GUSTAVO HENRIQUE DA COSTA

SOFIA FROEHLICH KOHL

PROJETO DE KITS DIDÁTICOS PARA AUXILIAR NO PROCESSO ENSINO – APRENDIZAGEM DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Trabalho apresentado ao Curso Técnico de Mecânica da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha para atender ao Projeto Interdisciplinar requisitado pelo curso.

Orientador: Ronaldo Raupp

Novo Hamburgo, setembro de 2016.

ASSINATURAS

GUSTAVO HENRIQUE DA COSTA

SOFIA FROEHLICH KOHL

CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

PROJETO DE KITS DIDÁTICOS PARA AUXILIAR NO PROCESSO ENSINO – APRENDIZAGEM DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Novo Hamburgo, setembro de 2016.

_____

Aluno – Contato

_____

Aluna

_____

Ronaldo Raupp

Professor Orientador

Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

RESUMO

A disciplina de resistência dos materiais é de suma importância no curso técnico de mecânica e vários são os alunos que demonstram dificuldades em compreendê-la. Considerando tais aspectos, decidiu-se desenvolver o projeto em questão. Concebeu-se a ideia de projetar uma estrutura em que fosse possível simular cada uma das seis solicitações aos materiais (tração, compressão, flexão, flambagem, torção, cisalhamento) estudadas durante as aulas. Empregando-se conjuntos de materiais (kits) que são acoplados à estrutura e que compõem "corpos de prova" (cps), objetiva-se a demonstração dos fenômenos através da aplicação de forças aos materiais, ilustrando, dessa maneira, o comportamento dos cps às cargas. A pesquisa foi iniciada pela procura a produtos semelhantes à proposta do projeto; encontraram-se bancadas didáticas muito completas em atender a disciplina de resistência dos materiais – como as da NOVA DIDACTA e da DIDATECH, contudo essas são operadas por softwares que encarecem o sistema além de ocuparem espaços relativamente grandes e não serem facilmente transportáveis. Como prosseguimento, definiram-se os materiais que seriam utilizados em uma possível construção de protótipo: perfil retangular 30 mm x 20 mm x 1 mm (de parede) de aço baixo carbono 1012 (para a estrutura), cordão esponjoso de borracha EPDM e espuma poliuretana (densidades 33 kg/m³ e 45 kg/m³), PETG e pinus elliottii (cilindro de diâmetro 3,3 mm). Uma vez decididos os parâmetros, desenhou-se a estrutura e também os kits montados a ela com auxílio do software Inventor e, posteriormente, analisou-se a viabilidade do projeto empregando-se o programa de análise de peças CAE. O resultado atingido corresponde a uma bancada didática - de dimensões 340 mm x 300 mm x 330 mm e massa igual a 3,727 kg - munida de quatro kits que simulam a reação de materiais como borracha e espuma quando submetidos a forças diversas.

Palavras-chave: Kits, Resistência dos Materiais, aprendizagem.

ABSTRACT

The materials resistance subject is undoubtedly important for a mechanical technician and there are many students who have difficulties on understanding it. Considering those features, it was decided for the developing of this project. The idea was to plan a structure where all the six materials requests - that are learned during the classes - could be shown. Using material conjuncts (kits) that are set on the structure and are also known as specimen, the objective is to demonstrate the phenomena through the application of forces, illustrating, this way, the specimen behavement connected with the forces. The research has begun with the study about those products that reveal some attributes which look like the proposal of the project; the researches found some didactical desks, however they dispose of a software and very complex systems - as NOVA DIDACTA and DIDATECH. In the sequence, the materials for the composition of the project were defined, thinking about a possible building situation: rectangle steel tube 30 mm x 20 mm x 1 mm (walls) of steel 1012 (for the structure), EPDM rubber, poliuretanefoam (compactness 33 kg/m³ and 45 kg/m³), PETG and pinus elliottii wood (diameter 3 mm). Once the parameters were established, the structure was drawn and also the kits were set on the structure through the Inventor software, then the viability of the project was analysed by the CAE software. The result of all this process is a didactical desk – 340mm x 300 mm x 330 mm and 3,727 kg –with four kits that simulate the reaction of some materials when they are submitted by general forces.

Key-words: Kits, Materials Resistance, learning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....7
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....9
2.1 Dos conceitos de resistência dos materiais.....9
2.2 Das normas regentes.....12
2.3 Do processo de ensino – aprendizagem.....13
2.3 Dos materiais.....13
2.3.1 Estruturais.....14
2.3.2 Submetidos às solicitações.....14
2.3.2.1 Cordão esponjoso EPDM.....14
2.3.2.2 Espumas poliuretanas.....14
2.3.2.3 Pinus elliottii.....15
2.3.2.4 PETG.....15
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....16
3.1 Critérios para o desenvolvimento.....16
3.2 Escolha dos materiais e componentes.....17
3.2.1 Estrutura.....17
3.2.2 Kits.....18
3.2.2.1 Flexão.....18
3.2.2.2 Cisalhamento.....19
3.2.2.3 Torção.....19
3.2.2.4 Tração.....19
3.2.2.5 Compressão.....19
3.2.2.6 Flambagem.....20
3.3 Dimensionamento.....20
3.3.1 Dimensionamento da bancada.....22
3.3.2 Dimensionamento por kit.....23
3.3.2.1 Flexão.....23
3.3.2.2 Cisalhamento.....24
3.3.2.3 Torção.....24
3.3.2.4 Tração.....24
3.3.2.5 Compressão.....24
3.3.2.6 Flambagem.....25
3.3 Dimensionamento do módulo de elasticidade longitudinal.....25

3.4 Funcionamento.....25
3.4.1 Flexão.....26
3.4.2 Cisalhamento.....26
3.4.3 Torção.....26
3.4.4 Tração.....27
3.4.5 Compressão e flambagem.....27
3.5 Fabricação.....27
4 Resultados.....29
4.1 Resultados e discussões.....29
4.1.1 Dimensionamento da bancada.....29
4.1.2 Dimensionamento dos kits.....30
4.1.2.1 Flexão.....31
4.1.2.2 Cisalhamento.....32
4.1.2.3 Torção.....33
4.1.2.4 Tração.....34
4.1.2.5 Compressão.....34
4.1.2.6 Flambagem.....35
4.2 Resultados dos módulos de elasticidade.....35
4.3 Custos.....36
4.4 Massa.....37
5 CONCLUSÃO.....39
REFERÊNCIAS.....40
OBRAS CONSULTADAS.....43
APÊNDICES.....46

1 INTRODUÇÃO

Este documento foi redigido com o intuito de descrever a elaboração do projeto de pesquisa construído ao longo do ano corrente, despertado como ideia aos pesquisadores a partir da própria vivência no curso técnico de mecânica.

A disposição do trabalho é projetar kits didáticos aptos a assistir à compreensão dos fenômenos estudados na disciplina de resistência dos materiais do Curso Técnico de Mecânica da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (tanto por parte dos alunos do diurno, quanto por parte dos alunos do noturno, visto que os dois grupos cursam a disciplina supracitada).Como objetivo específico, designou-se que à conclusão do projeto se constatasse um custo inferior às bancadas didáticas verificadas no mercado. Estabelecido o objetivo, estipulou-se "é possível projetar uma bancada didática que favoreça o ensino das aulas de resistência dos materiais dos cursos técnicos em mecânica?" como o problema a ser respondido pela conclusão do projeto.

Com base na experiência empírica dos pesquisadores em relação à disciplina abordada, pode-se afirmar que, comumente, os estudantes não possuem dificuldade na aplicação da fórmula (compilar os dados para organizar o cálculo), mas sim na assimilação do cálculo da solicitação e no que ele representa ao material solicitado – em avaliar seus resultados criticamente. De maneira aos discentes desfrutarem de uma real dimensão do desempenhado em classe – muito além de uma aplicação de formulário -, sugere-se que a atuação das forças e seus efeitos sobre os materiais sejam passíveis de visualização, o que facilitaria a compreensão por parte do aluno (GORDO,1993).

Além da absorção das informações sobre os materiais pelos alunos enquanto estudantes, segundo o que diz CALLISTER JR. (1999), o engenheiro [profissional derivado de um aprendiz]deve saber a maneira pela qual as diversas propriedades mecânicas dos materiais são determinadas, e, logo a capacidade ou não do material de suportar cargas pelas diferentes solicitações[1].

