

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALESSANDRO PASA SPANHOLI

PROJETO DE UM MOINHO DE ALTA ENERGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

ALESSANDRO PASA SPANHOLI

PROJETO DE UM MOINHO DE ALTA ENERGIA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Dalmarino Setti

PATO BRANCO

2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

PROJETO DE UM MOINHO DE ALTA ENERGIA

ALESSANDRO PASA SPANHOLI

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 28/11/2016 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi erguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin
(UTFPR)

Prof. Me. Silvana Patrícia Verona
(UTFPR)

Prof. Dr. Dalmarino Setti
(UTFPR - Orientador)

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos, familiares, minha namorada e todos que de alguma forma me ajudaram e deram apoio durante toda a minha graduação e especialmente para a construção deste trabalho.

Agradeço principalmente ao meu orientador Dalmarino Setti pela paciência e por toda a sua ajuda nesta orientação.

RESUMO

SPANHOLI, Alessandro Pasa. PROJETO DE UM MOINHO DE ALTA ENERGIA. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Esta monografia consiste no projeto de um moinho de alta energia tipo Attritor para uso em laboratório. O moinho Attritor é usado normalmente para moagem fina e ultrafina, é constituído por um jarro vertical com uma série de rotores e carregado de esferas. A moagem pode ocorrer por impacto ou atrito entre o meio de moagem (esferas) e o material, o jarro também se torna uma região de impacto e atrito. O tamanho das hastes, o diâmetro das esferas e a capacidade do moinho afetam diretamente no projeto. Neste trabalho, para uma melhor análise dos componentes e dimensionamento, dados experimentais foram levantados utilizando dois tamanhos diferentes de hastes uma com 25 mm e outra com 30 mm e também cinco cargas diferentes com relação de 10 para 1 de esfera e material, com ênfase na determinação experimental da potência de moagem. Todos os componentes foram dimensionados assim como alguns produzidos e testados para uma melhor compreensão de funcionamento como o espaçamento entre as hastes e o jarro e o efeito do tamanho das esferas. Determinou-se que os valores de potência de moagem e torque são muito maiores que os calculados.

Palavras-chave: Potência de moagem, meios de moagem, hastes, jarro.

ABSTRACT

SPANHOLI, Alessandro Pasa. DESIGN OF A HIGH ENERGY MILL. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

This monograph consists of the design of a high-energy Attritor type mill for laboratory use. The Attritor mill is usually used for thin and ultra-fine milling; it included a vertical jug with a series of rotors and loaded with balls. The milling may occur by impact or friction between the grinding medium (balls) and the material; the jug also becomes a region of impact and friction. The size of the rods, the diameter of the balls and the capacity of the mill directly affect the design. In this work, for a better analysis of the components and dimensioning, experimental data were collected using two different sizes of 25 mm and one 30 mm rods, as well as five different loads with a 10 to 1 ratio of the ball to the material, with emphasis on experimental determination of milling power. All components were dimensioned as well as some produced and tested for a better understanding of how the spacing between the rods and the jug and the size effect of the balls. It was determined that the milling power and torque values are much larger than those calculated.

keywords: Milling power, milling means, rod, jug.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moinho agitador Spex.....	13
Figura 2 – Moinho planetário.....	14
Figura 3 – Moinho attritor.....	15
Figura 4 – Jarro com as esferas e as hastes.	16
Figura 5 – Gradiente de velocidade.....	18
Figura 6 – Região de esforços para moagem	19
Figura 7 – Moagem por impacto e atrito.....	19
Figura 8 – Gráfico de energia por tamanho médio.....	20
Figura 9 – Fração de energia que pode ser transferida.....	21
Figura 10 – Protótipo Moinho.....	23
Figura 11 – Modelagem de um moinho utilizando software Solidworks.	24
Figura 12 – Jarro moinho.	25
Figura 13 – Medidas e posição ds hastes.	28
Figura 14 – Inversor de frequência	31
Figura 15 – Teste de moinho em uma furadeira de bancada.....	32
Figura 16 – Wattímetro analógico e Tacômetro digital.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diâmetros das polias por polaridade	30
Tabela 2: Dados retirados por testes práticos com hastes de 25mm	33
Tabela 3: Dados retirados por testes práticos com hastes de 30 mm	33
Tabela 4: Torque do motor e eixo com hastes de 25 mm.....	35
Tabela 5: Torque do motor e eixo com hastes de 30 mm.....	35
Tabela 6: Potência de moagem com carga máxima	36
Tabela 7: Potência de moagem em etapas com haste de 25 mm.....	37
Tabela 8: Potência de moagem em etapas com haste de 30 mm.....	37

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	MOINHOS	13
2.2	COMPONENTES DO MOINHO	15
2.3	VARIÁVEIS DO PROCESSO.....	17
2.3.1	Velocidade e tempo de moagem.....	17
2.4	MOAGEM.....	18
2.5	ENERGIA DE MOAGEM	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	PROJETO DO MOINHO.....	22
3.2	CONCEPÇÃO DO PROJETO	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1	PROJETO DOS COMPONENTES DO MOINHO	24
4.1.1	Jarro	25
4.1.2	Rotor	26
4.1.3	Suporte do moinho.....	29
4.1.4	Motor e transmissão.....	29
4.2	POTÊNCIA DE MOAGEM.....	31
4.3	ELEMENTOS DE SEGURANÇA.....	38
5	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A – DESENHOS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Os moinhos de alta energia são usados há muitos anos, no começo pela indústria farmacêutica que utilizava para fabricação de medicamentos, posteriormente a indústria de mineração começou a utilizar para moagem e mistura de materiais cerâmicos, a partir dos anos 60 e 70 os moinhos começaram a ser utilizados para materiais metálicos, tanto para moagens finas quanto para a mistura de metais de composições diferentes, criando assim novas ligas que de outra forma não poderiam ser concebidas. Além de ligas, é possível a obtenção do pó metálico derivado da moagem. A granulometria do pó, que pode ser micrométrica ou nanométrica dependendo das características utilizadas na hora da moagem como tempo e variedades de tamanho de esferas, este pó pode ser utilizado em metalurgia do pó, aspersão térmica e muitas outras aplicações.

