....	38
Figura 24 – Base de granito sintético após período de cura.....	39
Figura 25 – Montagem final da nova bancada experimental (vista anterior).....	40
Figura 26 – Montagem final da nova bancada experimental (vista posterior).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes da bancada	22
Tabela 2 – Densidade dos materiais	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 VIBRAÇÕES MECÂNICAS	16
3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	16
3.3 BANCADAS DIDÁTICO-EXPERIMENTAL	17
3.4 GRANITO SINTÉTICO	19
4 METODOLOGIA	21
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO	21
4.2 MEDIÇÕES E MODELAGEM DA BANCADA EXISTENTE	22
4.3 CONCEPÇÃO DO MOLDE	23
4.3.1 Modelagem do molde	25
4.3.2 Fabricação do molde	28
4.4 PREPARAÇÃO DA MISTURA	32
4.5 CONCEPÇÃO DA BASE	37
4.6 MONTAGEM DA NOVA BANCADA	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6 CONCLUSÃO	42
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO	47

1 INTRODUÇÃO

Uma das partes essenciais para melhorar a precisão de uma máquina é a sua base ou estrutura, sobre a qual todos os demais elementos construtivos estão apoiados. O material para sua fabricação requer elevada rigidez e capacidade de amortecer vibrações, entre outras propriedades desejáveis, que são geralmente atendidas pelo uso de ferro fundido. Porém, os problemas provenientes da aplicação deste material estão relacionados aos elevados valores do coeficiente de expansão e condutividade térmica, que resultam em erros na fabricação (BRUIN, 1982).

Outro material utilizado é o granito, que é um cerâmico natural de custo reduzido, com excelentes propriedades mecânicas e estabilidade dimensional, porém proporciona grande dificuldade na sua usinagem, limitando a fabricação de componentes que apresentam geometria complexa. Outra opção citada na literatura é o uso de estruturas de concreto, porém a reduzida estabilidade dimensional associada à absorção de água inviabiliza o seu emprego (SLOCUM, 1992).

O uso de materiais compósitos para construção de base de máquinas visa suprir as limitações constatadas pelo uso de ferro fundido e de granito nas aplicações até hoje conhecidas. Uma opção, apontada pela literatura, foi o desenvolvimento de compósitos com matriz polimérica de resina epóxi, nos quais o granito é inserido na forma de um pó com granulação fina (GARCIA e PURQUERIO, 1999). Relatos de pesquisadores identificaram o custo e a facilidade de moldagem como vantagens do emprego deste compósito para construção da base de microscópios (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999). Ainda, segundo Filho e Neto (2010), o granito sintético possui três vezes maior amortecimento do que o ferro fundido cinzento, para o mesmo volume de material.

Na busca pela aplicação de conceitos, validação de modelos teóricos e refinamento de projetos, a utilização de bancadas experimentais que simulam sistemas reais, revela-se uma alternativa bastante difundida em universidades e também em centros de pesquisa de todo o mundo, sendo perfeitamente possível a aplicação desse conceito para a análise de vibrações (JESUS e CAVALCANTE, 2011).

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

As bancadas experimentais desempenham ainda outro papel importante dentro das universidades. A utilização de ferramentas didáticas fornece ao estudante, a oportunidade de verificar determinados efeitos apresentados pela teoria, e fazer a aplicação desses conceitos em atividades práticas de forma correlacionada. Devido o fato de estar em um ambiente controlado, como o laboratório, é possível analisar resultados com possíveis variações de parâmetros, e dados de entrada, o que permite ao aluno tirar conclusões mais elaboradas em relação ao conteúdo que está sendo ministrado.

Segundo Amorim (2006), bancadas didáticas experimentais são equipamentos indispensáveis em atividades de ensino de todas as engenharias, agregando à formação acadêmica e preparando o estudante para situações que serão expostas ao longo de sua carreira.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma metodologia de projeto e fabricação de uma base de granito sintético para uma bancada didático-experimental. O objetivo é a concepção de uma base de baixo custo, que possibilite ser utilizada em trabalhos futuros para estudos de melhoria no amortecimento de vibrações utilizando materiais compósitos. Cabe ressaltar que, segundo Pinto e Xavier (2009), um bom desempenho do sistema em si também está ligado a menor tempo de manutenção, eliminando desperdícios e custos para as empresas.

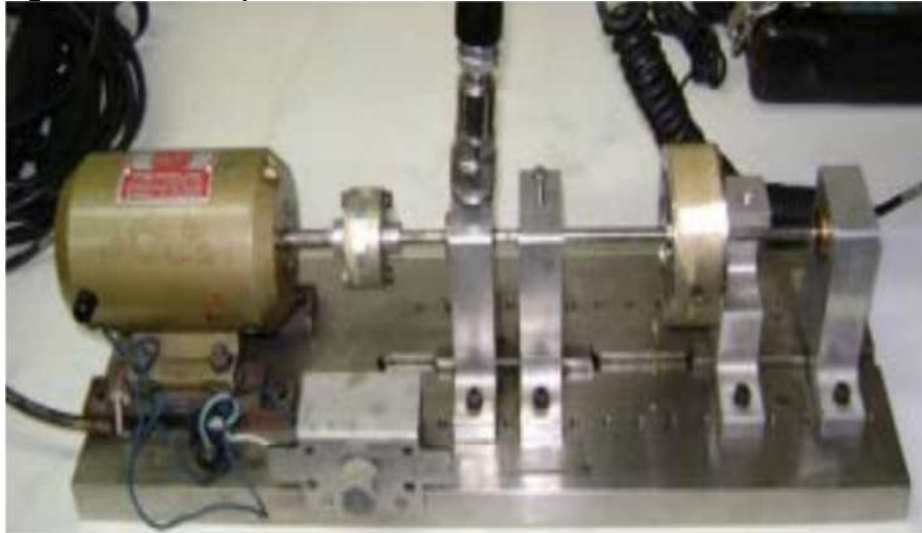
Segundo Lima (2014), os equipamentos didáticos para o ensino de engenharia disponíveis no mercado nacional são poucos, na maioria das vezes importados e muitas vezes extremamente caros. Na figura 1 é possível observar um modelo disponível para aquisição no mercado.

Figura 1 – Bancada comercial.

Fonte: Automatus Group (2017)

Somado a isto, no Brasil a construção e montagem de laboratórios exigem grandes investimentos por parte da instituição, que nem sempre disponibiliza a quantidade necessária de recursos para esse fim. Com a expansão do ReUNI essa demanda tem se tornado maior, visto que o surgimento de novos campus exige investimentos para a aquisição de equipamentos, o que pode ser um processo demorado por depender de recursos da universidade ou de órgãos de fomento a pesquisa, o que geralmente é muito burocrático. Uma alternativa encontrada por estudantes e pesquisadores é o desenvolvimento e construção de aparatos experimentais, como exemplificado na figura 2, que são utilizados em suas produções científicas. O desenvolvimento de equipamentos de baixo custo, ajustado com a capacidade de investimento das universidades, com ênfase na vertente didática, é uma alternativa totalmente viável, visando minimizar a necessidade existente nos atuais cursos de engenharia dos países em desenvolvimento.

Figura 2 – Bancada produzida em universidade.



Fonte: Jesus e Cavalcante (2011)

Estes argumentos motivaram a escolha da bancada didática para análise de vibração em máquinas rotativas, pois como trabalhos futuros poderão ser realizados estudos do comportamento do granito sintético na sua base que será projetada nesse trabalho, visto que também a mesma irá compor o laboratório da universidade, ou seja, uma vez montado o equipamento, o mesmo poderá ser utilizado como ferramenta de auxílio em diferentes áreas de pesquisas, tanto na graduação, iniciação científica e principalmente em aulas experimentais de disciplinas relacionadas.

Além disso, este estudo contempla todas as etapas de um projeto, desde a consolidação da ideia inicial, estudos de viabilidade e tecnologia dos materiais, desenvolvimento do modelo em CAD, e finalmente os processos de fabricação como usinagem e soldagem, o que demanda o domínio e aplicação de várias disciplinas realizadas ao longo do curso de engenharia de forma correlacionada.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho constitui-se do projeto e construção de uma base de granito sintético para máquina didática de vibração, com a finalidade de obter melhorias no amortecimento de vibração.

A máquina irá compor o Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Projetos Mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Cornélio Procopio, visando apoiar as atividades didáticas da disciplina de Vibrações e outras afins, bem como a realização de estudos do comportamento do granito sintético quando submetido a vibrações mecânicas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudo dos materiais envolvidos que irão conter no projeto através de pesquisas.
- Dimensionamento e modelagem do molde em software CAD (SolidWorks®).
- Fabricação do molde utilizando os recursos e equipamentos disponibilizados pela universidade, visando à redução dos custos de produção.
- Concepção da base proposta utilizando recursos concedidos pelo Programa de Bolsas de Fomento às Ações de Graduação.
- Montagem da nova bancada didática experimental, utilizando elementos de máquinas existentes de outra bancada do Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Projetos Mecânicos da universidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por interesse apresentar de forma breve todas as fundamentações teóricas que embasaram o projeto, englobando os conceitos básicos de vibrações mecânicas, tipos de manutenção, bancadas didático-experimental e granito sintético.

3.1 VIBRAÇÕES MECÂNICAS

Segundo Rao (2009), qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo pode ser denominado vibração. Uma massa suspensa acoplada a uma mola presa a um referencial, que se desloca da sua posição inicial até um limite superior e inferior, retornando a sua posição original é um sistema vibratório simplificado.

Este movimento é considerado um ciclo de oscilação completo e o tempo gasto para completar um ciclo é denominado período. A repetição desse movimento é chamada vibração por unidade de tempo e a quantidade de ciclos presentes nessa unidade de tempo é caracterizada frequência de movimento (SILVA, 2012).