O relatório está subdividido conforme a evolução da pesquisa, e, ao final desse, estão listadas, além das fontes consultadas incorporadas ao corpo do

[1]Tradução livre (OS AUTORES, 2016).

trabalho, as obras consultadas, que auxiliaram na construção do pensamento, porém não se encaixam no tópico “referências”.

Pretende-se, por meio do viés adotado, que a proposta seja compreendida como relevante no âmbito acadêmico/científico e que, caso o projeto seja concretizado, auxilie quem aplicá-lo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Durante o empreendimento da pesquisa, encontramos, fundamentalmente, as empresas ALGETEC, DIDATECH e NOVA DIDACTA como proponentes de produtos similares ao idealizado. Contudo, as propostas de bancadas didáticas das empresas referidas se distinguem do elaborado pelo projeto devido à dependência de softwares desses sistemas, o que os torna mais inacessíveis em termos de custo. As bancadas didáticas da NOVA DIDACTA são a STR1, a STR2, a STR3, a STR6, a STR8 e a STR12. Outros equipamentos com propostas semelhantes: DT-MA001 (DIDATECH), Didático de Resistência dos Materiais (ALGETEC).

Elegemos a NOVA DIDACTA como comparação ao projeto aqui apresentado, pois consideramos que, dentre as opções, é a mais análoga à alternativa desenvolvida.

Os capítulos subsequentes abordam aspectos relevantes à pesquisa, comentando desde conceitos básicos de resistência dos materiais, perpassando teorias de ensino-aprendizagem e generalidades a respeito dos materiais selecionados pelos pesquisadores.

2.1 Dos conceitos de resistência dos materiais

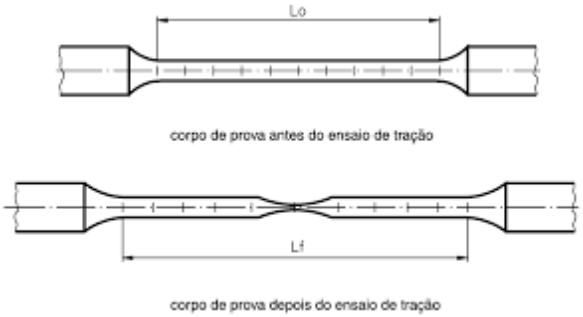
Segundo CARVALHO [20??] estudar a resistência dos materiais por meio dos esforços aos quais eles são submetidos, traz informações como as tensões e deformações[2] que, por consequência, são a base para classificação do material conforme resistência e rigidez de cada um. As respostas do material à solicitação dependem substancialmente da direção e sentido e do ponto de aplicação das forças; os efeitos consequentes verificáveis são subdivididos em esforços axiais e esforços transversais, sendo os axiais os que atuam na direção do eixo (a tração, a compressão e a flexão) e os transversais os que atuam perpendicularmente a esse mesmo eixo.

A tração e a compressão, em harmonia com o que dizem RAUPP e SPORKET (2014), são costumeiramente avaliadas em conjunto, visto que representam a atuação de uma força axial que puxa, tencionando a aumentar o

[2] As tensões e deformações máximas apresentadas pelo material são indicadores da resistência do material quando solicitado (CARVALHO, [20??].

comprimento da peça (no caso da tração) ou empurra, tencionando a diminuí-lo (no caso da compressão).

Figura 1 – corpo de prova antes e depois de ser submetido à tração.



Fonte: Escola técnica estadual Jorge Street, [20??].

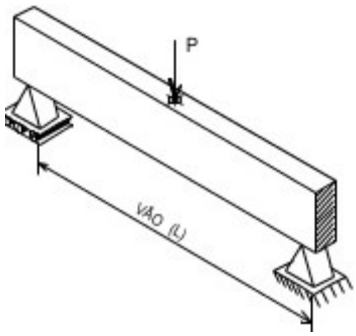
O cisalhamento, consoante com os mesmos autores, é caracterizado pela "ação de uma força cortante (Q)" em relação ao corpo submisso à solicitação; "a ação de cargas transversais na peça provoca o aparecimento de forças internas (reação) na seção transversal, denominadas esforço cortante" (RAUPP e SPORKET, 2014). A imagem adiante representa uma situação de cisalhamento.

.**Figura 2 – chapas rebitadas; rebites solicitados ao cisalhamento.**

Fonte: MARCHEZIN, PARDINI, GUIMARÃES , 2012.

Diz-se que um corpo está sofrendo flexão quando esse é subjugado a uma força que comprime as fibras superiores do corpo, encurtando-as, ao mesmo tempo em que traciona as fibras inferiores, causando alongamento. No caso de uma viga bi-apoiada (situação que será proposta no presente projeto), a fração da viga onde a força atua não está sujeita a esforço cortante, portanto considera-se a solicitação como flexão pura. Nas demais seções da vida, onde verifica-se momento fletor e força cortante, tem-se flexão simples (RAUPP, 2015). A imagem a seguir ilustra a situação de viga bi-apoiada submetida à flexão.

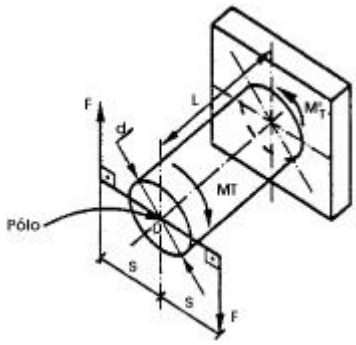
Figura 3 – viga submetida a uma carga concentrada.



Fonte: GASPAR, 2005.

A torção é percebida quando um torque é aplicado ao eixo longitudinal da peça em questão, provocando uma rotação. Para atender à condição de equilíbrio, a peça produz um contramomento (momento interno), de mesmo valor, porém oposto ao aplicado nela (RAUPP, 2015). A imagem abaixo traz um exemplo de peça submetida à torção.

Figura 4 – peça submetida à torção.



Fonte: SENAI/SC Resistência dos Materiais 47, [s. d.].

Entende-se a flambagem como uma solicitação consequente, visto que ela ocorre quando a peça estiver submetida a uma carga axial de compressão e sucumbir antes que atinja seu limite de escoamento. Como explicado por RAUPP (2015), “este colapso ocorrerá sempre na direção do eixo de menor momento de inércia de sua seção transversal”. A imagem abaixo se refere a uma peça em que ocorreu flambagem.

Figura 5 – peça flambada.

Fonte: Universidade Federal de Pelotas, [s. d.].

2.2 Das normas regentes

Condizente ao verificável no catálogo de normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2002), a norma ABNT NBR-6152:2002, por exemplo, é a responsável por padronizar os procedimentos para realização dos ensaios de tração nos materiais. De maneira geral, a norma ABNT NBR ISO 6892:2002, pela definição da ABNT, diz que “esta Norma prescreve os conceitos e os procedimentos gerais que se aplicam aos ensaios de materiais e produtos metálicos”, logo, é responsável por todos os tipos de solicitação descritos no presente documento.

A regulamentação mais abrangente encontrada na pesquisa foi a ISO 17025:2005, responsável por todos os processos de ensaios em materiais no âmbito laboratorial[3] (International Organization for Standardization, [s. d.]. Como o projeto não objetiva a realização de ensaios, também esse não foi pautado pela norma.

No caso do projeto aqui apresentado, as normas não tiveram influência direta, visto que a bancada com os kits não irá simular ensaios nos materiais, apenas demonstrará o efeito causado pela solicitação. Entretanto, a pesquisa das normas foi importante para tornar os testes realizados com os materiais confiáveis e

[3] Tradução livre (OS AUTORES, 2016).

suficientemente precisos para aplicação ao projeto. Os pesquisadores não encontraram nenhum tipo de norma que regulamentasse kits didáticos.

2.3 Do processo de ensino – aprendizagem

Visto que o intuito real do trabalho é que ele seja capaz de abarcar as lacunas apresentadas pelos alunos no momento do processo de ensino – aprendizagem da disciplina de resistência dos materiais, trazemos o presente capítulo para dissertar a respeito de aspectos em relação à contração do conhecimento.