O projeto de um moinho de alta energia é com o intuito de utilizá-lo para pequenas quantidades de moagem ou misturas de materiais como cerâmicos e metálicos. O projeto deve levar em consideração os futuros materiais que se pretende moer e assim determinar o volume interno do jarro que a partir dele se dá o dimensionamento de hastes, eixo e potência necessária para moagem. A moagem é realizada pelo atrito entre os meios de moagem que no caso são esferas e o material a ser moído, assim reduzindo a granulometria do material, por isso é denominado moinho attritor.

O moinho tem uma ampla gama de utilidades, tanto para pesquisa quanto para simples moagens, novas composições de metais ou materiais cerâmicos podem ser desenvolvidas com a utilização do moinho para a moagem ou mistura, como os intermetálicos que muitas vezes só podem ser obtidos por sinterização de pós, por exemplo, aluminetos de ferro.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo projetar um moinho do tipo Attritor visando à utilização em laboratório.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Analisar componentes essenciais de um moinho como jarro, hastes, transmissão e motor.

Definir parâmetros do moinho como rotação, carga no jarro e outros.

Projetar os componentes de um moinho do tipo atritor analisando modelos já existentes.

Desenhar os componentes.

Fabricação dos componentes principais como jarro e hastes.

Determinar a potência utilizada na moagem a partir de ensaios.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOINHOS

Diversos equipamentos podem ser denominados moinhos de alta energia para produção de materiais por meio da moagem. O que diferencia uns dos outros é a capacidade volumétrica, meios de moagem, eficiência e construção. Os moinhos são normalmente usados para reduzir o tamanho das partículas chegando a medidas nanométricas e micrométricas, as moagens podem ser realizadas num ambiente úmido ou seco, dependendo do tipo de moinho e da destinação do produto final. Há vários tipos de moinhos de alta energia como do tipo agitador spex, planetário e atritor, utilizando a energia de impacto dos meios de moagens para mistura ou moagem de materiais.

O moinho agitador do tipo Spex, mostrado na Figura 1, normalmente é usado em laboratórios para identificar composição de ligas, esse tipo de moinho possui um jarro onde há o material e o meio de moagem no caso as esferas assim com o balanço para frente e para trás e movimento lateral faz com que o impacto das esferas com o material e fundo do jarro seja muito elevados devido à amplitude (cerca de 5 cm) e a velocidade (cerca de 1200RPM), portanto, estes moinhos podem ser considerados como a variedade de alta energia (SURYANARAYANA, 2001).

Figura 1 – Moinho agitador Spex.



Fonte: ATS (2016).

O moinho planetário, mostrado na Figura 2, deve seu nome para o movimento planeta como de seus frascos. Estas são dispostas sobre um meio de rotação do disco de suporte e um mecanismo de acionamento especial os faz girar em torno do seu próprio eixo. A força centrífuga produzida pelos frascos rotativos em torno de si próprio faz com que os meios de moagem no caso as esferas gerem impacto e atrito entre elas e ao material. As aplicações servem desde a preparação de amostras ate a geração de produtos muito finos. (SURYANARAYANA, 2001).

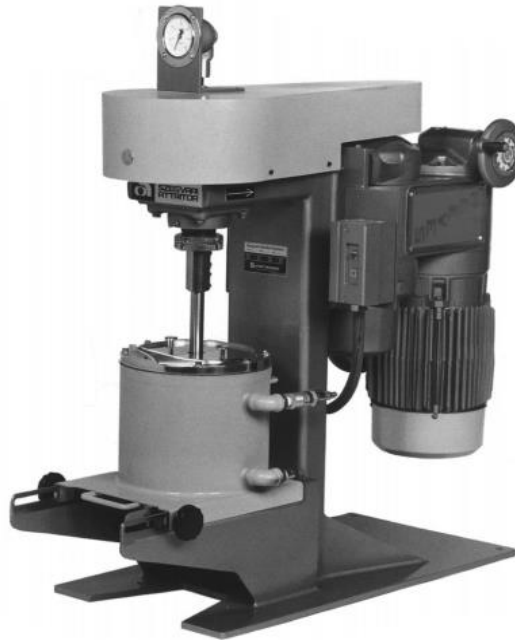
Figura 2 – Moinho planetário.



Fonte: Torrey (2016).

O moinho atritor, mostrado na Figura 3, é usado normalmente para moagem fina e ultrafina, é constituído por um jarro vertical com uma série de rotores dentro dele. O conjunto de rotores e hastes impulsiona as esferas, fazendo com que a redução de tamanho do pó seja devido ao impacto entre as esferas e entre a parede do recipiente. Algumas reduções de tamanho acontecem por colisões interpartículas e pelo atrito das esferas com o material. Um motor roda os rotores, os quais, por sua vez agitam as esferas de aço no jarro. (SURYANARAYANA, 2001).

Figura 3 – Moinho attritor.



Fonte: Suryanarayana, 2001, p. 17.

2.2 COMPONENTES DO MOINHO

- Jarro (Recipiente).

O jarro do moinho devido a sua parede interna sofrer grandes impactos durante a moagem, um pouco do seu material de fabricação pode se incorporar ao material que está sendo moído assim contaminando o pó e até mesmo alterá-lo quimicamente. Por isso o material utilizado para a confecção do jarro de moagem deve ser de metal de alta resistência como, por exemplo, aços inoxidáveis, aços temperados (SURYANARAYANA, 2001).