3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo a norma NBR 5462 (1993), a manutenção é caracterizada como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas cujo intuito é manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

A manutenção pode ser classificada pela forma de intervenção, os tipos mais importantes para esse estudo são:

- Preventiva: É realizada por meio de intervenções programadas, baseadas em dados estatísticos ou mesmo em informações do próprio fabricante. Seu objetivo principal é a redução de falhas em um equipamento, visando evitar a parada do equipamento por quebra;
- Corretiva: Na manutenção corretiva a intervenção ocorre após a avaria do equipamento, permitindo assim que o mesmo retorne ao funcionamento;

- Preditiva: Segundo a norma NBR 5462 (1993) a manutenção preditiva permite garantir uma qualidade do serviço, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

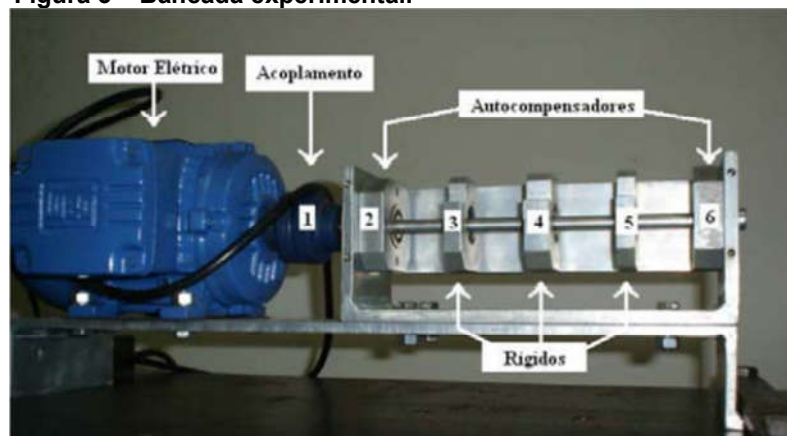
3.3 BANCADAS DIDÁTICO-EXPERIMENTAL

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de identificar a relevância das bancadas didáticas construídas dentro das instituições de ensino, os quais serviram como ponto de partida para esse projeto (NERY, 2008; PACHOLOK, 2004; MEOLA, 2005; MACÁRIO, 2006; GARCIA, 2005; SILVA, 2012; AMORIM 2006; JESUS e CAVALCANTE, 2011 dentre outros).

A seguir serão apresentados os trabalhos científicos de maior relevância e contribuição para o desenvolvimento da base de granito sintético apresentada neste trabalho. Estes se destacam pela simplicidade e baixo custo de fabricação.

Meola (2005) em sua dissertação de mestrado utilizou uma bancada composta por um motor elétrico, acoplamento, eixo, e cinco mancais de rolamento de esferas. Para o apoio do eixo foram utilizados três rolamentos rígidos e dois autocompensador. O trabalho teve como objetivo o monitoramento em tempo real da integridade dos sinais de vibrações coletados, em mancais de rolamentos para a realização da manutenção preditiva. A disposição da bancada utilizada no trabalho citado, pode ser observada na figura 3.

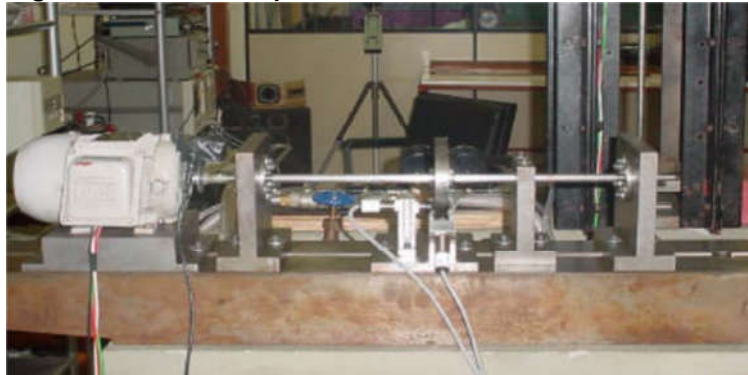
Figura 3 – Bancada experimental.



Fonte: Meola (2005)

Garcia (2005) utilizou uma bancada composta por um motor elétrico, acoplamento, eixo, dois mancais com rolamento, disco de massa e uma luneta para restrição do deslocamento do eixo, como pode ser observado na figura 4. O objetivo do trabalho é a aquisição de dados para diagnóstico de defeito mecânicos. Foram realizados vários testes em que simulavam situações de máquina nova, e diferentes tipos de avarias.

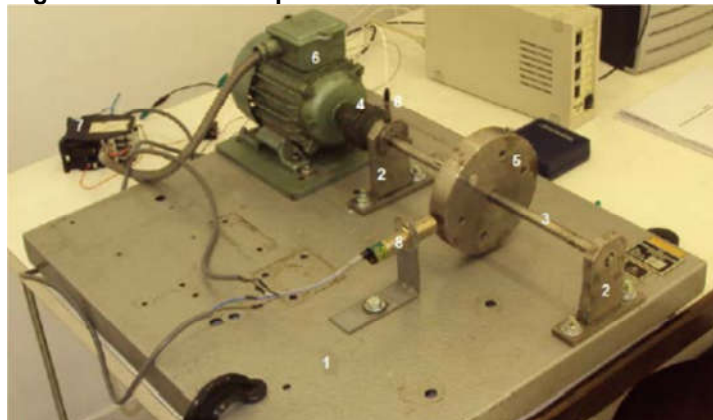
Figura 4 – Bancada experimental.



Fonte: Garcia (2005)

Silva (2012) utilizou uma bancada experimental para realizar a análise de possíveis falhas em máquinas rotativas, através da análise de vibração do sistema. A bancada apresentada na figura 5 é utilizada para fins didáticos e apresenta uma interessante disposição dos equipamentos e considerável simplicidade de montagem. Destaca-se a utilização de grampos do tipo “c” para fixação da bancada na superfície plana. Essa característica confere grande mobilidade à bancada, visto que a mesma pode ser acoplada em qualquer superfície plana.

Figura 5 – Bancada experimental.



Fonte: Silva (2012)

3.4 GRANITO SINTÉTICO

Segundo Ribeiro e Purquerio (1999), o granito sintético é um material estrutural constituído de agregados de granito natural de alta qualidade e de resina epóxi ou fenólica. A proporção em peso da resina na mistura é normalmente da ordem de 10% a 30% e varia em função da aplicação, características mecânicas desejadas e geometria da peça a ser construída.

Embora algumas propriedades específicas do granito sintético sejam inferiores às de outros materiais utilizados para essas mesmas aplicações, sistemas estruturais obtidos com este material são produzidos sem prejuízo nenhum de rigidez usando paredes mais espessas, o que não implica em aumento de peso devido a baixa densidade desse material. Espessuras de paredes internas ou externas da ordem de 3 a 4 vezes maiores do que a dos materiais tradicionais (ferro fundido ou alumínio) são comuns nas aplicações de granito sintético (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999).

As estruturas de granito sintético apresentam como importante característica, um amortecimento interno que chega a ser até 8 vezes maior do que o do ferro fundido. Estudos comparativos feitos em estruturas de máquinas ferramentas mostram que frequências de ressonância inferiores a 100,0 Hz são eliminadas e frequências da ordem de 170,0 Hz são reduzidas (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999).

Além do amortecimento interno, as estruturas de granito sintético possuem outras vantagens sobre as metálicas, particularmente com relação às variações térmicas. O fato de peças feitas de granito sintético terem paredes espessas, resulta em uma elevada inércia térmica, o que é vantajoso nas aplicações onde ocorre variações indesejáveis de temperatura (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999).

Junto ao granito deve-se ir a resina epóxi, cuja aplicação é responsável pelas propriedades de aderência, impermeabilidade e flexibilidade. Atualmente, as resinas são todas orgânicas, de natureza polimérica, exceto o silicato inorgânico de zinco, que se trata de um veículo inorgânico à base de silicatos de sódio, potássio ou lítio.

Segundo Jesus (2005), a resina epóxi é um polímero que contém dois ou mais grupos epóxi, na qual a mesma vem ganhando grande aceitação no mercado de moldagem por ter as seguintes vantagens:

- Excelente adesão a uma grande variedade de cargas;
- Obtenção de precisão dimensional na fabricação de estruturas;
- Boa resistência em ambientes quimicamente agressivos, tanto aquosos como não aquosos.

4 METODOLOGIA

Nesta seção serão detalhados todos os procedimentos e fundamentos utilizados para a caracterização do projeto, para as medições e modelagem da bancada existente e para a concepção do molde e da base realizadas no presente trabalho.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

O projeto caracteriza-se pela fabricação de uma base de granito sintético para uma máquina didática de vibração, sendo que as furações da mesma devem ser iguais às da bancada experimental existente, conforme mostra a figura 6, que encontra-se no Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Projetos Mecânicos da universidade, isso devido à montagem final da nova bancada ser utilizado elementos construtivos da existente. No entanto, tornam-se relevantes as medições e modelagem de cada item que irão compor o conjunto, principalmente da base.

Figura 6 – Bancada experimental existente.



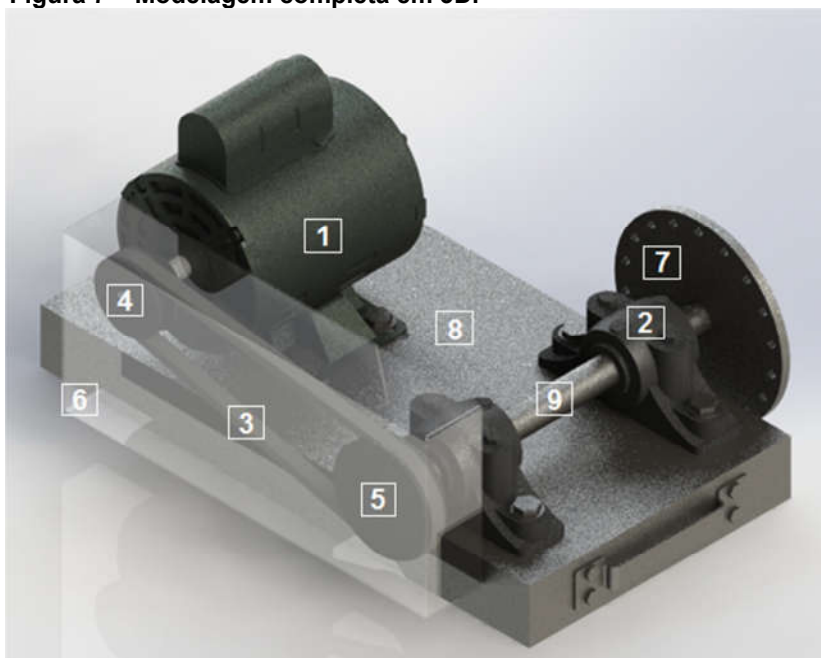
Fonte: Autoria Própria

4.2 MEDIÇÕES E MODELAGEM DA BANCADA EXISTENTE

A partir das medições realizadas com auxílio de um paquímetro e uma trena, foram realizadas a modelagem de cada peça utilizando a ferramenta CAD (*Computer Aided Design*), através do software SolidWorks® em sua versão 2013.