Sobre o conceito de aprendizagem, segundo a paráfrase construída sobre o texto de Piaget, GOULART (1997) conceitua “aprendizagem” e os processos de desenvolvimento do indivíduo como “resultados da atividade do homem na interação com o ambiente”. Já BORDENAVE e PEREIRA (2002), no livro Estratégias de ensino-aprendizagem, falam sobre o indivíduo dispor de um problema que deve ser resolvido e a motivação para fazê-lo (que pode provir de um professor, por exemplo); na solução do problema apresentado, o conhecimento prévio detido é fundamental para que se chegue à resposta e se construa o novo conhecimento - “deduz-se que a aprendizagem é um processo integrado no qual toda a pessoa se mobiliza de maneira orgânica”.

2.3 Dos materiais

Como será comentado na seção correspondente aos materiais que é uma das constituintes do capítulo de Materiais e métodos, para compor o rol de materiais dos kits, estabeleceu-se um perfil metálico retangular em aço baixo carbono 1012, cordão esponjoso de borracha EPDM, o polímero PETG, a madeira pinus elliottie espumas poliuretanas. Na sequência, estão relacionados os materiais selecionados para o projeto com suas especificidades relatadas.

2.3.1 Estruturais

Conforme o catálogo de produtos da GERDAU o aço 1012 é um produto pertencente à categoria dos “aços de baixo carbono aplicados em perfis, tubos soldados, fitas relaminadas, peças estampadas e componentes industriais de baixa resistência”. A composição química desse material é orientada pela norma SAE J403 que admite nível de carbono entre 0,10 % até 0,13%, entre 0,30% e 0,60% de manganês e níveis máximos de fósforo e de enxofre que correspondem, respectivamente, a 0,03% e a 0,05%(GERDAU, [s. d.]).

2.3.2 Submetidos às solicitações

Elegeram-se na composição dos kits: cordão esponjoso EPDM (Ø8 mm),espuma de poliuretano nas densidades[4] 33 kg/m³ e 45 kg/m³, pinus elliottii e PETG.

Os capítulos subsequentes versam a respeito de cada um dos materiais supracitados, trazendo informações de cunho geral.

2.3.2.1 Cordão esponjoso EPDM

Segundo a empresa PLÁSTICOS NN [s. d.], a sigla EPDM corresponde a Etileno, Propileno, Dieno Monômero. Em concordância com GOMES [s. d.], alguns fatores que tornam as borrachas EPDM um material relativamente popular são devido a resistência ao calor e a oxidação, propriedades de isolamento elétrico consideráveis, bem como a facilidade em ser processado.

2.3.2.2 Espumas poliuretanas

Nas palavras de SOARES (2012), os polímeros apresentam versatilidade, ao passo que a polimerização controlada sugere a adaptação do procedimento e das substâncias que serão somadas (composição) à diversas situações, gerando componentes que transitam entre solados de calçados e implantes cirúrgicos.

---

[4] Densidades selecionadas empiricamente pelos pesquisadores conforme disponibilidade da loja Central das espumas.

2.3.2.3 Pinus elliottii

Como relatado pela UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (Unesp, 2004), o pinus elliottii é também conhecido como “pinho-comum”, “pinos” ou “pinho americano”, e é uma espécie largamente utilizada em situações de reflorestamento. Sobre outras características desse material, o INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT, 2016) afirma ser o pinus elliottii fácil de ser trabalhado, podendo ser submetido à dobra, aplainamento, torneamento, furação e outros processos de conformação sem grandes dificuldades.

2.3.2.4 PETG

Conforme FERNANDES (2008), o Poli tereftalato de etileno glicol (PETG) é um poliéster consequente da adição de glicol à composição do polímero PET. O glicol adicionado confere a esse novo material ductibilidade e resistência ao impacto maior em relação às propriedades anteriormente verificadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Considerado por objetivo o desenvolvimento de kits didáticos para compreensão dos fenômenos intrínsecos a cada uma das seis solicitações abarcadas pela disciplina de resistência dos materiais, projetaram-se, com ajuda do Software AUTODESK INVENTOR, os kits e a estrutura na qual esses kits serão montados. Na continuação, apresentam-se as especificidades do projeto organizadas em subcapítulos.

3.1 Critérios para o desenvolvimento

Nas conversas com os professores que assessoraram o projeto, definiram-se alguns critérios para a criação dos Kits. Os critérios abaixo foram estipulados após aprimorarem-se alguns protótipos virtuais.

I. Massa: estabeleceu-se que a massa deveria ser reduzida ao máximo para que a estrutura tenha mobilidade; portanto, estipulou-se um limite ergonômico de 10 kg para que a estrutura fosse facilmente transportável pelo (a) professor (a) por curtas distâncias;

II. Dimensões: ainda dentro do critério de mobilidade, as dimensões representam um fator relevante, pois, é sabido, que quanto maior uma estrutura for, mais fatigante e ergonomicamente desconfortável será carregá-la. Foi requisitado pelo professor orientador (o qual leciona a disciplina de resistência dos materiais) que a estrutura apresentasse as dimensões aproximadas de uma mesa para que seja alocada com facilidade - foram utilizadas as dimensões de 500 mm de comprimento por 340 mm de largura;

III. Mobilidade: ainda que a massa tenha recebido considerável atenção, a mobilidade em si foi estabelecida como preocupação secundária, posto que, como assinalado pelo orientador, o professor pode solicitar ajuda aos alunos para transportar os kits;

IV. Fabricação: parâmetro que impossibilitou a utilização de algumas versões de protótipos virtuais; após discussões, optou-se pelo uso de perfil de aço de seção retangular, usualmente denominados como tubo Metalon, para a construção da estrutura (bancada). Quando realizado o dimensionamento, elegeu-se

o perfil de 30x20 mm com 1 mm de parede. Essa é a estrutura na qual os kits devem ser montados;

V. Custo: embora não seja o mais influente dos fatores, trabalhou-se com o intuito de operar com gastos diminutos[5];

VI. Compreensão do assunto abordado: ao decorrer do desenvolvimento do quesito “fabricação”, a utilização e possibilidades de trabalho com os kits foram drasticamente diminuídas, considerando que se elegeu o modo de construção mais acessível na compreensão do orientador. Dessa forma, o kit será adotado somente para facilitar o entendimento dos fenômenos da disciplina, observado como a maior dificuldade dos alunos.

3.2 Escolha dos materiais e componentes

O capítulo abordará o porquê da escolha de cada material e componente de cada um dos kits e da estrutura. Reforça-se que essa escolha sempre é subjugada aos critérios supracitados, tentando respeitá-los de forma a abranger o estabelecido.

3.2.1 Estrutura

A estrutura está diretamente vinculada aos cinco primeiros parâmetros, e seu material, no que lhe concerne, é responsável por certas características apresentadas por ela –em razão disso, cuidadosamente selecionado. Com o devido respeito aos critérios estabelecidos, substancialmente a estrutura precisaria ser: leve (no limite dos 10 kg de massa), de baixo custo e fácil de produzir (que não requisite maquinário e métodos além dos convencionais). Optou-se, então, pelos tubos de aço baixo carbono 1012 de seção retangular, pois são leves[6] e baratos (aço é o metal de custo mais acessível no mercado), oferecem resistência mecânica elevada e são fáceis de manusear para fabricação (através do processo de soldagem) de uma estrutura.

---

[5] Entende-se “diminuto” como 1/7 do preço das bancadas didáticas já verificáveis no mercado – aproximadamente três mil reais (OS AUTORES, 2016).

[6] No revendedor consultado (ARCELOR MITTAL, [s. d.]), uma barra de 6 metros (medida padrão comercial) com 20 mm x 30 mm e 0,95 mm de espessura apresenta massa igual 4,5 kg.

3.2.2 Kits

Cada um dos kits deve respeitar principalmente os critérios 4, 5 e 6, visto que os parâmetros anteriores se aplicam à estrutura. Partindo-se desse pressuposto, os materiais e componentes selecionados para os kits foram aqueles que melhor atendiam ao estabelecido.

Os dois únicos componentes comuns a todos os kits são os responsáveis pela aplicação e medição da força, respectivamente o manípulo e o dinamômetro. Na seleção do dinamômetro, procurou-se o mais acessível em termos de custo e que respeitasse a faixa[7] de 0 a 200 N de capacidade. Decidiu-se, então, (devido ao preço) por um dinamômetro com capacidade máxima de 120 N, adquirível por R$ 29,90 no site de compras MERCADO LIVRE (2016). Quanto ao manípulo, selecionou-se, após o dimensionamento do fuso, o de preço mais baixo que foi possível encontrar, o que corresponde a R$1,70 no site de compras da empresa JANE COMERCIAL LTDA. (2016).