- Eixo e Hastes

O eixo do moinho e aquele que recebe a potência gerada pelo motor elétrico, nele possuem hastes que são posicionadas 90° umas das outras, elas servem para movimentar as esferas dentro do moinho gerando assim atrito e impacto. Do mesmo modo que o jarro, as hastes sofrem desgastes severos necessitando assim que o material delas seja de um metal de alta resistência como aços temperados.

- Meios de moagem

Os meios de moagem (esferas) mostradas na Figura 4, normalmente são de aço temperado, aço ferramenta, aço temperado cromo, aços inoxidável, aço rolamento de alta resistência para suportar grandes impactos e abrasão. Os meios de moagem devem possuir uma alta densidade para criar uma força de impacto suficiente sobre o material. O material do meio de moagem deve ser igual ao material a ser moído para evitar contaminação ou ser mais duro e resistente (SURYANARAYANA, 2001). O tamanho das esferas varia conforme o tipo de material que será moído assim muitas vezes dois tamanhos diferentes é utilizado para gerar uma maior área de atrito e impacto melhorando muitas vezes sua eficiência.

Figura 4 – Jarro com as esferas e as hastes.



Fonte: Phoenix (2016).

- Transmissão de potência

Cada configuração de moinho tem seu sistema de transmissão de potência entre motor/haste, nos moinhos de alta energia onde a rotação pode variar de 100 até 650 rpm a transmissão pode ser feita por engrenagens, polias/correias ou engrenagem/corrente tudo depende do projeto e dos parâmetros como torque e rotação. O sistema de controle de velocidade também pode ser feita por vários componentes como, por exemplo, CVT regulável, caixa de engrenagens, polias escalonadas e inversores de frequência, cada sistema tem suas vantagens e limitações. Outro componente é o motor elétrico que deve ser dimensionado conforme a carga e torque que necessita para girar o moinho.

2.3 VARIÁVEIS DO PROCESSO

Um moinho para ter uma boa eficiência deve levar em consideração vários aspectos, como o tamanho do jarro que para ser determinado depende do material a ser moído e a quantidade de material, os meios de moagem que possuem vários tamanhos e que devem ser mais duras e resistentes que o material a ser moído.

Os parâmetros de moagem agem diretamente no produto final, eles podem definir o quão fino o material pode ficar ou o quão misturados eles podem estar (no caso de utilização do moinho para mistura de elementos já moídos). Os parâmetros são:

- Velocidade de moagem
- Tempo de moagem
- Tipo, tamanho e variedades de Diâmetro de esferas para moagem.
- Relação de peso de material a ser moído por peso de esferas.
- Porcentagem de volume ocupado
- Temperatura de moagem

Todas as variáveis do processo não são completamente independentes como, por exemplo, o tempo de moagem depende do tipo de moinho, o tamanho do meio de moagem e etc. (SURYANARAYANA, 2001).

2.3.1 Velocidade e tempo de moagem.

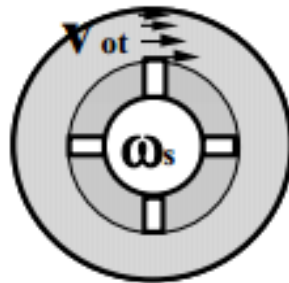
Quanto maior a velocidade do moinho maior é a energia que as esferas de moagem transferem para o material. Mas dependendo das dimensões do moinho ou material das esferas, existem certas limitações em relação à velocidade e seu tempo de moagem. Se a velocidade do moinho for muito elevada as esferas e as hastes começam a sofrer impactos acima do normal gerando lascamento e desgaste excessivo até mesmo do jarro, assim o material dos mesmos podem se misturar ao material que esta sendo moído e contaminá-lo. Outro ponto é a temperatura que com alta velocidade e alta energia passada entre as esferas e o material pode vir a subir muito chegando a contaminar e até fundir as matérias (SURYANARAYANA, 2001).

O tempo de moagem é um dos parâmetros mais importantes. Ele varia conforme o tipo de material a ser moído, tipo de moinho, velocidade e temperatura. O tempo normalmente determina a granulometria do material quanto mais tempo mais fino, mas quanto mais tempo, maior a temperatura, assim às vezes é necessário pausas no processo para resfriamento e conferência dos componentes ou até um sistema de refrigeração são instalados.

2.4 MOAGEM

Moagem é uma consequência do gradiente de velocidade entre o meio de moagem e as partículas em suspensão. Nas pontas das hastas como a velocidade é maior a energia de transferência para os meios de moagem também é maior, a Figura 5 demonstra um esquema de velocidade.

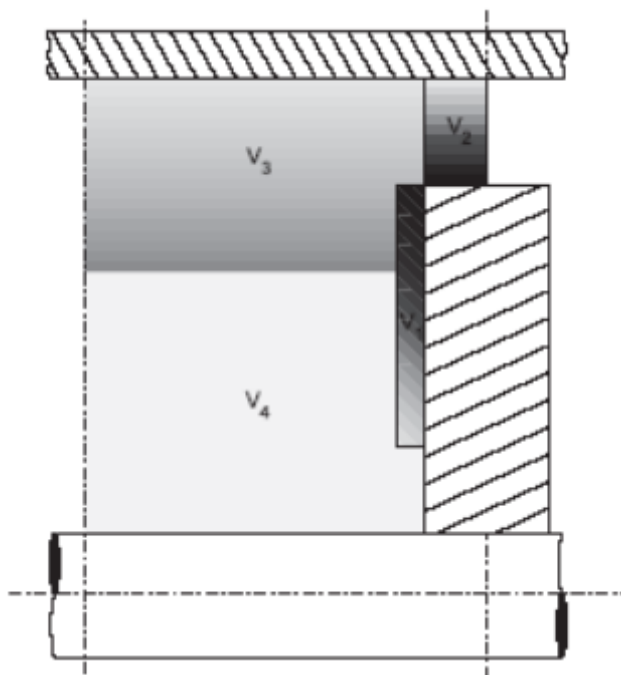
Figura 5 – Gradiente de velocidade



Fonte: Jankovic, 2000, P. 7.