A figura 7 representa a modelagem completa do conjunto em 3D, sendo possível observar a disposição de cada componente que compõe a bancada. Apresenta-se ainda, na tabela 1, a lista dos principais componentes.

Figura 7 – Modelagem completa em 3D.



Fonte: Autoria Própria

Tabela 1 – Componentes da bancada

Item	Componente
1	Motor elétrico
2	Mancal de rolamento
3	Correia
4	Polia motora
5	Polia movida
6	Proteção das polias
7	Volante de massa
8	Base
9	Eixo

Fonte: Autoria Própria

4.3 CONCEPÇÃO DO MOLDE

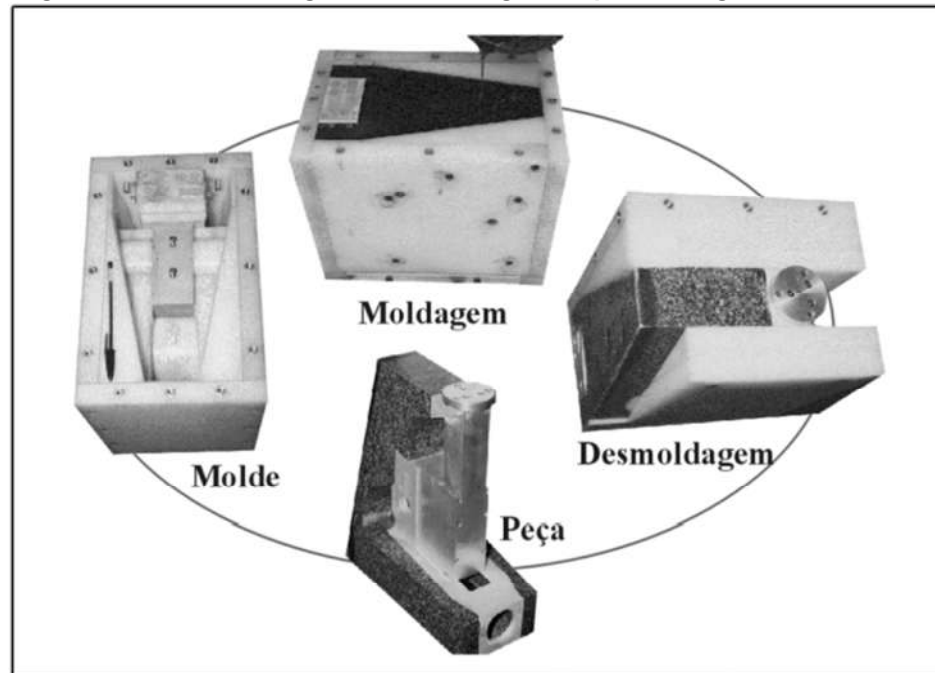
Após o desenvolvimento da bancada existente em CAD, tornou-se possível a realização de ideias para a concepção do molde. A primeira etapa foi realizar uma pesquisa bibliográfica a fim de identificar os materiais envolvidos. Depois disso, os próximos passos foram de modelagem e fabricação do mesmo.

Segundo Ribeiro e Purquerio (1999), o processo de obtenção de peças moldadas em granito sintético tem suas particularidades específicas. Suas características de projeto, fabricação dos moldes, preparação do material, moldagem e desmoldagem, fazem do granito sintético um material que necessita de técnicas de projeto e processamento diferenciado do convencional.

Por outro lado, o projeto de uma peça estrutural de granito sintético tem uma metodologia parecida com a de peças injetadas ou moldadas, porém com características particulares que as distinguem destes métodos. Todavia, analogamente às peças injetadas ou moldadas, o projeto de uma peça em granito sintético deve ser feito paralelamente com o projeto de seu molde, visando sempre o procedimento de preenchimento das cavidades bem como sua posterior desmoldagem (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999).

As características de desmoldagem de peças injetadas ou moldadas (ângulos de saída), não são necessariamente observadas em peças feitas em granito sintético, pois seu molde geralmente é desmontado na operação de desmoldagem, conforme ilustra a figura 8. Essa característica de desmoldagem oferece ao projetista uma liberdade bem maior na escolha da geometria da peça a ser reproduzida em granito sintético (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999).

Figura 8 – Molde, moldagem e desmoldagem de peças em granito sintético.



Fonte: Ribeiro e Purquerio (1999)

O molde para fabricação de uma peça estrutural de granito sintético deve propiciar rigidez alta para evitar deformações e ser suficientemente bem montado para não desmontar ou afrouxar durante a moldagem em uma mesa vibratória. Vários materiais podem ser utilizados na fabricação de moldes, cada um apresentando as suas vantagens e desvantagens (RIBEIRO e PURQUERIO, 1999). Em caso de produção seriada, com a intenção de diminuir o tempo ocioso na fabricação da peça, elementos de auxílio de desmoldagem da peça e desmontagem do molde devem ser adicionados.

Segundo Lintz (2003), os moldes utilizados para a fabricação de peças em granito sintético podem ser de aço, alumínio ou madeira. Os moldes de madeira são adequados para a fabricação de protótipos, peças de baixa precisão ou para serem usados uma só vez. Miolos de isopor são usados para reduzir a massa total das peças através da criação de seções vazadas. Partes metálicas e inserções de peças para rosqueamento podem ser embutidas na hora da moldagem.

Após a remoção do molde o material pode ser usinado ou furado usando as máquinas adequadas de corte ou furadeiras de alvenaria. Essas operações pós desmoldagem podem ser evitadas se durante a fase de moldagem das peças forem feitas as inserções de partes metálicas e volumes de isopor citados anteriormente.

Além dos benefícios proporcionados a nova técnica permite também a incorporação de condutos elétricos, tubagem de resfriamento e lubrificação fixados nas suas posições corretas durante a moldagem do corpo de prova (LINTZ, 2003).

Em condições normais, tolerâncias de planicidade da ordem de 0,08 cm/m podem ser transmitidas pelas paredes do molde. Para mais alta precisão do que esta, um material mais liso para as paredes do molde deve ser usado. Da mesma forma, assentos metálicos retificados podem ser colados à superfície e mantidos de forma precisa e segura na posição pelo emprego de um gabarito tanto no plano horizontal como no plano vertical. Novamente, tolerâncias bem apertadas podem ser mantidas sem a necessidade de posterior usinagem (LINTZ, 2003).

Uma vez que a usinagem até as dimensões finais, juntamente com outras operações tais como, longo ciclo de tratamento térmico, usinagens grosseiras, trabalho de ajustagens, obturações e às vezes até a pintura podem ser totalmente eliminadas ou reduzidas, uma economia de até 50%, comparado com o aço fundido, pode ser conseguida. Além disso, o produto final apresenta alta estabilidade dimensional com corpos-de-prova mostrando deformações diferenciais (retração) menores de 6 μm após um período de 6 anos. Outras características incluem alta rigidez e superior capacidade de amortecimento comparando-se com o aço. Esta última característica é de importância crescente tanto para estruturas sujeitas a alto impacto mecânico e vibração bem como para eliminar os efeitos da ressonância intrínseca de máquinas-ferramenta destinadas a produzir peças de alta precisão (LINTZ, 2003).

4.3.1 Modelagem do molde

Após as pesquisas bibliográficas citadas anteriormente, foi realizada a modelagem do molde conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – Modelagem do molde.



Fonte: Autoria Própria

Inicialmente, foram definidas todas as dimensões reais da nova bancada, buscando obter como resultado final um modelo preciso, principalmente dos furos, já que serão utilizados elementos de máquinas existentes, sendo de extrema importância a observação das tolerâncias dimensionais dos encaixes para a montagem final.

Segundo Ribeiro e Purquerio (1999), quando em uma estrutura de granito sintético existem tolerâncias estreitas entre dois ou mais insertos da estrutura, não é necessário repassar essa tolerância para o molde durante o seu projeto e fabricação. Elementos controladores de tolerâncias entre insertos, denominados de estruturas metrológicas, podem ser adicionados ao conjunto do molde para que sirvam de posicionadores desses insertos, podendo ou não fazer parte da peça.

A utilização deste tipo de estrutura metrológica deve ser feita de modo a minimizar ao máximo possível o efeito da cadeia dimensional da montagem das partes envolvidas. O número de peças cujas tolerâncias devem ser garantidas bem como os insertos metrológicos devem ser reduzidos para evitar o encarecimento do molde (RIBEIRO e PURQUERIO 1999).

No caso estudado, não existem tolerâncias estreitas entre dois ou mais insertos da estrutura. Desse modo, não foi utilizada nenhuma estrutura metrológica

para conferir a peça moldada em granito sintético, porém repassaram-se para o molde todas as tolerâncias necessárias para a montagem final.

A fixação dos insertos foi toda realizada com auxílio de elementos de fixação do tipo parafusos, porcas e arruelas conforme mostra a figura 10, sendo estes com cabeças sextavadas e cilíndricas para diâmetros menores.

Figura 10 – Detalhe da fixação dos insertos.



Fonte: Autoria Própria

Para a realização da parte elétrica também foram utilizados insertos e um tubo de PVC rígido $\varnothing 1/2$ " conforme mostra a figura 11. Sendo os insertos na forma de caixas para que os elementos como o botão liga/desliga e o dispositivo de segurança da correia fossem encaixados após o processo de desmoldagem, e o tubo rígido servindo como guia para os cabos elétricos que conectam todos os elementos necessários para o funcionamento da bancada.