3.2.2.1 Flexão

Nesse kit, os materiais selecionados para os corpos de prova foram: espuma poliuretana de densidades 33 kg/m³ e 45 kg/m³ e o copolímero PETG[8]. Com esses materiais será possível realizar uma demonstração visual da flexão (a espuma tem grande volume e é pouco resistente) e a diferença que um grande módulo de elasticidade longitudinal traz (o PETG tem um módulo muito maior do que o das espumas).

Para os componentes auxiliares restritos a esse kit (adaptadores de corpo de prova) serão utilizados os tubos metálicos. Dessa maneira, são preservados os critérios de preço e de fabricação.

---

[7]Faixa segura de trabalho, como afirmado pelo orientador, na qual as pessoas em contato com o kit não sofrem risco de lesões (OS AUTORES, 2016).

[8]"Tereftalato de polietileno modificado com glicol" (MANUFACTURING TERMS, [s. d.]).

3.2.2.2 Cisalhamento

A base, na qual os corpos de prova serão fixados, está projetada em aço 1020. Para os corpos de prova desse kit, o mais viável é utilizar novamente o PETG e também uma madeira denominada Pinus Elliottii. É possível, através desses dois materiais, comparar as tensões de ruptura ao cisalhamento, verificando-se que quanto maior a tensão de ruptura indicada, mais força é necessária ser aplicada para que o material seja rompido.

3.2.2.3 Torção

É o único kit em que a aplicação da força não se dará pelo manípulo, e sim por uma chave de placa de torno adaptada ao kit. O usuário poderá gerar torque através da chave e observar, ou não, deformações no corpo de prova. Para esse kit, projetou-se a utilização novamente das espumas poliuretanas e do PETG; nas espumas será consideravelmente visível o fenômeno da torção, enquanto no polímero não, revelando, assim, a diferença que o módulo de elasticidade faz na tentativa de deformação elástica do material. Os adaptadores de corpo de prova serão fabricados em aço baixo carbono.

3.2.2.4 Tração

Para esse kit, escolheram-se dois materiais para os corpos de prova: o PETG e o cordão esponjoso de EPDM. No cordão ficará visível a deformação elástica sofrida pelos materiais quando solicitados a uma força e no PETG não será visível, ilustrando, assim, a rigidez de materiais com um maior módulo de elasticidade. Os corpos de prova serão adaptados por meio de rosca (porcas e parafusos).

3.2.2.5 Compressão

Nesse caso, serão usadas somente espumas com densidades diferentes, com intuito de demonstrar a interferência do módulo de elasticidade do material na deformação por ele sofrida. Para que o corpo de prova seja adaptado à estrutura e

aos aplicadores de força, será utilizado um adaptador com cabos de aço baixo carbono revestidos de PVC[9].

3.2.2.6 Flambagem

Por não ser viável utilizar espuma para esse kit, optou-se pela utilização do PETG. A impossibilidade da utilização de espuma deve-se ao fato de que para flambar a peça deve ter um índice de esbeltez muito grande (o que influência diretamente nas dimensões) e não se pode fabricar uma espuma com as dimensões especificadas nos cálculos.

3.3 Dimensionamento

Em todo projeto mecânico, o dimensionamento é um item imprescindível, pois, através dele, a segurança e a minimização dos gastos com materiais é garantida (evita o chamado “superdimensionamento”), obtendo-se aproveitamento máximo. Nos itens subsequentes, será exposto como o dimensionamento foi realizado, sempre com base nos critérios de desenvolvimento estipulados.

Abaixo encontra-se uma tabela que relaciona todas as fórmulas empregadas no processo de dimensionamento. As equações foram retiradas da obra de RAUPP (2015) e RAUPP, SPORKET (2015).

[9]Policloreto de vinila (OS AUTORES, 2016).

Tabela 1 – Equações e fórmulas utilizadas no projeto.

Número da fórmula	Fórmula
1	$\delta=\frac{PL^3}{48EJ}$
2	$\sigma = \frac{F}{A}$
3	$\delta=\frac{PL^3}{3EJ}$
4	$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\tau}}$
5	$\tau = \frac{\mathrm{Mt}}{\mathrm{Wp}}$
6	$\Delta l = \frac{\sigma.\mathrm{L}}{E}$
7	$\lambda=Lf/i$
8	$i=\sqrt{(J/A)}$
9	$\sigma_{\mathrm{rup}} = \mathrm{F}_{\mathrm{máx}}/\mathrm{A}$
10	$\Delta l = \frac{\mathrm{F.L}}{E.A}$

Fonte: OS AUTORES (2016).

Será atribuído o seguinte significado de cada símbolo nas equações acima:

a) δ: é a flecha;
b) P: é a carga concentrada aplicada;
c) L: é o comprimento do corpo de prova;
d) E: é o módulo de elasticidade longitudinal do material;
e) J: momento de inércia (determinado através da geometria e dimensões da secção);
f) σ: é a tensão aplicada no material;
g) F: é a força a qual o material está sendo submetido;
h) A: é a área da secção transversal do material;
i) d: é o diâmetro da secção;
j) Q: é a carga cortante;
k) τ: é a tensão tangencial admissível;
l) Mt: é o momento torçor (depende unicamente da unidade aplicadora de força);

m) Wp: é o módulo de resistência polar - depende somente do formato e dimensões da seção;
n) Δl : corresponde ao alongamento;
o) λ: é o índice de esbeltez;
p) Lf: é o comprimento livre do corpo de prova;
q) i: é o raio de giração, determinado através da equação 8;
r) σ_{rup}: é a tensão de ruptura do material;
s) $F_{máx}$: é a força máxima suportada pelo material antes de entrar em colapso;

3.3.1 Dimensionamento da bancada

Para o dimensionamento de uma estrutura, é sabido que, por segurança, o caso em que a estrutura está sofrendo o maior esforço é o considerado pelo projeto; a parte da estrutura que é sofre maior solicitação é a dimensionada, e, como foi cumprido pelos pesquisadores, padroniza-se a estrutura toda para que seja de mais fácil fabricação - toda a estrutura com a mesma seção que foi calculada para o pior caso previsto. Concluiu-se que o maior esforço ao qual a estrutura será submetida é o de flexão.

O maior esforço de flexão sofrido pela estrutura acontece no kit de tração, pois é nessa situação que a força máxima do dinamômetro é aplicada no meio da barra suporte desse kit. Estipulada uma flecha[10]máxima de 1 mm, com auxílio do software CAE (para análise estática de componentes e conjuntos, embutido dentro do Autodesk Inventor) e com confirmação através de cálculo manual, definiu-se uma determinada seção. A partir dessa seção calculada, verificou-se a disponibilidade de mercado(tendo em vista também o critério de fabricação) e escolheu-se uma seção mais resistente que a calculada e que elevou o coeficiente de segurança, mas que, ao mesmo tempo, não interfere no critério do peso máximo. Para que os resultados fornecidos pelo CAE assumissem caráter confiável, calculou-se por meio da fórmula[11]1 (RAUPP, 2015).

---

[10] "Deslocamento perpendicular [da viga] a seu eixo, provocado pela aplicação de uma carga" (RAUPP, 2015).
[11]Fórmula utilizada em casos nos quais uma barra é apoiada em duas extremidades e tem uma carga aplicada em seu centro (OS AUTORES, 2016).

3.3.2 Dimensionamento por kit

Abordar-se-á os dimensionamentos individuais (para cada kit) e os esforços sofridos pelos componentes auxiliares, além da análise e explicação das dimensões dos corpos de prova e de suas respectivas secções. Os títulos seguintes correspondem à maneira com a qual os kits serão apresentados, logo, não será necessariamente um por solicitação.

Os únicos itens comuns à maioria dos kits são o manípulo e a guia, os quais serão fabricados em aço 1040L; o manípulo, em todos os casos, sofre somente a solicitação de tração, e a maior carga à qual ele pode ser submetido é de 120N - para dimensioná-lo, bastou aplicar a fórmula 2. O dimensionamento da guia foi feito de acordo com Fresas T disponíveis no mercado; dessa forma, não foi possível fidelizarem-se os cálculos, ficando super dimensionada.