Estima-se que apenas 10 a 15% do volume do moinho têm o esforços de energia mais elevados, que são necessários para moagem ativa conforme a Figura 6 mostra a região onde ocorre maior energia para moagem.

Figura 6 – Região de esforços para moagem

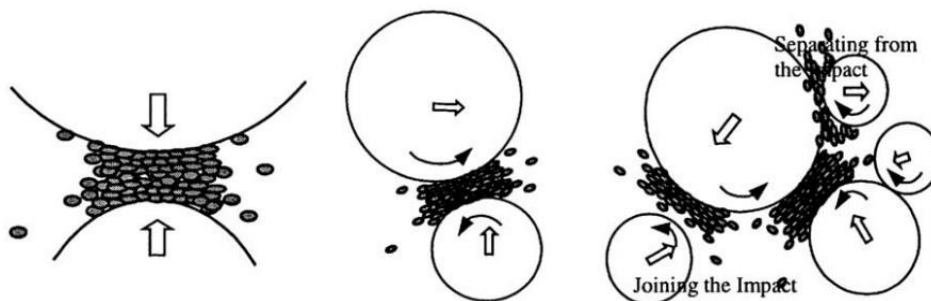


Fonte: Jankovic, 2000, p. 6.

As regiões dos volumes V_1 e V_2 são onde ocorrem a maior transferência de energia das hastes para os meios de moagem e assim para o material a ser moído.

A moagem pode ocorrer por impacto ou atrito entre o meio de moagem e o material conforme mostrado na Figura 7, além do jarro que também se torna uma região de impacto e atrito.

Figura 7 – Moagem por impacto e atrito

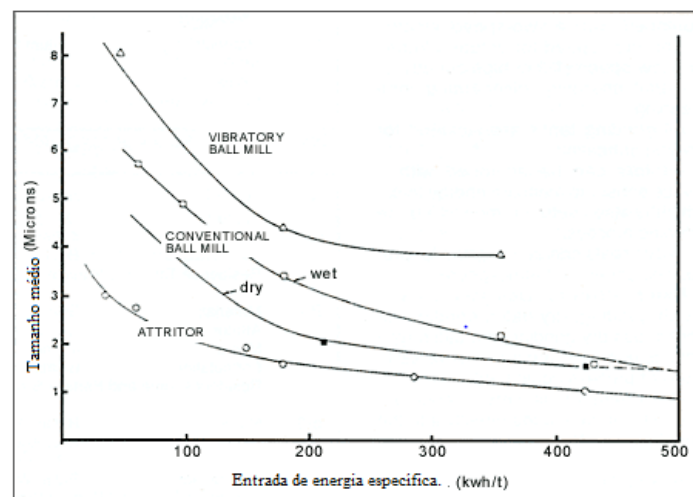


Fonte: Zhang, 2004, p. 19

2.5 ENERGIA DE MOAGEM

Cada tipo de moinho tem uma transferência de energia, para moagem mais finas o moinho do tipo attritor é o que consegue chegar a granulões extremamente pequenas como nanométricas em menor tempo. A Figura 8 demonstra que quanto menor a granulometria maior o gasto energético e maior o tempo de moagem, assim também para determinar qual tipo de moagem é a melhor para o material deve-se analisar qual granulometria que se pretende chegar além das propriedades do material como resistência e fragilidade, pois se o material for mais resistente que os meios de moagem acontecerá o efeito contrario onde os meios de moagem serão moídos pelo material (UNION PROCESS, 2016).

Figura 8 – Gráfico de energia por tamanho médio.



Fonte: UNION PROCESS, 2016.

A transferência de energia do meio de moagem para as partículas do material foi representada como um modelo sem amortecimento único massa-mola:

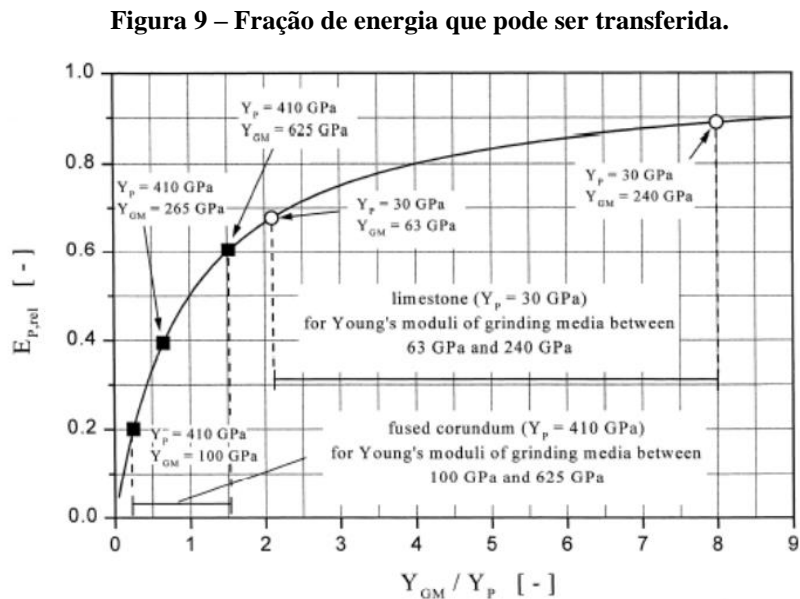
$$E = \frac{\gamma_{gm}}{\gamma_{gm} + \gamma_p} \quad (1)$$

E: Parte da energia que pode ser transferida.