Figura 11 – Detalhe da parte elétrica.



Fonte: Autoria Própria

4.3.2 Fabricação do molde

Após a finalização do desenvolvimento em CAD do molde, deu-se início a etapa de fabricação do mesmo. A princípio, foram realizados orçamentos dos materiais envolvidos como a madeira e os aços dos insertos. Em seguida, tendo-se todos os materiais em mãos com o menor custo sem influenciar na qualidade, foram usinados os insertos e fabricado o molde em madeira.

As figuras 12, 13 e 14 mostram alguns dos processos de fabricação que foram realizados, como usinagem e soldagem, sendo que as usinagens das peças foram feitas a partir de barras redondas e chapas de aço SAE 1020, e a soldagem realizada no processo MIG/MAG (GMAW).

Figura 12 – Processo de fresamento dos insertos do motor.



Fonte: Autoria Própria

Figura 13 – Processo de fresamento dos pinos.



Fonte: Autoria Própria

Figura 14 – Soldagem dos insertos do motor.



Fonte: Autoria Própria

Os desenhos técnicos dos componentes gerados a partir do modelo CAD e que foram utilizados para a usinagem, soldagem e cortes das madeiras, estão disponíveis no Apêndice A deste documento.

As figuras 15 e 16 ilustram alguns dos insertos finalizados no processo de torneamento, que logo após foram usinados os sextavados na fresadora e por fim realizados os processos de furações e roscamento dos mesmos.

Figura 15 – Insertos finalizados no processo de torneamento.



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 – Insertos finalizados no processo de roscamento.



Fonte: Autoria Própria

Após finalizar todos os processos de fabricação dos insertos, realizou-se a etapa de construção da caixa de madeira na qual seriam fixadas as peças prontas. A princípio, seguindo os desenhos técnicos realizados foi montado a caixa e posteriormente feitas as furações necessárias na mesma para a fixação dos insertos.

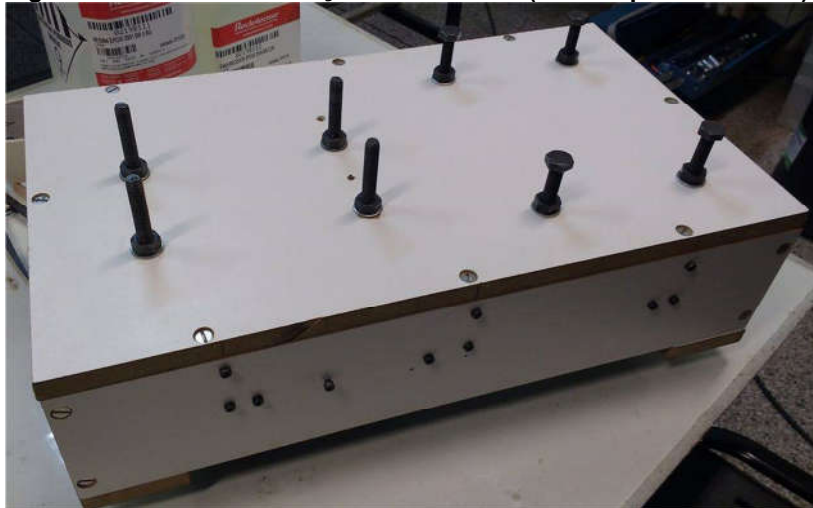
A próxima etapa foi a execução da montagem completa do molde conforme mostra a figura 17, que foram posicionados e fixados todos os insertos. Vale ressaltar que o molde deve propiciar alta rigidez para evitar deformações e ser suficientemente bem montado para não desmontar ou afrouxar durante a moldagem na mesa vibratória.

Figura 17 – Montagem completa do molde.



Fonte: Autoria Própria

Figura 18 – Detalhe da fixação dos insertos (vista superior da base).



Fonte: Autoria Própria

4.4 PREPARAÇÃO DA MISTURA

Nesta seção serão apresentados todos os procedimentos que foram realizados para a preparação da mistura do granito natural com a resina epóxi, antes de a mesma ser despejada no molde. A primeira etapa deu-se pelos cálculos da quantidade de cada material que foi utilizado, como o granito na forma em pó, a resina epóxi e o endurecedor. O granito utilizado foi obtido na forma de dejetos da

produção de artigos de construção civil, na forma de placas, que posteriormente foram moídas e peneiradas.

Segundo Wrege (2000), para a manufatura do granito sintético deve-se utilizar três tamanhos de grãos, 60% em peso de granito de acordo com o padrão ABNT/ASTM nº 10, com abertura de malha de 2.00 mm/ μ m denominado de grãos grossos, 20% de acordo com o padrão ABNT/ASTM nº 18, com abertura de 1.00 mm/ μ m denominado de grãos médios e por último os 20% segundo o padrão ABNT/ASTM nº 30, tendo-se o pó com abertura de 600 mm/ μ m denominados de grãos finos.

Figura 19 – Grãos de granito natural triturados.



Fonte: Aatoria Própria

Para a seleção dos grãos utilizou-se peneiras para análise granulométrica conforme mostra a figura 20. Para verificar a quantidade de grãos usou-se uma balança de precisão da marca Shimadzu, modelo BL3200H com capacidade máxima de 610g, mínima de 0,5g e sensibilidade de 0,01g.

Figura 20 – Peneiras para análise granulométrica.



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, verificou-se as quantidades de resina epóxi e endurecedor que utilizou-se. Segundo Chagas (2014), a proporção de 30% de resina epóxi na mistura apresenta-se como uma quantidade mais viável para projetos, apontando uma boa ductilidade e um ótimo limite de resistência, visto que a quantidade de endurecedor incluiu-se nesses 30% juntamente com a resina.

As equações abaixo mostram os cálculos que foram realizados para obter-se a quantidade de cada material utilizado na mistura, conforme cálculos de volumes e densidade de cada material (tabela 2), respeitando a quantidade determinada pela literatura de 1:2 de resina epóxi e endurecedor nos 30% do volume total.

Tabela 2 – Densidade dos materiais

Material	Densidade (g/cm ³)
Granito em pó	2,70
Resina epóxi	1,11
Endurecedor	0,96

Fonte: Autoria Própria

A princípio, o primeiro passo foi encontrar o volume final do molde, na qual foi a diferença entre o volume total da caixa sem os insertos e o volume dos insertos no seu interior, dado pelo seguinte cálculo:

$$\text{Volume final} = 0,01442925 \text{ m}^3 - 0,001066276 \text{ m}^3 = 0,013362974 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Agora, como tem-se o volume final e as porcentagens que devem ser utilizadas conforme a literatura, é possível encontrar as quantidades em volume de grãos, de resina epóxi e de endurecedor a ser utilizada na mistura, através das seguintes equações:

$$\text{Volume de grãos} = 0,7 * 0,013362974 \text{ m}^3 = 0,009354082 \text{ m}^3 \quad (2)$$

$$\text{Volume resina e endurecedor} = 0,3 * 0,013362974 \text{ m}^3 = 0,004008892 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Após a definição dos volumes de cada material e sabendo que o cálculo de massa é o produto entre a densidade e o volume, foi possível determinar a quantidade em massa dos mesmos conforme as equações abaixo, já que tem-se a densidade de cada conforme a tabela 2.

$$\text{Massa total de grãos} = 2700 \text{ Kg/m}^3 * 0,009354082 \text{ m}^3 \approx 25 \text{ Kg} \quad (4)$$

$$\text{Massa de grãos grossos} = 0,6 * 25 \text{ Kg} \approx 15 \text{ Kg} \quad (5)$$

$$\text{Massa de grãos médios} = 0,2 * 25 \text{ Kg} \approx 5 \text{ Kg} \quad (6)$$

$$\text{Massa de grãos finos} = 0,2 * 25 \text{ Kg} \approx 5 \text{ Kg} \quad (7)$$

$$\text{Massa de resina} = 1110 \text{ Kg/m}^3 * 0,002540288 \text{ m}^3 \approx 3 \text{ Kg} \quad (8)$$

$$\text{Massa de endurecedor} = 960 \text{ Kg/m}^3 * 0,001468604 \text{ m}^3 \approx 1,5 \text{ Kg} \quad (9)$$

A figura 21 mostra a resina epóxi e o endurecedor que foram utilizados na mistura, sendo ambos da marca Redelease.

Figura 21 – Resina epóxi transparente com endurecedor.



Fonte: Autoria Própria

Após a seleção da quantidade dos materiais, o próximo passo foi realizar a mistura dos mesmos, na qual executou-se de forma manual separando em duas misturas para facilitar o processo, porém constatou-se dificuldades no processo de homogeneização dos elementos, sendo deixado como sugestão para trabalhos futuros um projeto de um misturador a fim de realizar outros trabalhos com o mesmo procedimento.

Antes de realizar o despejamento da massa foram feitas a limpeza e a aplicação de desmoldante (cera de carnaúba) no molde, visto que por ser novo o molde houve necessidade de se fazer o amaciamento do mesmo aplicando várias demãos de cera seguidas de um posterior polimento.

Segundo especialistas, o uso de catalisador depende do tempo que requer-se curada a mistura, na qual este é empregado um peróxido orgânico conhecido comercialmente como MEK-P (peróxido de metil etil cetona), sendo um líquido incolor de odor característico.

Outro tipo de material utilizado na fabricação de moldes é o Gel Coat que, segundo os fabricantes de moldes é utilizado na etapa de desmoldagem e apresenta-se como uma camada fina que protege e dá brilho à superfície do granito sintético, podendo ser feita a aplicação com pincel ou a pistola.

No entanto, para o presente projeto não houve necessidade do uso de catalisador e outros tipos de desmoldantes, sendo necessária apenas a utilização de cera de carnaúba.