3.3.2.1 Flexão

Para o dimensionamento dos corpos de prova dessa solicitação utilizou-se uma fórmula semelhante à já explicada do dimensionamento da estrutura, porém, nessa equação, considera-se que o elemento está engastado em apenas uma extremidade, a fórmula utilizada foi a 3. Cada material será testado com mais de uma seção, ao passo que isso demonstrará o efeito do momento de inércia axial na hora em que o corpo de prova sofrer a carga -quanto maior o momento (mesmo que o material seja o mesmo) menor será a flecha (deformação sofrida).

Estabeleceram-se 3 categorias de corpos de prova, determinadas a partir de um braço de alavanca de 100 mm; a primeira, para uma flecha de 50 mm com uma carga de 4 N (para flexionar as duas densidades de espuma), a segunda com a mesma flecha para a carga de 8 N (para flexionar as duas densidades de espumas e o PETG) e uma terceira categoria com uma flecha imperceptível para a carga máxima (somente solicitar o PETG). Tem-se entendido como flecha imperceptível aquela que não é possível de medir com um instrumento de resolução de 1 mm.

3.3.2.2 Cisalhamento

Para o dimensionamento dos corpos de prova ao cisalhamento, utilizou-se a fórmula 4. Dessa forma, calculou-se um diâmetro para que apenas o corpo de prova de Pinus Elliottii cisalhe, enquanto o de PETG não sofra alterações.

3.3.2.3 Torção

Para torção, além de utilizar dois materiais diferentes, pensou-se em dois tipos diferentes de seção: uma quadrada e outra circular (formatos simples que facilitam a fabricação). De tal maneira, será viável que se observe a divergência na deformação do material entre dois tipos diferentes de seção. Para dimensionar os corpos de prova, foi utilizada a fórmula 5.

3.3.2.4 Tração

Para o dimensionamento dos corpos de prova à tração, aplicou-se a equação 6.Como o cordão esponjoso foi adquirido em um estabelecimento que só dispunha dele na seção circular com 8 mm de diâmetro, através desse cálculo foi possível determinar o comprimento cabível para o corpo de prova, considerando que o espaço físico na bancada é limitado.

3.3.2.5 Compressão

No dimensionamento dos corpos de prova à compressão, aplicou-se a mesma fórmula (fórmula 6) já utilizada no cálculo da tração, definindo assim a carga para um determinado alongamento negativo. Todavia, para diferenciar a flambagem da compressão (pois o kit utilizado é o mesmo), é necessário que o cálculo do índice de esbeltez corresponda à fórmula 7 – nesse caso, também se utilizou a fórmula 8 para determinar a variável “i” da equação 7. Se λ resultar em um número maior que 105, o corpo de prova sofrerá flambagem antes de ser comprimido; se for menor, compressão (RAUPP, 2015).

3.3.2.6 Flambagem

Para o dimensionamento à flambagem, considerou-se um índice de esbeltez maior que 120. Foi possível calcular a relação entre altura e a área da secção com as duas fórmulas citadas no tópico da compressão.

3.3 Dimensionamento do módulo de elasticidade longitudinal

Determinaram-se, através de testes, o módulo de elasticidade longitudinal de quatro materiais: as espumas de 33 kg/m³ e 45 kg/m³, o cordão esponjoso de EPDM e o PETG, uma vez que não foi possível encontrar fontes bibliográficas que relatassem dados a respeito das características mecânicas desses materiais e que não foi possível descobrir a qualidade do PETG doado ao trabalho pelo professor orientador. Para os testes, foram utilizadas uma célula de carga, uma escala em milímetros (suficientemente precisa à situação) e um esquadro.

Com o propósito de precisar o módulo de elasticidade do cordão esponjoso, aplicou-se uma carga no cordão e mediu-se o alongamento, determinando-se o módulo de elasticidade pela fórmula 6. O procedimento foi repetido 4 vezes com a finalidade de ser possível considerá-lo confiável. Após outro teste, com os mesmos equipamentos porém uma carga maior, também foi possível determinar a tensão de ruptura da borracha através da fórmula 9, pois ela se rompeu com a carga aplicada.

O módulo de elasticidade longitudinal das espumas e do PETG foi calculado engastando-se os corpos de prova e aplicando-se determinada carga a uma dada distância do engaste; calculou-se o módulo através da flecha medida com auxílio da fórmula 3. Como resultado, obtiveram-se valores bastante razoáveis para as espumas e para o PETG um valor dentro do intervalo permitido por norma segundo o site MATWEB (2016).

3.4 Funcionamento

Os kits foram projetados para auxiliar em aulas introdutórias ao assunto das solicitações; será descrito o funcionamento de cada um dos kits, porém, para melhor entendimento, é sugerida a análise dos desenhos. A bancada acompanhará cada

um dos desenhos, pois ela funciona como uma estrutura rígida resistente a esforços aos quais os componentes podem ser aplicados.

3.4.1 Flexão

O kit de flexão funciona com alguns corpos de prova que podem ser engastados; com esse kit, é possível verificar a diferença entre os módulos de elasticidade dos materiais e também a diferença que a geometria da seção causa na resposta dos elementos à solicitação de flexão. Na prática, o funcionamento dá-se da seguinte forma: engasta-se um corpo de prova na coluna da bancada através do adaptador de flexão, e, então, pode-se exercer uma força sobre esse corpo de prova através do manípulo e medi-la através do dinamômetro. A flecha do corpo de prova deve ser medida com alguma escala (precisão adotada pelos pesquisadores); podem se alterar os corpos de prova de acordo com os resultados estabelecidos para flexão.

3.4.2 Cisalhamento

Neste caso, há quatro tipos de corpos de prova; eles variam de comprimento entre 200 mm e 300 mm e os materiais são de pinus elliottii e PETG. Os materiais devem ser colocados na chapa de cisalhamento; dessa forma, quando a chapa for tracionada pelo manípulo, ela submeterá o material à uma força cortante. Pode ser simulado, com o conteúdo do kit, o cisalhamento simples e o duplo.

3.4.3 Torção

São 5 os corpos de prova selecionáveis para essa solicitação; eles são adaptáveis à chave de torção que está presa na bancada. O usuário deve exercer um torque sobre a peça e verificar sua deformação. Dessa forma, é possível que sejam avaliadas as diferentes características à torção dos diferentes materiais e secções.

3.4.4 Tração

Nesse kit, estão disponíveis dois corpos de prova; o cp deve ser engastado em uma viga e tracionado pelo manípulo, medindo-se a força aplicada através do dinamômetro. Através desse kit, é visualizada a diferença entre um material rígido e um com um módulo de elasticidade longitudinal menor.

3.4.5 Compressão e flambagem

Essas duas solicitações correspondem a um mesmo kit com corpos de prova diferentes. Com esse kit, é verificável que um índice de esbeltez maior deixa o material propenso a flambar. O cp deve ser colocado sobre o adaptador de compressão e, sobre o cp, deve-se colocar o outro adaptador - que será tracionado contra o cp pelo manípulo através dos cabos de aço.

3.5 Fabricação

São, ao todo, 39 componentes que integram o projeto: 19 são relativos a corpos de prova e os outros 20 relativos à bancada e itens auxiliares. Será abordada de forma sucinta, nas partes seguintes, cada parte da fabricação.

a)Corpos de prova em espuma: são comprados por volume e já vêm cortados pelo fornecedor nas medidas indicadas.

b)Corpo de prova em PETG: o cp para flambagem, para cisalhamento e o cp para flexão são cortados de chapas em dimensões especificadas - basta fazer um corte em apenas uma dimensão. Os corpos de prova para torção e para tração devem ser trabalhados de acordo com as dimensões especificadas; os cilindros virão direto do fabricante com a dimensão da maior especificação informada no desenho e devem ser usinadas as roscas em suas extremidades.

c)Corpo de prova em EPDM: é vendido por metro e basta cortá-lo com um instrumento de corte nas dimensões especificadas.

d)Corpo de prova de pinus elliottii: adquire-se um pacote de “espetinhos para churrasco” que devem ser cortados nas dimensões indicadas pelo desenho.

e)Peças metálicas menores: seu processo de fabricação é por meio de usinagem; compram-se os bruto se requisita-se à uma empresa especializada em usinagem, que, conforme o orçamento e desenhos irá realizar o serviço.

f)Bancada e itens maiores: fabricada através da soldagem; deve ser montada por uma empresa especializada nessa área (serralherias), conforme pedido; sugere-se a utilização do eletrodo rutílico E6013 com diâmetro equivalente a 5 mm para uma poça de fusão de 2 mm (não há necessidade de ser maior, devido a pequena espessura da parede do perfil).