γ_{gm} : Modulo de Young do meio de moagem (Pascal).

γ_p : Modulo de Young do material (Pascal).

A Figura 9 mostra a fração da energia que é transferida para a partícula do material como uma função do módulo de Young dos meios de moagem e da partícula do material. Quanto mais elevada for a relação, maior será a energia que pode ser transferido para a partícula durante a moagem (JANKOVIC, 2000).



Fonte: (Jankovic, 2000, p. 13).

Estudos comprovam que a velocidades das hastes de agitação, a densidade dos meios de moagem e o tamanho tem uma influência bem significativa nos resultados de fragmentação do material que será moído, mas alguns cuidados devem ser levados em consideração como temperatura, impactos muito altos que podem levar a quebra de componentes como bolas e até mesmo hastes do moinho. Por isso testes devem ser realizados para determinar os parâmetros máximos e mínimos que o moinho pode trabalhar como, por exemplo, diâmetros das esferas, velocidade, tempo, relação de esfera/material (JANKOVIC, 2000).

3 METODOLOGIA

3.1 PROJETO DO MOINHO

Segundo Norton (2013) existem várias etapas para a concepção de um projeto, a etapa inicial é a identificação da necessidade, a etapa 2 seria a pesquisa de suporte que serve para compreender completamente o problema e assim estabelecendo os objetivos (etapa 3). Na etapa 4 pede a criação de um conjunto detalhado de especificações de tarefas que fecham o problema e limitam seu alcance, já na síntese (etapa 5) que se busca alternativas para o projeto sem considerar valores e custos. Na etapa 6 são analisadas as propostas da etapa anterior, assim é selecionado (etapa 7) as melhores alternativas. No projeto detalhado (etapa 8) onde são juntados todos os croquis e pesquisas feitas, e na etapa 9 é feito um protótipo para testes e depois a produção (etapa 10) (NORTON, 2013).

O projeto seguiu as etapas descritas acima, por isso primeiramente, a necessidade de projetar e fabricar um moinho seriam para utilizá-lo no laboratório para fins de pesquisar, mas ao mesmo tempo seguindo normas e segurança, algumas etapas podem se intercalar ou até mesmo serem adiantadas como testes de componentes ou protótipos.

3.2 CONCEPÇÃO DO PROJETO

Cada componente do moinho foi dimensionado a partir da definição do volume do jarro, onde foi realizado o cálculo de todos os componentes analisando esforços e resistência mecânica, além dos cálculos houve a modelagem de cada componente utilizando *software* solidworks para fabricação, montagem e possíveis incompatibilidades.

Após ser projetado assim como modelado e analisado cada componente, parte-se para a fabricação que utilizara métodos de usinagem, soldagem, elementos de maquinas e também tratamentos térmicos se necessários em alguns componentes.

Após a concepção do projeto foi realizado testes de rotação analisando máximos e mínimos, escolha de meios de moagens tipos e medidas, assim fazendo possíveis melhorias se necessário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A descrição do projeto e a fabricação levam em conta modelos já existentes, assim formas e dimensões já são pré-determinadas como é o caso do jarro, hastes. Na Figura 10 um moinho de tamanho experimental foi fabricado para auxiliar na moagem de um material intermetálico (Ferro-Alumínio), servindo assim para análise do funcionamento e também para determinar parâmetros a serem seguidos na concepção de um moinho com capacidade superior.

Figura 10 – Protótipo Moinho.



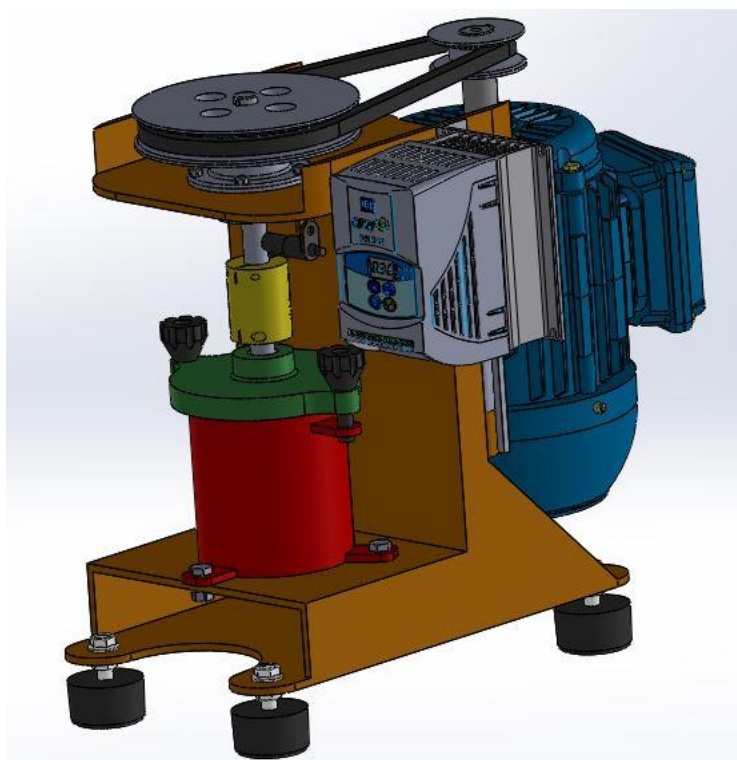
Fonte: Autoria própria.