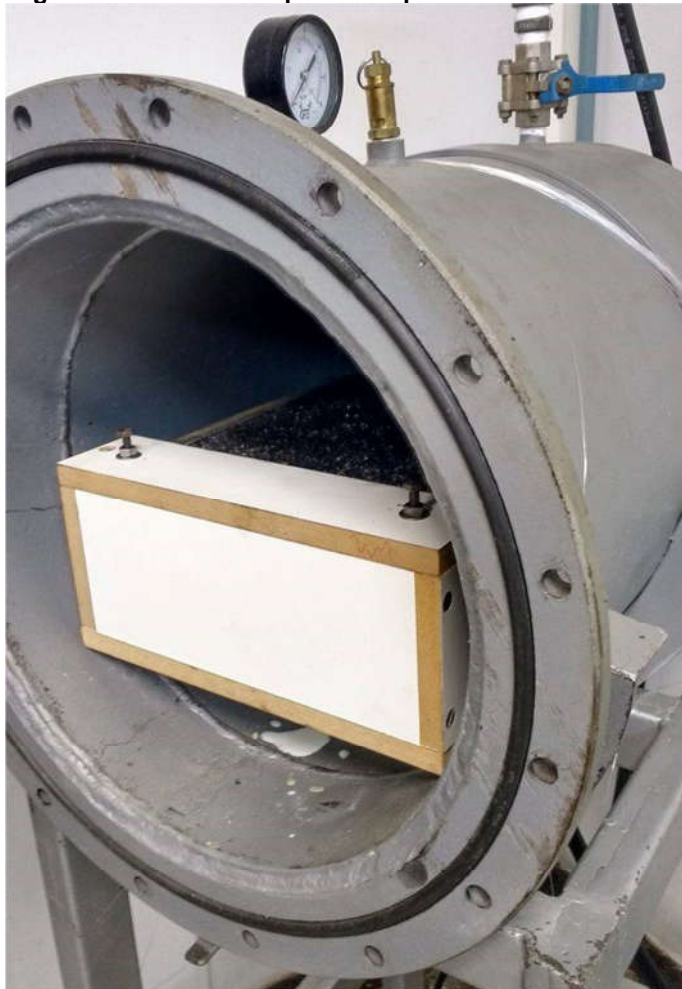
4.5 CONCEPÇÃO DA BASE

Com o molde e a mistura prontos, o conteúdo foi despejado no molde executando-se de forma manual a vibração do mesmo, já que não conseguiu-se disponibilidade de algum equipamento para realizar o processo de vibração.

Segundo Lintz (2003), o tempo de vibração do material dentro do molde deve ser o necessário para que o compósito alcance o seu mais alto grau de empacotamento. Depois do período da vibração o conjunto deve ficar curando entre 8 e 10 horas. A peça é removida do molde após o período de cura, mas o material só alcançará sua plena resistência mecânica e estabilidade volumétrica após 5 a 6 dias.

Após realizar a vibração do material dentro do molde, levou-se o mesmo até um vaso de pressão conforme mostra a figura 22, isto para retirar bolhas e possíveis imperfeições na hora da moldagem. O vaso de pressão encontra-se no Laboratório de Materiais da universidade, com capacidade de 15 Kgf/cm², onde adotou-se o tempo de cura de 10 horas a uma pressão constante de 10 Kgf/cm².

Figura 22 – Detalhe do processo para retirar bolhas.



Fonte: Autoria Própria

Figura 23 – Vaso de pressão utilizado.



Fonte: Autoria Própria

Após o período de cura a peça foi removida do molde conforme mostra a figura 24 e levada ao Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Projetos Mecânicos da universidade para realizar a montagem final da nova bancada, utilizando-se elementos de máquinas existentes de outra bancada de testes.

Figura 24 – Base de granito sintético após período de cura.



Fonte: Autoria Própria

4.6 MONTAGEM DA NOVA BANCADA

As figuras 25 e 26 mostram a montagem final da nova bancada de vibração, pronta para ser utilizada como ferramenta de auxílio em diferentes áreas de pesquisas, tanto na graduação, iniciação científica e principalmente em aulas experimentais de disciplinas relacionadas com vibrações mecânicas.

Figura 25 – Montagem final da nova bancada experimental (vista anterior).



Fonte: Autoria Própria

Figura 26 – Montagem final da nova bancada experimental (vista posterior).



Fonte: Autoria Própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização do granito sintético como material estrutural aplicado à base da bancada experimental proporcionou um resultado satisfatório com relação ao projeto do molde e custos de fabricação. A análise de custo feita ligeiramente e comparativamente com materiais usuais no mercado, mostra o custo em peso do granito sintético moldado inferior a outros tipos de materiais, como por exemplo, o ferro fundido. Se forem avaliados os custos de tratamento térmico e usinagem, o custo de uma peça construída em granito sintético torna-se significativamente inferior ao ferro fundido, pois este material tem um custo de usinagem limitado à usinagem dos insertos e nenhum tratamento posterior na estrutura, sendo que esta é extraída do molde praticamente pronta.

O uso dos insertos propiciou a obtenção de uma base com tolerâncias desejadas sem a utilização de um molde com tolerâncias de fabricação estreitas. Além disso, os insertos serviram como guia para a montagem final da nova bancada de testes, na qual durante a fase de pós desmoldagem da base evitou-se operações de furações na mesma. Além dos benefícios proporcionados dos insertos, a nova técnica utilizada permitiu também a incorporação de condutos elétricos para o funcionamento da parte elétrica, utilizando tubo rígido fixado na sua posição correta durante a moldagem da base.

A metodologia de projeto utilizada mostrou ser eficiente, pois propiciou a concepção de uma peça otimizada com um tempo de projeto extremamente curto e resultados satisfatórios e confiáveis. A utilização do CAD como ferramenta de concepção de projeto foi de extrema importância na velocidade de obtenção e confiabilidade dos dados obtidos. Com esta ferramenta pôde-se validar, modelar e analisar a geometria da base proposta sem a utilização de um protótipo, otimizando assim custos e tempos de projeto.

Ensaio de amortecimento de vibrações devem ser realizados para comparar o compósito apresentado com o aço da antiga base, utilizando-se a técnica de análise modal.

A funcionalidade do novo equipamento com a sua estrutura em granito sintético foi comprovada com a montagem final, cujos resultados de montagem foram plenamente satisfatórios.

6 CONCLUSÃO

A metodologia de projeto aplicada no uso do granito sintético apresentada neste trabalho mostra que a utilização deste material como opção de material estrutural apresenta um estágio satisfatório e que é possível a sua aplicação em uma grande quantidade de produtos, onde a precisão é o fator principal, bastando para isso, investir no aprimoramento das técnicas de moldagem para que a viabilidade de utilização do granito sintético em equipamentos de precisão de alta produção seja confirmada.

É indispensável destacar-se que as principais aplicações dos equipamentos comerciais são desenvolvidas pelo equipamento novo montado neste trabalho. Quando comparado o investimento necessário para a aquisição de um equipamento comercial com o valor de produção de uma bancada realizada como esta, fica evidente de acordo com os trabalhos citados, que a produção de equipamentos experimentais dentro da universidade é uma alternativa perfeitamente viável, servindo como ferramenta para o aprimoramento do curso.

De acordo com os materiais compósitos utilizados no projeto da base proposta neste trabalho, é possível realizar testes de funcionamento na nova bancada, fazendo uma comparação e verificação da capacidade de reprodução dos sinais de vibração. A verificação dessa informação pode ser realizada através da análise dos sinais de vibração realizados no equipamento, que se deve conferir com a teoria apresentada na disciplina de vibrações e áreas afins estudadas.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se realizar:

- Estudos comparativos na base de aço anterior com a base de granito sintético realizada neste trabalho, verificando a capacidade de reprodução dos sinais de vibração;
- Um projeto e construção de um equipamento do tipo britador para triturar o granito natural em possíveis trabalhos futuros que irão utilizá-lo novamente;

- Um projeto e construção de um equipamento do tipo misturador para realizar a mistura de forma homogênea dos materiais envolvidos em projetos futuros utilizando os mesmos procedimentos deste;
- A fabricação de uma mesa vibratória para realização do processo de vibração dos materiais durante o procedimento de moldagem;
- Uma modelagem numérica MEF, realizando uma análise modal da base proposta;
- Análises de custos e viabilidade comparando uma bancada comercial com esta montada neste trabalho, apontando todos os custos necessários para fabricação e montagem de um equipamento completo dentro da universidade;
- Melhorias no processo de fabricação dos insertos e do molde, visando a otimização de uma nova base proposta utilizando outro tipo de material compósito;
- Um projeto novo de uma base utilizando na mistura com o granito natural em pó a resina de mamona (poliuretano vegetal), que diferente da resina epóxi apresenta-se como totalmente atóxico e isento de solventes, visando assim a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1993.

AMORIM, Mauricio Jose. **Desenvolvimento de bancada didático experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações**. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

AUTOMATUS GROUP. **Tecnologia em bancadas didáticas**. Disponível em: <<http://www.grupautomatus.com.br/>>. Acesso em: 10 Fev. 2017.

BRUIN, W. D. **Dimensional stability of materials for metrological and structural applications**. Annals of the CIRP, v. 31, n. 2, pp. 553-560. 1982.

CHAGAS, Natália Castanho. **Estudo do granito sintético para base de máquinas**. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

FILHO, Antonio Piratelli; NETO, Flaminio Levy. **Comportamento de vigas de compósitos granito-epóxi submetidas a vibrações mecânicas**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0345.pdf>>. Acesso em: 10 Fev. 2017.

GARCIA, Leonardo Guimarães; PURQUERIO, Benedito de Moraes. **Tecnologia de projeto de cabeçote hidrostático de ultraprecisão utilizando cerâmica de alumina e granito sintético**. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM) – LAMAFE-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/cobem/1999/pdf/aaagih.pdf>>. Acesso em: 10 Fev. 2017.

GARCIA, Maurício Sanches. **Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir da monitoração de vibrações**. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

JESUS, Marco Sousa. **Desenvolvimento de um compósito polímero-metal á base de resina epóxi para aplicações em moldes rápidos**. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

JESUS, Solival Santana de; CAVALCANTE, Paula Francinetti. **Utilização de bancadas de ensaio para estudos do comportamento dinâmico de máquinas rotativas**. Revista de Divulgação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia, 2011.