4 RESULTADOS

Propõe-se, através de tabelas e cálculos munidos de breves explicações, apresentar os resultados obtidos nos processos explicados no capítulo de materiais e métodos. Os dados mais relevantes do presente capítulo são: massa, custo, módulos de elasticidade e dimensionamento.

Todas as fórmulas utilizadas no presente capítulo estão devidamente referenciadas na seção “materiais e métodos”.

4.1 Resultados e discussões

Nesse tópico, objetiva-se apresentar os resultados dos cálculos de dimensionamento, tanto da estrutura como também dos corpos de prova e componentes auxiliares. Ainda que todos os elementos tenham sido projetados com base em cálculos específicos, alguns componentes ficaram superdimensionados devido à disponibilidade apenas de certos tamanhos no mercado.

4.1.1 Dimensionamento da bancada

Visto que o mais crítico dos casos é configurado pela viga de apoio da estrutura submetida à flexão no ensaio de tração, e aceitando-se uma flecha máxima de 1 mm, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 2 - resultados do dimensionamento da bancada.

Flecha (mm)	Carga Aplicada (N)	Geometria da secção (mm)	Comprimento da viga (mm)	Momento de inércia necessário (mm^4)	Momento de inércia real (mm^4)
1	120	30x20x1 (de parede)	300	341,5	12072

Fonte: OS AUTORES (2016).

Conclui-se que a estrutura suportará bem os esforços, uma vez que o coeficiente de segurança resultou em 35,35.

4.1.2 Dimensionamento dos kits

Tenciona-se, nesse segmento, demonstrar os cálculos realizados e seus resultados. Primeiramente, será apresentado o dimensionamento do manípulo, que é um item comum a quase todos os kits, depois disso a guia; logo após, serão listados, um a um, os cálculos realizados para cada kit.

Para o dimensionamento do manípulo, a fórmula para tração foi a equação aplicada (pois em todos os casos ele somente realiza esforço de tração): fórmula 2.

A tensão de escoamento utilizada no cálculo condiz com a tensão do material do manípulo, aço 1040 L, correspondente a 360 Mpa, segundo o que dizem RAUPP e SPORKET (2014).

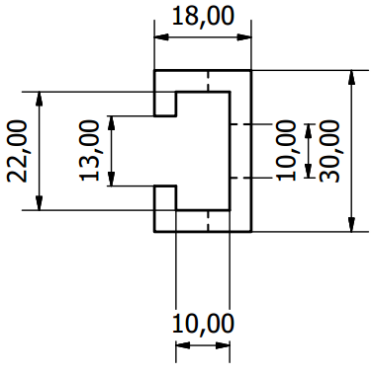
Tabela 3 - resultado do dimensionamento do manípulo.

Alongamento (mm)	**Carga Aplicada (N)**	**Diâmetro secção (recomendado) mm)**	**Diâmetro secção (mm)**	**Rosca designada**	**Coeficiente de segurança**
$4{,}64\times10^{-4}$	120	0,65	3,96	M5	37

Fonte: OS AUTORES (2016).

As dimensões da guia seguem conforme a imagem infra relacionada. As dimensões internas são de acordo com a fresa para rasgo T comercial sugerida pelo GRUPO INDAÇO [s. d.] no catálogo de ferramentas.

Figura 6- perfil interno da guia.



Fonte: OS AUTORES (2016).

4.1.2.1 Flexão

Os corpos de prova nesse kit foram dimensionados à flexão de acordo com a equação 3. Seguem, abaixo, os resultados de acordo com as categorias descritas na metodologia.

Tabela 4 - dimensões e resultados dos corpos de prova para flexão.

Categoria	Material	Momento de inércia (mm^4)	Altura do cp (mm)	Largura do cp (mm)	Comprimento do cp (mm)
1ª	Espuma 33kg/m³	1043296,82	56,3	70	200
1ª	Espuma 44kg/m³	828924,33	58,4	50	200
2ª	Espuma 33kg/m³	2086593,64	71	70	200
2ª	Espuma 44kg/m³	1657848,467	73,6	50	200
2ª	PETG	31	1,95	50	200
3ª	PETG	20312,5	50	1,95	200

Fonte: OS AUTORES (2016).

A flecha para a terceira categoria de corpo de prova será de $1{,}15\times10^{-4}mm$, sendo, assim, considerada imperceptível. O corpo de prova de PETG é utilizado para as duas categorias, apenas invertem-se a altura e largura.

4.1.2.2 Cisalhamento

O diâmetro do corpo de prova foi dimensionado de forma que o resultado fosse igual a um número inteiro. Os cálculos foram feitos para, quando solicitados ao cisalhamento, o pino de Pinus (madeira) cisalhe, enquanto o pino de PETG fique intacto (tensão de ruptura elevada).

Para os cálculos do dimensionamento que seguem, a tensão de cisalhamento do Pinus, encontrada em domínio do INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (2016) foi utilizada como base para dimensionar o conjunto.

Para cisalhamento utilizou-se a fórmula 4 como citado na metodologia. Os pinos expostos a cisalhamento duplo terão um comprimento de 30 mm, os expostos a cisalhamento simples de 20 mm

Tabela 5 - dimensões e resultados dos corpos de prova para cisalhamento.

Material	Diâmetro Final Utilizado (mm)	Diâmetro mínimo para carga de 120N (mm)	Área (mm²)	Carga máxima suportada (N)	Comprimento do corpo de prova
Pinus Elliotti	3,3	3,63	8,55	99	300
PETG	3,3	1,98	8,55	333,5	300
Pinus Elliotti	3,3	5,13	8,55	49,6	200
PETG	3,3	2,8	8,55	166,8	200

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.1.2.3 Torção

Para o PETG, a fórmula utilizada foi a 5. Com essa equação, determinou-se um diâmetro que um ser humano não conseguiria torcer de forma que o material apresentasse deformação visível; a chave foi baseada em uma de placa de torno com uma haste de 100 mm para cada lado. Definiu-se, em conversa com o orientador, que essa peça de PETG deveria ser superdimensionada supondo-se que uma pessoa consegue desenvolver 1000 N de força em cada extremidade da haste, resultando na tabela que segue:

Tabela 6-dimensões e resultados dos corpos de prova para torção.

Material	**Momento torçor máximo (Nmm)**	**Módulo de resistência polar (mm³)**	**Diâmetro (cilindros) /lado (quadrados) utilizado (mm)**	**Comprimento do corpo de prova (mm)**	**D calculado (mm)**
Espuma 33kg/m³	20000	Não foi possível determinar	50/60x60	150	Não foi possível determinar
Espuma 45kg/m³	20000	Não foi possível determinar	50/60x60	150	Não foi possível determinar
PETG	20000	1025,64	20	150	17,35

Fonte: OS AUTORES (2016).

Quanto ao dimensionamento das espumas, em concordância com o orientador, definiu-se que era desnecessário realizar os cálculos, visto que o módulo de elasticidade desses materiais é tão pequeno que a resistência que ela oferecerá à torção é mínima. Concordou-se de que o corpo de prova deve ser das maiores dimensões possíveis para facilitar a visualização do fenômeno.

4.1.2.4 Tração

Para dimensionamento dos corpos de prova à tração, seguiu-se a fórmulas 2 e 6; porém, tendo a borracha o seu diâmetro já estipulado, foi calculado somente a carga máxima à qual ela poderia ser submetida. Após teste no cordão esponjoso (citado no título 3.3), determinou-se que a tensão de ruptura dele é de 1 MPa, tendo 8 mm de diâmetro.

Seguem, na sequência, os resultados dos corpos de prova.

Tabela 7-dimensões e resultados dos corpos de prova para tração.