A descrição da fabricação e projeto de moinhos de alta energia é muito vago e escasso de detalhes, assim esse protótipo fez com que se levantem inúmeros dados sobre o que se deve ou não ser trazido em consideração na hora do projeto de um moinho, esses dados foram descritos em cada componente citado abaixo começando pelo jarro e hastes que são os componentes essenciais.

4.1 PROJETO DOS COMPONENTES DO MOINHO

A modelagem ou desenho das partes de um moinho e sua montagem final é de extrema importância para analisar se o que foi proposto e projetado pode ser utilizado ou até fabricado. Com base em moinhos já existentes foi modelado um moinho a partir do *software* solidworks, de tamanho reduzido para ser utilizado em laboratório, mas com todos os componentes necessários para seu funcionamento e segurança, a Figura 11 abaixo demonstra a montagem de todas as partes modeladas. Ao final deste trabalho está em anexo a modelagem completa com legendas de cada componente assim como descrição técnica de alguns itens para uma melhor observação.

Figura 11 – Modelagem de um moinho utilizando software Solidworks.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Jarro

Algumas dessas etapas do projeto foram de extrema importância para a definição dos componentes e de como podem ser fabricados ou adquiridos. Para um moinho de alta energia determinados componentes tem grande importância, como dito anteriormente. A primeira coisa a ser definida é a capacidade do jarro, ou seja, o volume de meios de moagem e material que pode ser moído, como o moinho é para fins de laboratório e pesquisa sua capacidade de carga não é muito alta. Por isso foi determinado um volume de 750 ml (750 cm^3) que pode suportar de 2 a 2,5kg. A fabricação foi feita a partir de um tubo de 4 polegadas de diâmetro tendo comprimento de 110 mm onde um dos lados foi fechado. O material do jarro é um aço 1020 onde foi realizada uma cementação interna de 3 horas e posteriormente uma tempera com água para que a parede interna do moinho adquira resistência ao desgaste causado pelo atrito, a Figura 12 abaixo é do jarro já terminado com uma pintura externa para evitar oxidação.

Figura 12 – Jarro moinho.



Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Rotor

As hastes do moinho foram soldadas em um eixo, os diâmetros dos mesmos não podem ser pequenos por questões de desgastes e de transmissão de energia, o eixo tem uma espessura maior para fixação das hastes suportar torção além de impacto e evitar o empenamento. O material escolhido para a fabricação tanto do eixo quanto das hastes pode ser um aço liga ou de alto carbono como 1045, 4340 e outros. Para dimensionamento do eixo leva-se em consideração o torque necessário para movimentar a carga do jarro que é de 2,5 kg.

O comprimento do eixo é a soma da altura do jarro mais a espessura da tampa do jarro e uma folga até o acoplamento.

$$L_{eixo} = H_{jarro} + E_{tampa} + folga \quad (2)$$

$$L_{eixo} = 100 + 20 + 50$$

$$L_{eixo} = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Torque} = (\text{Carga} * \text{gravidade}) * \text{raio do jarro} \quad (3)$$

$$\text{Torque} = (2,5 * 9,81) * 0,050$$

$$\text{Torque} = 1,25 \text{ N.m}$$

O material selecionado será o aço SAE 1045 com $S_{ut} = 627 \text{ MPa}$, $S_y = 531 \text{ MPa}$.

Limite de resistência à fadiga não corrigida:

$$S_e' = 0,5 * S_{ut} = 0,5 * 627 \text{ MPa} = 313,5 \text{ Mpa}$$

$$S_e = C_1 * C_2 * C_3 * C_4 * C_5 * S_e' \quad (4)$$

Carregamento é tensão e torção, portanto coeficiente de carga $C_1 = 1$.

Coeficiente de tamanho $C_2 = 1$.

Coeficiente de superfície $C_3 = 0,8$ (usinado).

Coeficiente de temperatura $C_4 = 1$ (trabalho inferior a 450°C).

Coeficiente de confiabilidade $C_5 = 0,897$ (90% de confiabilidade).

$$S_e = 1 * 1 * 0,8 * 1 * 0,897 * 313,5 = 225 \text{ MPa.}$$

O fator de concentração de tensão foi utilizado para pior caso que é chaveta $K_t = 4$ e para flexão $K_t = 3,5$. A sensibilidade ao entalhe do material $q = 0,68$ em flexão e $q = 0,72$ em torção. Para a tensão de flexão e torção:

Para chaveta:

$$K_f = 1 + q (K_t - 1) = 1 + 0,68 (4 - 1) = 3,04$$

$$K_{fs} = 1 + q (K_{ts} - 1) = 1 + 0,72 (4 - 1) = 3,16$$

$$K_{fsm} = K_{fs} = 3,16.$$

Para flexão:

$$K_f = 1 + q (K_t - 1) = 1 + 0,68 (3,5 - 1) = 2,7$$

$$K_{fs} = 1 + q (K_{ts} - 1) = 1 + 0,72 (3,5 - 1) = 2,8$$

$$K_{fsm} = K_{fs} = 2,8.$$

Diâmetro do eixo:

$$D = \left\{ \frac{32 N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Onde:

N_f : coeficiente de segurança.

K_f : tensão de fadiga.

M_a : momento alternante.

S_f : resistência de fadiga corrigida.

K_{fsm} : tensão media.

T_m : torque do motor.