LIMA, Israel Antônio Macedo de. **Proposição de uma bancada didática para análise de vibração em manutenção preditiva**. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília, 2014.

LINTZ, Rosa Cristina Cecche. **Estudo de materiais alternativos para a fabricação de estruturas de máquinas-ferramenta**. 104 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

MÁCARIO, Ciro Clayton Lima. **Utilização de filtros adaptativos para detecção de falhas em mancais de rolamento**. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

MENDONÇA, Renata Maéry de Lima et al. **Compósitos particulados para aplicações em engenharia de precisão: Obtenção e propriedades mecânicas**. II Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF) – Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2003/artigos/COF03_0354.pdf>. Acesso em: 10 Fev. 2017.

MEOLA, Tatiana. **Monitoramento em tempo real da qualidade de sinais de vibrações utilizando inteligência artificial**. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

NERY, Roberta Tamara da Costa. **Desenvolvimento de uma ferramenta virtual para análise de vibração em máquina rotativa: Aplicação em uma bancada didática**. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2008.

PACHOLOK, Mariano. **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos e máquinas rotativas: Uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações**. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2004.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção: Função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

RAO, Singiresu S. **Vibrações mecânicas**. 4ª ed. Americana: Pearson Prentice Hall, 2009.

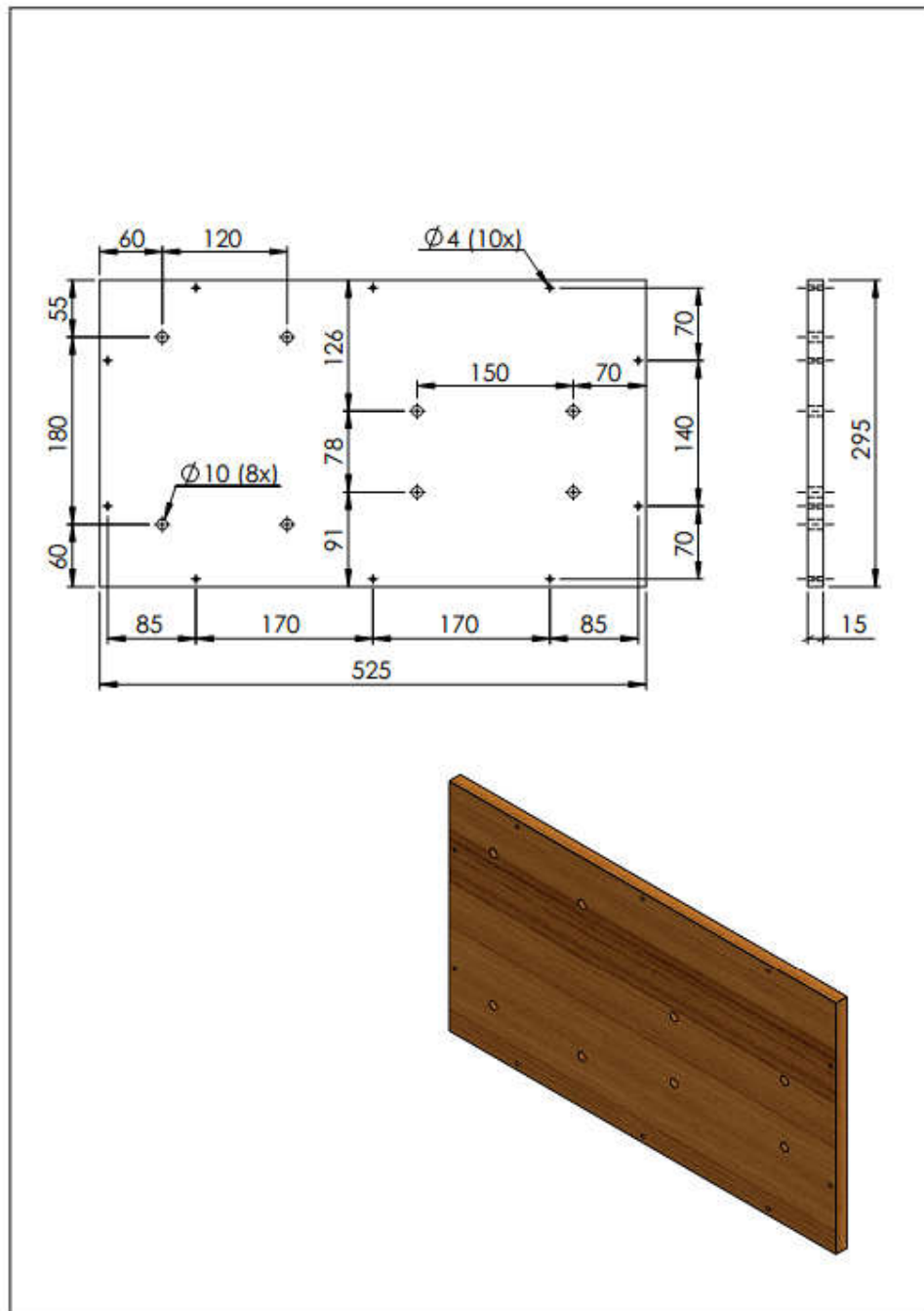
RIBEIRO, Fernando de Moraes Mendonça; PURQUERIO, Benedito de Moraes. **Granito sintético para estruturas de equipamentos de precisão de pequeno porte: Metodologia de projeto**. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM) – LAMAFE-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/cobem/1999/pdf/AAAGJJ.pdf>>. Acesso em: 10 Fev. 2017.



SILVA, Bruna Tavares Vieira da. **Bancada para análise de vibração: Análise de falha em máquinas rotativas**. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, 2012.

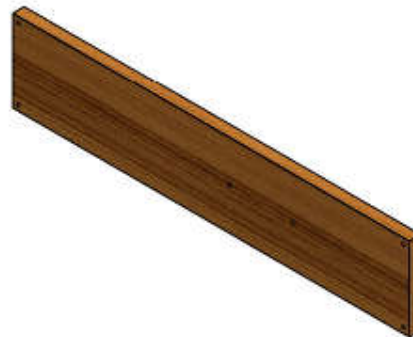
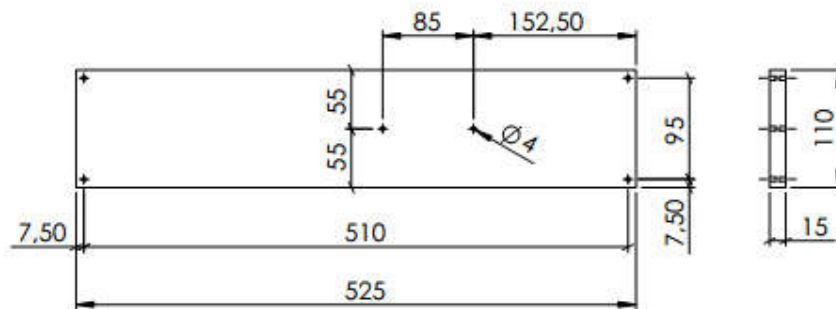
SLOCUM, Alexander H. **Precision machine design**. 750 p. New Jersey: Prentice Hall, Inc. 1992.

WREGE, Paulo Alberto Silveira. **Metodologia para a obtenção de esferas de cerâmica para próteses de quadril**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS DO PROJETO

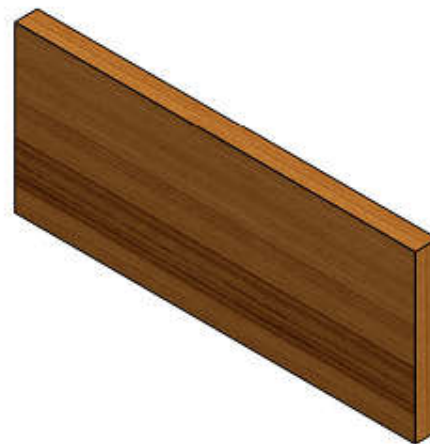


UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 01 PEÇA	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: MADEIRA	DATA: 28/04/2017
		NOME: PEÇA 1 DA CAIXA DE MADEIRA	
		PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:5	UNIDADE: [mm]
 CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA ATIVIDADE: TCC 2 <small>CAMPUS CORNELIO PROCOPIO</small>			



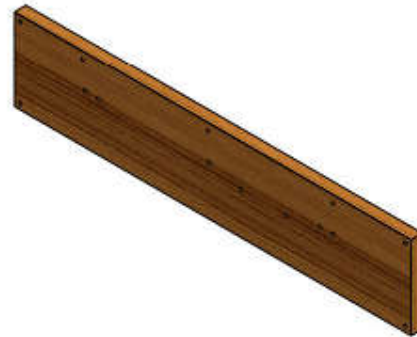
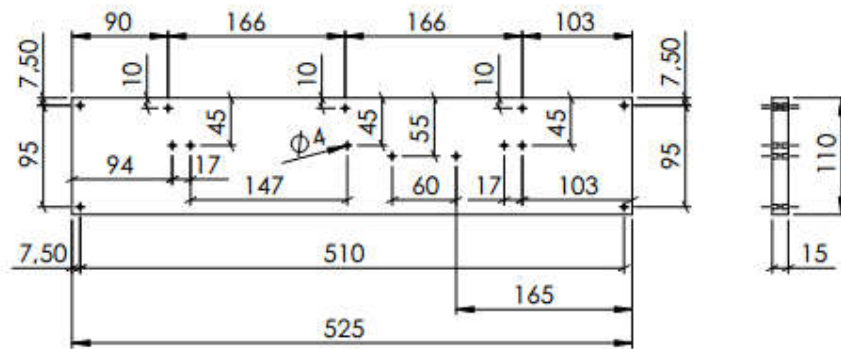
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 01 PEÇA	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: MADEIRA	DATA: 28/04/2017
UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNELIO PROCOPIO	CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA	NOME: PEÇA 2 DA CAIXA DE MADEIRA	
	ATIVIDADE: TCC 2	PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:5	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Monitor em Final