Material	**Diâmetro (mm)**	**$F_{máx}$ (N)**	**Alongamento (mm)**	**Comprimento (mm)**	**E (MPa)**	**σ_{rup} (Mpa)**
Cordão esponjoso de EPDM	8	50,23	191	50	0,26	1
PETG	8	1307	$6{,}19\times10^{3}$	50	1718,75	26

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.1.2.5 Compressão

Primeiramente, foram dimensionados os corpos de prova para sofrerem compressão; para isso, o índice de esbeltez deveria ser menor que 105. Em conversa com o orientador, definiu-se que o dimensionamento deveria ser feito em função do comprimento do corpo de prova. Com um comprimento de 100 mm e um índice de esbeltez de 10, calculou-se o diâmetro do corpo de prova com uso das fórmulas 7 e 8.

Tabela 8 -dimensões e resultados dos corpos de prova para compressão.

Material	Índice de esbeltez	Diâmetro (mm)	Raio de giração (mm)	Alongamento (mm)	Força necessária ao alongamento (N)
Espuma 33kg/m³	10	40	10	80	25,7
Espuma 45kg/m³	10	40	10	80	32,34

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.1.2.6 Flambagem

O corpo de prova dimensionado para flambar foi calculado a partir de um índice de esbeltez de 120; utilizou-se uma secção quadrada de 4 mm de lado (chapa comercialmente vendida); calculou-se, então, o comprimento com utilização das fórmulas 7 e 8 :

Tabela 8 - dimensões e resultados dos corpos de prova para compressão.

Material	Índice de esbeltez	Lado (mm)	Raio de giração (mm)	Área (mm²)	Comprimento do corpo de prova
PETG	120	40	1,155	1256,6	104 mm

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.2 Resultados dos módulos de elasticidade

Nas tabelas seguintes, estão relacionados os resultados para o módulo de elasticidade dos materiais de acordo com os métodos comentados anteriormente. A tabela 9 refere-se, unicamente, ao cordão esponjoso EPDM, enquanto a tabela 10 traz informações tanto das espumas poliuretanas quanto do PETG.

Tabela 9 - determinação das propriedades do cordão esponjoso em EPDM.

Material	Comprimento do corpo de prova (mm)	Alongamento (mm)	$F_{máx}$ (N)	Tensão de ruptura (MPa)	E (MPa)
Cordão esponjoso em EPDM	100	38	50,23	1	0,26

Fonte: OS AUTORES (2016).

Tabela 10 – determinação das propriedades do PETG e das espumas.

Material	Braço de alavanca (mm)	Flecha (mm)	F (N)	J (mm^4)	E (MPa)
Espuma 33kg/m³	150	55	2,5	2000833	0,026
Espuma 45kg/m³	150	47	0,7	520833	0,032
PETG	150	45	2,75	40	1718,75

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.3 Custos

Na tabela a seguir seguem os preços para o desenvolvimento de um protótipo físico:

Tabela 11 – preço dos itens do projeto.

Descrição	Preço por item (R$)	Quantidade de Itens	Total parcial (R$)
Montagem da bancada, com soldagem, acabamento e pintura, fabricação de todas as peças auxiliares, excetuando-se o	2495	1	2495

manípulo e dinamômetro			
Manípulo	1,7	5	8,5
Dinamômetro	29	1	29
Corpos de prova em espuma (densidade de 33 kg/m³)	7,5	5	37,5
Corpos de prova em espuma (densidade de 45 kg/m³)	10	5	50
Corpos de prova em EPDM	2,5	1	2,5
Corpo de prova de madeira	6,99 (preço para 100 unidades)	1	6,99
PETG para flambagem e flexão	20	2	40
PETG cisalhamento	10	2	20
PETG torção e tração (mão de obra para fazê-los está inclusa no preço da bancada, preço somente do material bruto).	30	2	60
Total			2709,49

Fonte: OS AUTORES (2016).

4.4 Massa

Segue na tabela os valores das massas dos componentes metálicos, os quais são os mais densos e de maior influência no peso total do conjunto, quanto aos demais componentes estão somados no último item da tabela:

Tabela 12 – massa dos itens do projeto.

Componente	Massa (kg)
Bancada com todos os componentes metálicos (como se todos os kits estivessem montados)	5,519

Corpos de prova e demais componentes somados	1 kg

Fonte: OS AUTORES (2016).

5 CONCLUSÃO

A partir da realização da pesquisa, concluiu-se que existe a possibilidade de que seja empregada uma bancada didática com kits para auxiliar os alunos em seus estudos de resistência dos materiais, utilizando materiais eficientes e de custo menor que o de mercado.

Finalmente, chegou-se a uma estrutura de aço 1012 (bancada didática) e dimensões correspondentes a 340 mm x 300 mm x 330 mm e massa igual a 3,727 kg, equipada com quatro kits que simularão as solicitações de tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e flambagem, sofridas pelos materiais selecionados - cordão esponjoso EPDM, espuma poliuretana de densidade 33 kg/m³ e 45 kg/m³, PETG e madeira pinus elliottii.

O resultado da pesquisa abarcou o objetivo estabelecido – projetar a bancada didática e seus kits – respeitando os critérios estabelecidos pelos pesquisadores juntamente com o professor orientador.

REFERÊNCIAS

ALGETEC. **Equipamentos Educacionais, Bancadas Didáticas, Kits Didáticos e Maletas Didáticas**. Disponível em <http://goo.gl/lnXzwK>. Acesso em 27 ago 2016.

ARCELOR Mittal. **Tubo Industrial Retangular - 0,95 x 30 x 20 mm - Peça 4,5kg.** Disponível em <http://goo.gl/BtnUz8>. Acesso em 08 set 2016.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Catálogo de normas técnicas.** Disponível em <http://goo.gl/iocT70>. Acesso em 09 set 2016.

BORDENAVE, Juan Díaz, PEREIRA, Adair Martins. **Estratégias de ensino-aprendizagem**. Petrópolis, Ed. Vozes, 2002.

CALLISTER Jr., William. **Engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. Rio de Janeiro, Ed LTC, 2006.

_____. **Materials Science and engineering – an introduction**. Estados Unidos, Ed. John Wiley& Sons, Inc., 1999.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, Antonia Marli dos; NETO, Salvador Claro. Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil. **Revista Química Nova na Escola,** vol. 31, n° 3, agosto, 2009, p. 159-164. Disponível em <http://goo.gl/HJ8PYP>. Acesso em 26 jul 2016.

CARVALHO, Miguel Scherpl de. Resistência dos Materiais. **Rio de Janeiro, Exped-Expansão Editorial SA**, 1979. Disponível em <http://goo.gl/1F226j>. Acesso em 18 jul 2016.

DIDATECH. **Materiais e estruturas**. Disponível em <http://goo.gl/w0wpkh>. Acesso em 13 maio 2016.

ESCOLA Técnica Estadual Jorge Street.**Ensaio de tração**. Disponível em <http://goo.gl/I8i2lf>. Acesso em 01 ago 2016.

FERNANDES, Dionnas Lucas da Silva. PETG laminado utilizado como substrato na produção de mostradores planos através do processo serigráfico “screenprinting”.**PETG Poli (tereftalato de etileno glicol), página 6 e 7**.Campinas, São Paulo, Brasil, 2008. Disponível em <http://goo.gl/4QVPHt>.Acesso em 08 set 2016.

GASPAR, Ricardo. Mecânica dos materiais. **Viga submetida a uma carga concentrada, p. 60.** São Paulo, 2005. Disponível em <http://goo.gl/6YZ6HX>. Acesso em 07 set 2016.

GERDAU aços finos Piratini. **Catálogo de aços planos Gerdau**. Disponível em <http://goo.gl/k5H3dT>. Acesso em 09 set 2016.

GOMES, Manuel Morato. **Borracha Etileno-Propileno-Dieno (EPDM).** Disponível em<http://goo.gl/MrtTsi>.Acesso em 08 set 2016.

GORDO, Maria de Fátima Pista Calado Mendes. **A Visualização Espacial e a Aprendizagem da Matemática - Um estudo no 1º Ciclo do Ensino Básico.** Londres, 1993. Acesso em 27 ago 2016. Disponível em<http://goo.gl/AVrDjA>.

GOULART, Iris Barbosa. **Piaget: experiências básicas para utilização pelo professor**. Rio de Janeiro, Ed. Vozes, 1997.

GRUPO Indaço. Catálogo de ferramentas.**Fresa para rasgo em "T" DIN 650, haste cilíndrica, corte à direita, dente cruzado.**Disponível em <http://goo.gl/RKD1z1.> Acesso em 07 set 2016.