S_y : resistência ao escoamento.

$$D1 = \left\{ \frac{32 \cdot 5}{\pi} \left[(0) + \frac{3}{4} \left(3,16 \frac{1,25}{531 \text{ MPa}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

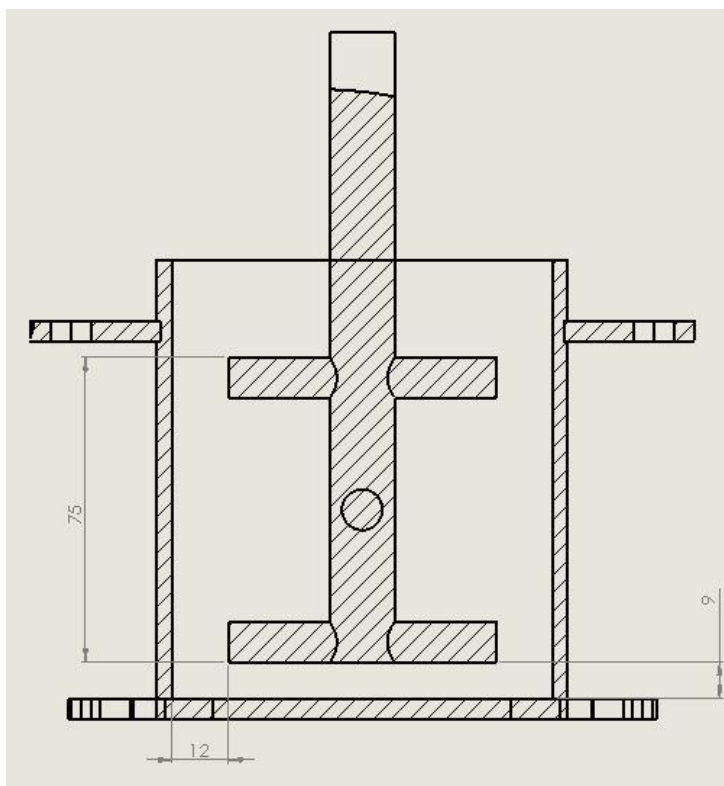
$$D1 = 0,00689 \text{ m} = 7 \text{ mm}$$

Por questões de fabricação e de medidas das hastes foi adotado 10 mm por causa do desgaste e impacto o diâmetro do eixo será adotado 15 mm.

O posicionamento das hastes é determinado de modo a obter a máxima eficiência, ou seja, elas devem conseguir percorrer toda a região do moinho principalmente o fundo, que pela gravidade o material a ser moído tende a descer e se alocar. O número de hastes a serem utilizadas foi determinado a partir do diâmetro das esferas com a altura do jarro, assim como o espaço entre a ponta das hastes e a parede do jarro, uma vez que conforme há o desgaste da ponta tende a ocorrer alojamento de esferas assim podendo travar o moinho causando possíveis danos.

As esferas utilizadas são de 3 mm de aço SAE 52100, testes foram realizados com a folga entre as hastes e o jarro em torno de 3 a 4 vezes o diâmetro das esferas, a Figura 13 mostra a posição das hastes assim como as distâncias pré-determinada minimizando o volume morto do moinho que está localizado perto da parede do jarro e principalmente no fundo do moinho, onde não há moagem e as esferas se alocam juntamente com o material a ser moído.

Figura 13 – Medidas e posição das hastes.



Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Suporte do moinho

O suporte fixa todos os componentes do moinho como motor jarro e eixo. O suporte foi projetado conforme as dimensões do jarro e dos eixos assim fabricado a partir de chapas de aço que se tem um menor custo ou em ferro fundido para absorção de impacto e vibrações e ainda tem-se o alumínio fundido que é mais leve que o ferro fundido e o aço, mas o custo é maior.

4.1.4 Motor e transmissão

A seleção do motor leva em consideração o torque necessário para movimentar o eixo do moinho mais a massa dos componentes como os eixos que por sua vez movimenta toda a massa interna do jarro que consiste no meio de moagem mais o material.

$$\text{Torque} = ((\text{Carga} + \text{massa dos componentes}) * \text{gravidade}) * \text{raio do jarro} \quad (6)$$

$$\text{Torque} = ((2,5kg + 1kg)) * 9,81m/s^2 * 0,050m$$

$$\text{Torque} = 1,75 \text{ N.m}$$

A potência do motor é uma relação entre o torque e a rotação, como temos motores de várias polaridades se dará preferencia para os com menor rotação, pois a redução e o diâmetro das polias serão menores, abaixo segue os cálculos para cada tipo de motor.

$$\text{Potência} = \text{torque} * \text{Rotação} \quad (7)$$

$$\text{Potência} = 1,7 * \frac{2\pi}{60} * (\text{RPM})$$

Tabela 1: Diâmetros das polias movidas em função da polaridade

Medidas de Polias por Polos			
Relação de rotação (Polia motora 40 mm)	4 polos (1800 rpm)	6 polos (1200 rpm)	8 polos (900 rpm)
500 rpm	136 mm	88 mm	68 mm
350 rpm	194 mm	126 mm	98 mm
200 rpm	340 mm	220 mm	170 mm

Fonte: Autoria própria.

A transmissão entre o eixo do motor e o eixo do moinho foi através de polias e correia, um sistema simples e que atende bem a necessidade. Segundo SHIGLEY (2005).

Em muitos casos, seu uso simplifica o projeto e reduz os custos, além alguns elementos são elásticos e normalmente muito longos, eles ocupam uma posição importante no que diz respeito a absorver cargas de choque e a amortecer e isolar os efeitos de vibração. Outro ponto importante é que sistemas flexíveis não dispõem de uma vida infinita necessitando assim programação de inspeções evitando desgastes, envelhecimento e perda de elasticidade. (SHIGLEY, 2005, p. 816).

A variação de rotação pode ser feita através de polias com diâmetros diferentes colocados no eixo do moinho. Assim são determinados de 2 a 3 medidas de polias para variação de velocidade, além da correia do tipo em V que foi usada para transmissão de torque e potência entre componentes. A correia do tipo V é muito utilizada e de fácil aplicação e baixo custo, possibilitando pequenos escorregamentos nos momentos de ligar e desligar além de não precisar de posição específica igual às correias do tipo dentadas.