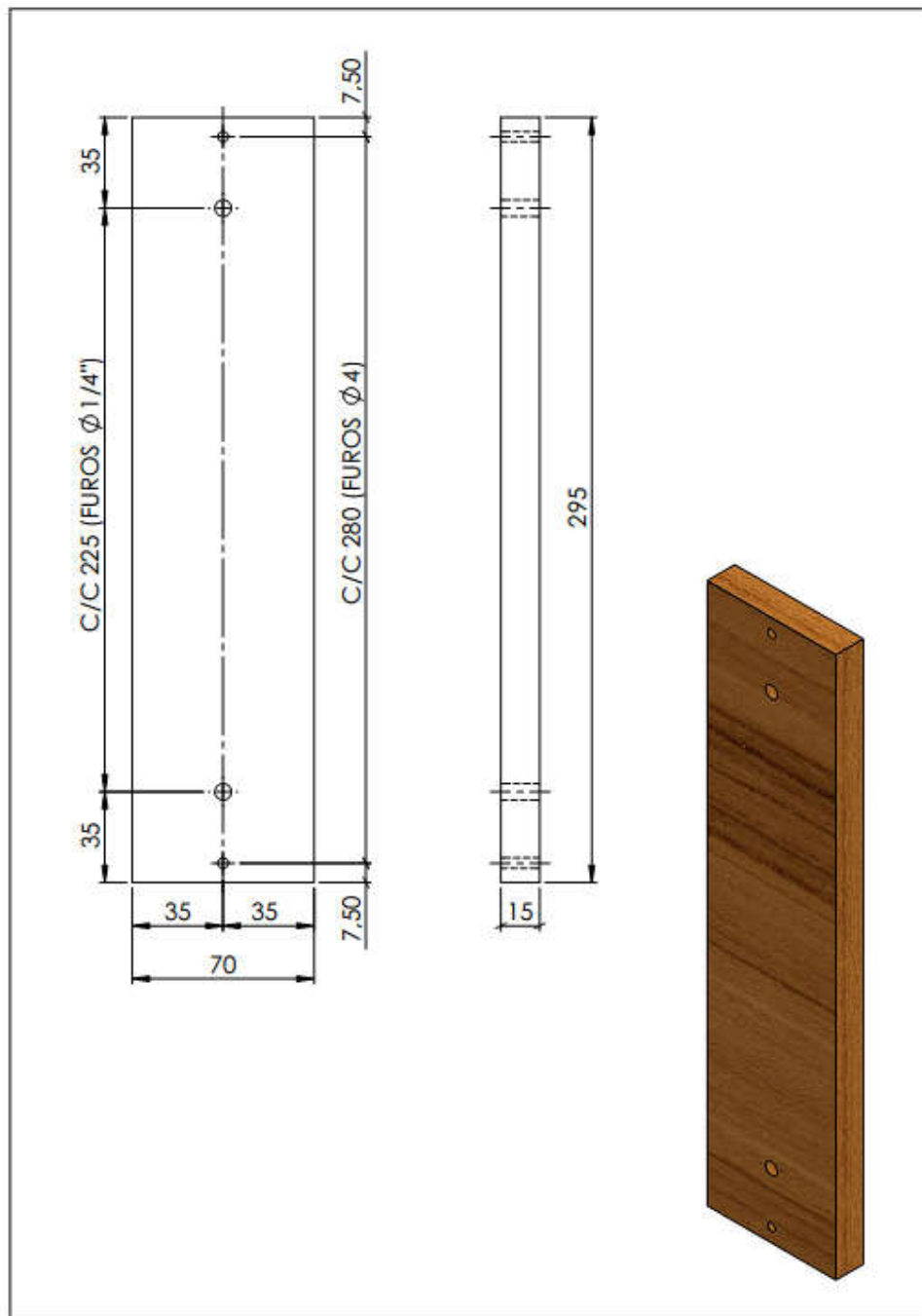
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 02 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: MADEIRA	DATA: 28/04/2017
		NOME: PEÇA 3 DA CAIXA DE MADEIRA	
		PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:2.5	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Jonathan Pinheiro



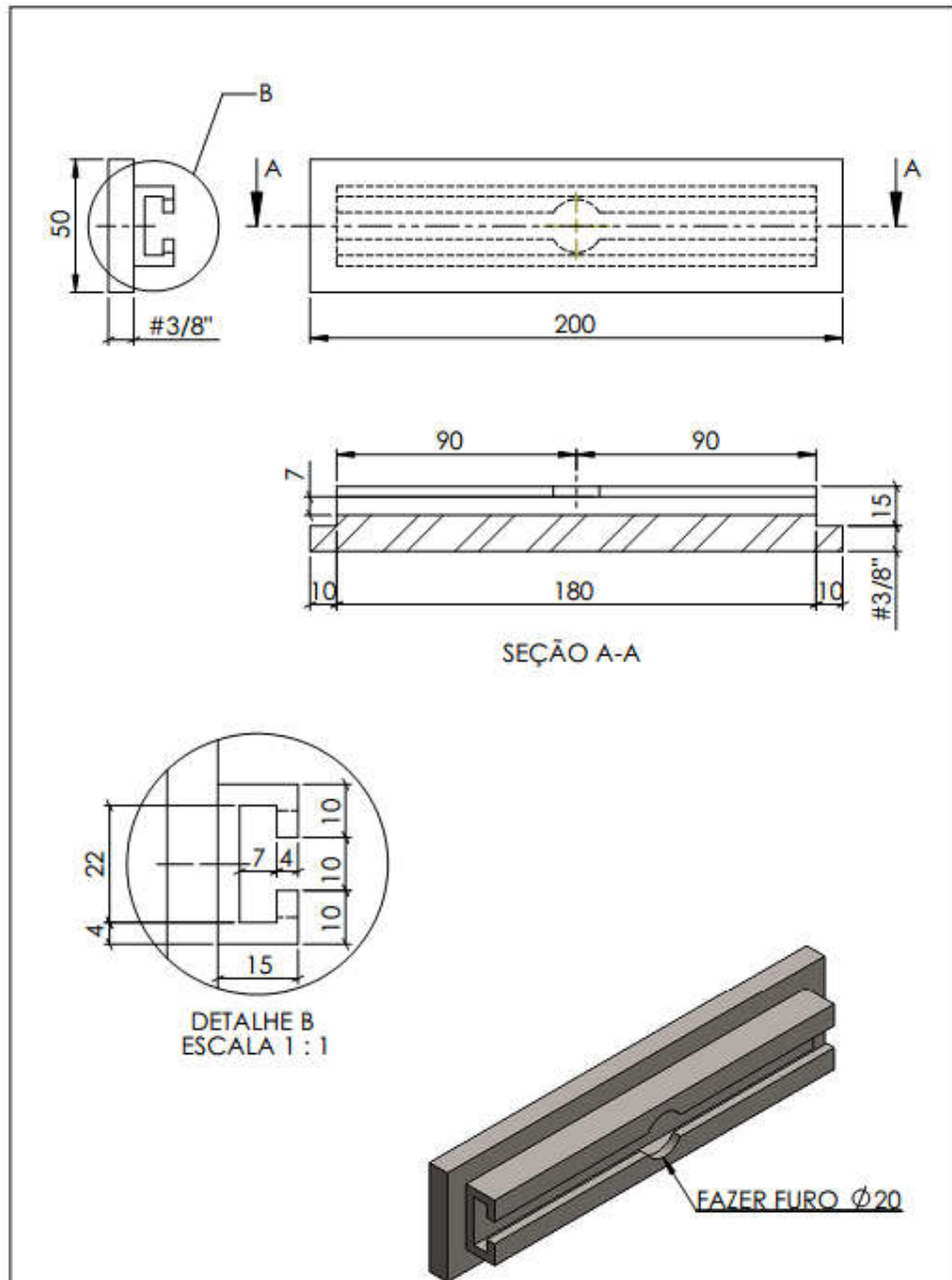
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 01 PEÇA	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: MADEIRA	DATA: 28/04/2017
UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNÉLIO PROCOPIO	CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA	NOME: PEÇA 4 DA CAIXA DE MADEIRA	
	ATIVIDADE: TCC 2	PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:5	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\2. Base de Granito\Montagem Final\



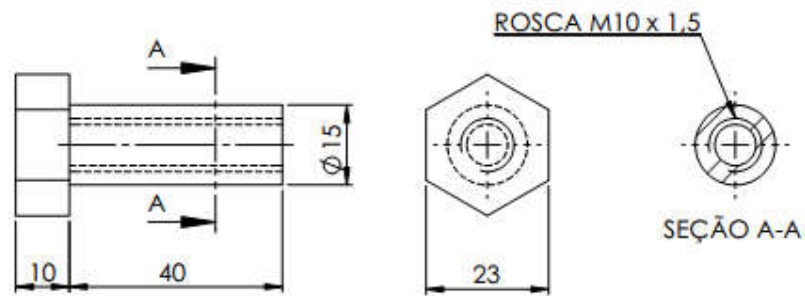
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 02 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: MADEIRA	DATA: 28/04/2017
		NOME: PEÇA 5 DA CAIXA DE MADEIRA	
		PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:2	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Jonathan Pinheiro