INSTITUTO de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Informações sobre madeiras. **Pinus-eliote**. Disponível em <http://goo.gl/A5L3Gu>.Acesso em 08 set 2016.

ISO – International Organization for Standardization**. ISO/IEC 17025:2005 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.** Disponível em <http://goo.gl/m3f0Uq>. Acesso em 09 maio 2016.

JANE Comercial LTDA. – componentes para a indústria.**Manípulos-Macho-Fêmea-45 - M10/M8/M6 X 50mm.** Disponível em**<** http://goo.gl/ADVJBf>. Aceso em 28 jul 2016.

MANUFACTURING Terms. **PETG - versão curta.** Disponível em <http://goo.gl/adJ9SM>.Acesso em 02 set 2015

MARCHEZIN, PARDINI, GUIMARÃES.**Avaliação do comportamento em fadiga de juntas estruturais de ligas de Al2024T3 coladas com adesivo epóxi**. RevistaMatéria (Rio J.), vol.17, no.1, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://goo.gl/o3SiJN>. Acesso em 27 ago 2016.

MATWEB – Material property data. **Modulus of Elasticity**.Disponível em <http://goo.gl/q04gYB>. Acesso em 02 set 2015.

MERCADO Livre. **Balança Dinamométrica - Capacidade 12 Kgf**. Disponível em <http://goo.gl/k6zyIR>.Acesso em 28 jul 2016.

NOVA Didacta.RM4 Propaganda. **Catálogo Nova Didacta**. São Caetano do Sul, SP, 2010/2011.

PLÁSTICOS NN. Espumas técnicas. **EPDM**. Disponível em <http://goo.gl/tu9LUD>. Acesso em 08 set 2016.

RAUPP, Ronaldo. **Flexão, torção, flambagem**. Novo Hamburgo, 2ª edição, 2015.

RAUPP, Ronaldo, SPORKET, Frederico. **Tração, compressão, cisalhamento**. Novo Hamburgo, 4ª edição, 2014.

SENAI SC - Resistência dos Materiais 47. **Peça submetida à torção.**Disponível em <http://goo.gl/qKeWak>. Acesso em 07 set 2016.

SOARES, Marcio Steinmetz. Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel.**Histórico dos poliuretanos, p. 16**. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em <http://goo.gl/aEh7Qy>. Acesso em 08 set 2016.

UNIVERSIDADE Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Árvores do campus**. Pinus elliottiiEngel.**Campus Rio Claro, 2004.Disponível em<http://goo.gl/Ww4awy>.Acesso em 08 set 2016.

OBRAS CONSULTADAS

ABAL – Associação Brasileira do alumínio. Disponível em<http://goo.gl/FZ0an>. Acesso em 12 jul 2016.

ALADIM metais. **Tubo retangular**. Disponível em <http://goo.gl/C0JCGy>. Acesso em 16 maio 2016.

ALUCEK Estruturas modulares. **Perfil de alumínio**. Disponível em <http://goo.gl/EoUvNL>. Acesso em 16 maio 2016.

ALUFORTE Alumínio e componentes. Disponível em <http://goo.gl/pcLKZC>. Acesso em 16 maio 2016.

ALUMINOVO. Disponível em <http://goo.gl/KunhGq>. Acesso em 16 maio 2016.

American Society for Testing and Materials (ASTM International)**. Iron and steel products.** Disponível em <http://goo.gl/Iznfom>.Acesso em 09 set 2016.

BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, E. Russell Jr.**Estática e mecânica dos materiais**. McGraw-Hill, 2010.

_____.**Resistência dos materiais**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

FARIAS, João Batista Sá de. **Programação com ciclos – 2ª parte (slides)**. Novo Hamburgo, 2016.

FAVORIT Aços Especiais. Catálogo. Tabelas de características e aplicações dos aços. **Aço SAE 1020, p. 5**. [s. l.], [s. d.].

FERRANTE, Maurizio. **Seleção de materiais**. São Carlos, SP, Ed. Edufscar, 2013.

GARCIA, A., SPRIM, J. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2012.

GASPAR, Ricardo. Mecânica dos materiais. **Viga submetida a uma carga concentrada, p. 60.** São Paulo, 2005. Disponível em <http://goo.gl/6YZ6HX>. Acesso em 07 set 2016.

GERDAU aços finos Piratini. **Manual de aços 2003**. Disponível em <http://goo.gl/nlIM3c>. Acesso em 12 jul 2016.

GLOBAL Plásticos – comércio de plásticos WLZ LTDA. **PETG**. Porto Alegre, [s. d.]. Disponível em <http://goo.gl/8UNYym>. Acesso em 28 ago 2016.

GROES, Ademar Gilberto. **Resistência dos materiais e vasos de pressão**. São Leopoldo, Unisinos, 2002.

HIBBELER, Russell C. **Análise estrutural**. Prentice Hall, 7ª edição. São Paulo, 2010.

_____..**Resistência dos materiais**. Pearson Prentice Hall, 2012.

HYSPEX -tecnologia em alumínio. Disponível em <http://goo.gl/iTuZ86>. Acesso em 16 maio 2016.

INSTITUTO Federal de educação, ciência e tecnologia. **Técnico em eletromecânica**. Disponível em <http://goo.gl/BRTshl>. Acesso em 09 abr 2016.

MACEDO, Diene Lopes. **Avaliação da influência dos níveis de corrente de soldagem com eletrodo rutílico E6013 via análise macrográfica.** Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri – Instituto de ciências e tecnologia. Diamantina, 2014**.** Disponível em <http://goo.gl/ffTNkC>. Acesso em 28 ago 2016.

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos materiais**. Editora Érica, 18ª edição. São Paulo, 2008.

METALURGIA Golin S/A. Catálogo de **Tubos quadrados e retangulares,** [s.d.].

NUNES, Laerce de Paula. **Materiais –aplicações de engenharia, seleção e integridade**. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 2012.

QUENTAL, A. C., FELISBERTI, M. I. **Blendas de P(HB-co-HV) e PET amorfo**. Instituto de química, UNICAMP. Campinas, São Paulo, [s. d.]. Disponível em < http://goo.gl/kRzlXN>. Acesso em 28 ago 2016.

RUCHERT, Cassius O. F. Terra. Ensaios Mecânicos dos Materiais - Compressão e Torção. SMM0342 – Introdução aos ensaios mecânicos dos materiais. **Ensaio de compressão – ASTM E9M. Ensaio de torção – ASTM E588-83.** Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos, Departamento de engenharia de materiais, aeronáutica e automobilística. São Paulo, [s. d.]. Disponível em <http://goo.gl/enFOVI>. Acesso em 27 mar 2016.

SERVIÇO Nacional de Aprendizagem Industrial do Rio Grande do Sul (Senai-RS). **Curso técnico em mecânica**. Disponível em <http://goo.gl/EBCDMT>. Acesso em 09 abr 2016.

SIVA. Cabo de aço revestido. **Cabos de aço náuticos revestidos com PVC – construção 6 x 7**. Disponível em <http://goo.gl/TsgqQh>.Acesso em 07 set 2016.

SKYLIGHT estruturas metálicas. **Tubos retangulares**. Disponível em <http://goo.gl/KDf62o>. Acesso em 16 maio 2016.

SOUZA et al. **Manual de orientações para projetos de pesquisa**.Novo Hamburgo: FETLSVC, 2013.

TECH PAINT Tintas. **Catálogo de preparação de superficies não ferrosas**[s. d.].Disponível em<http://goo.gl/z5gM9S>.Acesso em 12 jul 2016.

TUBOS Oliveira. **Tabela de tubos retangulares**. Disponível em <http://goo.gl/7pyXVV>. Acesso em 16 maio 2016.

UNIVERSIDADE Federal de Pelotas – RS. Resistência dos materiais II. Estruturas III. **Capítulo 5 – flambagem**. Rio Grande do Sul, Brasil, [s. d.]. Disponível em <http://goo.gl/9VmXB4>.Acesso em 07 set 2016.

WÜRTH. **Eletrodo E6013**. São Paulo, 2014. Disponível em <http://goo.gl/tgv1BT>. Acesso em 28 ago 2016.

ZORZAN, DARONCH. **Desenvolvimento de uma bancada didática de hidráulica**. Horizontina, 2013. Disponível em <http://goo.gl/LybsmT>. Acesso em 14 ago 2016.

APÊNDICES