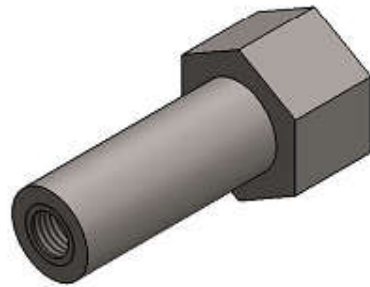
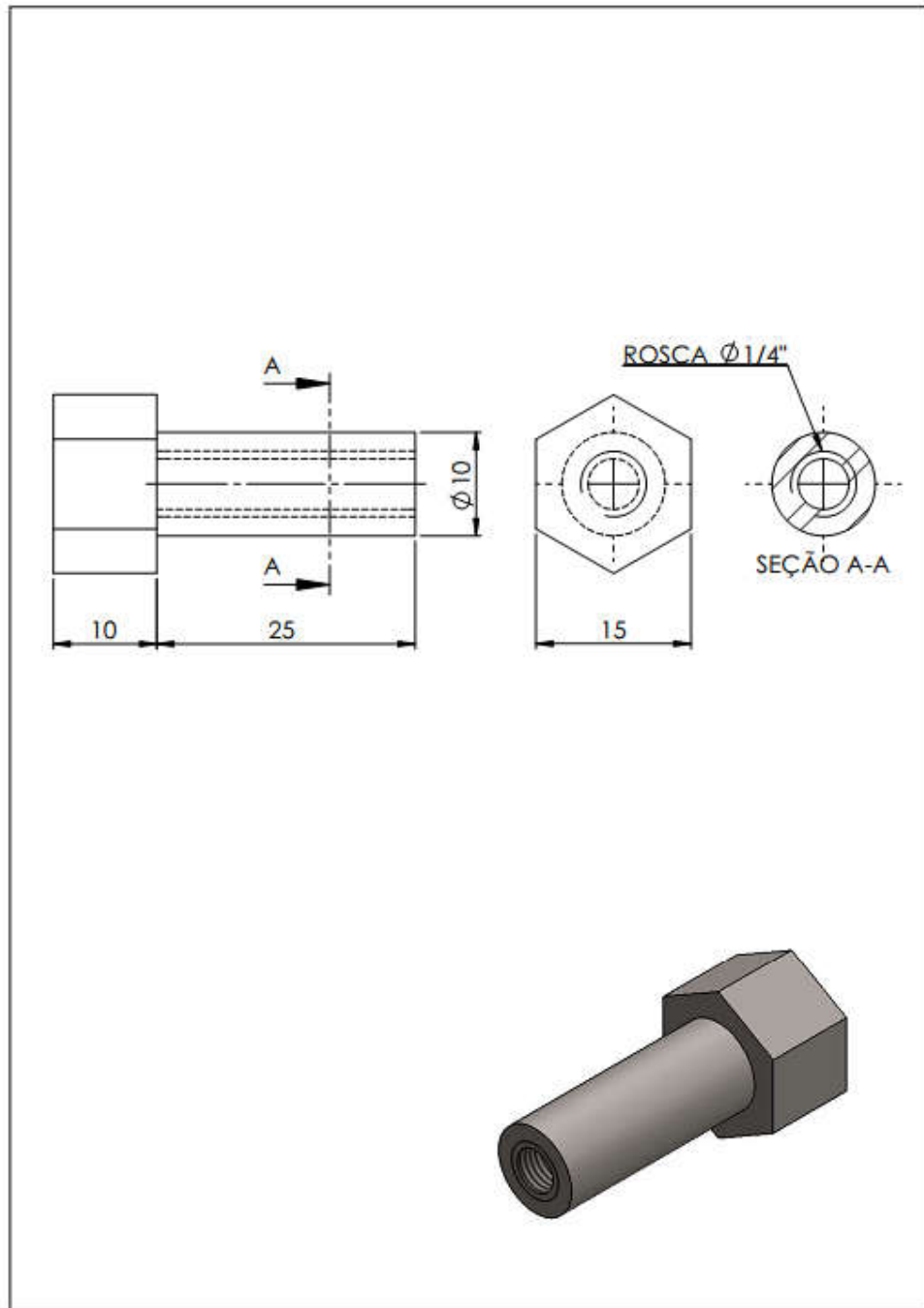
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 02 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: SAE 1020	DATA: 28/04/2017
		NOME: INSERTO DO MOTOR	
		PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:2	UNIDADE: [mm]



D:\JONATHAN\Ferramentas Mecânicas\UTPRP\UTP Peças\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Montagem Final\



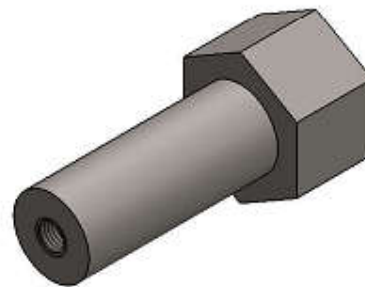
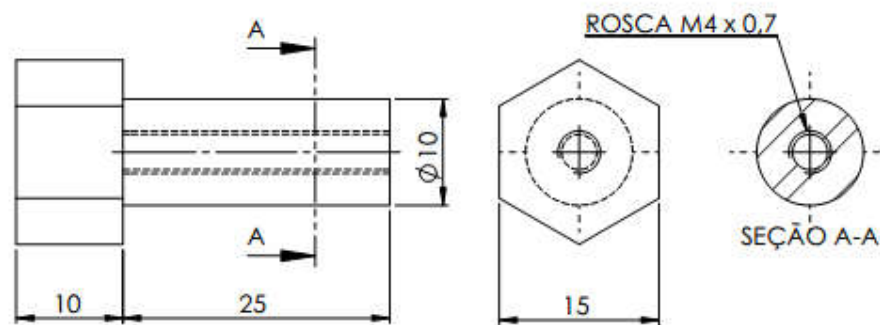
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 04 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: SAE 1020	DATA: 28/04/2017
UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNELIO PROCOPIO	CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA	NOME: INSERTO DOS MANCAIS	
	ATIVIDADE: TCC 2	PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:1	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Gestão\Monitor em Final



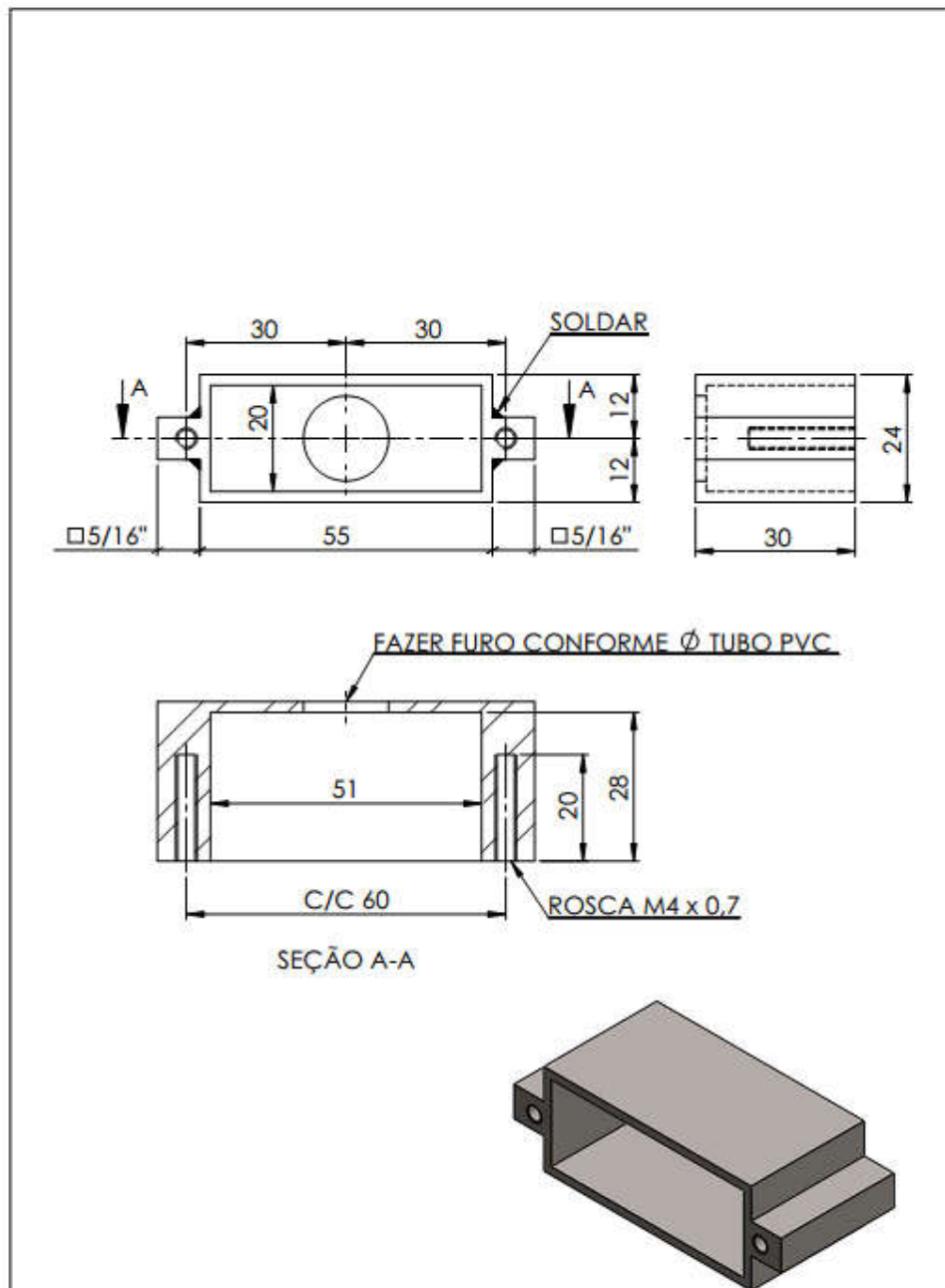
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 04 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: SAE 1020	DATA: 28/04/2017
		NOME: INSERTO DOS AMORTECEDORES	
		PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 2:1	UNIDADE: [mm]
 CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA ATIVIDADE: TCC 2 <small>CAMPUS CORNELIO PROCOPIO</small>			

BY: JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTPR\UFPR\Beirão\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Monitor em Física



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 08 PEÇAS	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: SAE 1020	DATA: 28/04/2017
UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CORNELIO PROCOPIO	CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA	NOME: INSERTO DA PROTEÇÃO DAS POLIAS	
	ATIVIDADE: TCC 2	PROF: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 2:1	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Engenharia Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso - 2º Ano de Gestão - Mecânica Final



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		QUANT.: 01 PEÇA	DESENHO: JONATHAN
		MATERIAL: SAE 1020	DATA: 28/04/2017
		NOME: CAIXA DISPOSITIVO DE SEGURANÇA	
		PROF.: ROGÉRIO	FOLHA 1 DE 1
		ESCALA: 1:1	UNIDADE: [mm]

D:\JONATHAN\Ensino\Bacharelado Mecânica - UTFPR - UF Paraná\Trabalho de Conclusão de Curso\Aluno de Graduação\Jonathan\Jonathan Final