Outra maneira de transmissão que pode ser adotado também utiliza correia e polias, mas para o controle de velocidade é utilizado um inversor de frequência conforme o mostrado na Figura 14, uma grande vantagem seria a ampla variação de rotação que se pode atingir, por outro lado o alto custo do inversor de frequência que pode se tornar inviável caso o moinho seja apenas para um tipo de material ou para moagens de baixa energia e grosseiras.

Figura 14 – Inversor de frequência

Fonte: Weg inversores de frequência (2016).

4.2 POTÊNCIA DE MOAGEM

A análise de potência de moagem tem como objetivo estimar o quanto de energia necessita para movimentar os meios de moagem juntamente com o material, esse gasto leva em conta o atrito e a carga do moinho assim como o tamanho das hastes. Tendo um valor estimado da potência necessária por volume útil do moinho pode se determinar valores de potência de motores e sistemas de transmissão ideais para serem aplicadas em moinhos de tamanhos maiores ou até mesmo menores, mas com a mesma construção e componentes de um moinho de alta energia.

Com auxílio de uma furadeira de banca foi analisado o comportamento tanto do jarro como das hastes, quando a do motor e sua transmissão, assim tirando dados de potência e torque necessário para a moagem com auxílio de um wattímetro junto com um tacômetro, mostrado na Figura 16. A Figura 15 mostra a montagem do jarro, as medidas foram realizadas em etapas gerando uma curva de potência por peso e uma de torque por peso de material mais esfera.

Figura 15 – Teste de moinho em uma furadeira de bancada.



Fonte: autoria própria.

Figura 16 – Wattímetro analógico e Tacômetro digital.



Fonte: autoria própria.

A primeira etapa consiste em analisar a potência que o motor gera em vazio, ou seja, sem nada acoplado ao eixo de saída, posteriormente com uma carga determinada de esferas e material acoplados na furadeira, verificasse no wattímetro o quanto de potência está sendo exigida do motor para essa quantidade, assim como a rotação do

motor no seu eixo. Foram feitos testes com 5 cargas diferentes e com uma relação de 10 para 1 de esfera e material, como mostrado na Tabela 2 e 3. Também foram realizados testes com dois comprimentos de hastes, uma com 25 mm e outra com 30 mm para comparar a diferença de potência entre essas hastes tirando assim uma relação de quanto de potência se necessita caso aumente o tamanho de jarro e também da própria haste.

Tabela 2: Dados retirados por testes práticos com hastes de 25 mm

Hastes de 25 mm				
Esfera	Esferas (Kg)	Areia (Kg)	Potencia (W)	RPM (Motor)
0	0	0	178	1780
3mm	0,5	0,05	197	1776
3mm	1	0,1	213	1771
3mm	1,5	0,15	222	1770
3mm	2	0,2	245	1763
3mm	2,5	0,25	275	1755

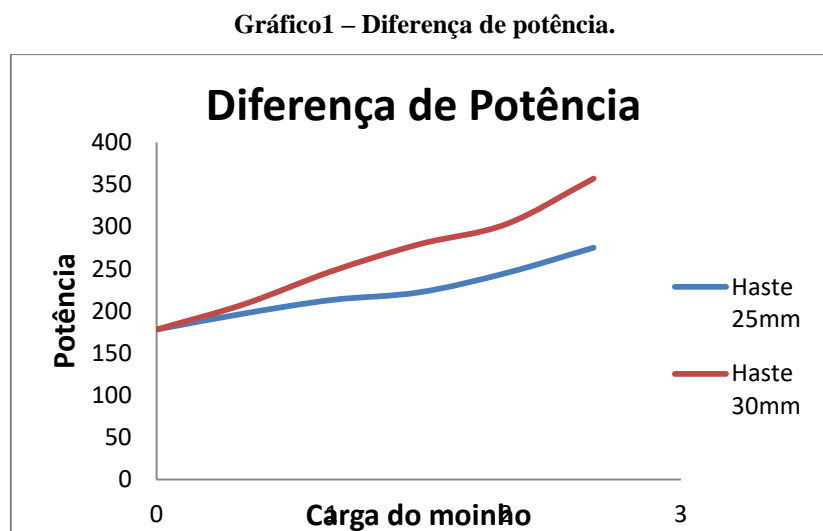
Fonte: autoria própria.

Tabela 3: Dados retirados por testes práticos com hastes de 30 mm

Hastes de 30 mm				
Esfera	Esferas (Kg)	Areia (Kg)	Potencia (W)	RPM (Motor)
0	0	0	178	1780
3mm	0,5	0,05	208	1775
3mm	1	0,1	247	1767
3mm	1,5	0,15	279	1759
3mm	2	0,2	303	1747
3mm	2,5	0,25	357	1732

Fonte: autoria própria.

Com os dados retirados acima é capaz de traçar um gráfico para melhor visualizar a diferença de potência entre as hastes assim como calcular o torque que é exigido do motor em cada caso conforme o Gráfico 1.



Fonte: autoria própria.

Com as expressões 8 e 9 podemos estimar o torque necessário tanto no motor quanto no eixo do moinho para movimentar e manter o moinho em operação com os dois tipos de hastes e assim ter uma relação de torque por peso e comprimento de hastes mostrados nas Tabelas 4 e 5. Os diâmetros das polias da furadeira de bancada foram medidas tendo assim o diâmetro da polia do motor (D_{motor}) é de 40 mm e o diâmetro da polia do eixo (D_{eixo}) é de 100 mm.

$$Pot = Torque\ motor\ (N.m) * Rotação\ \left(\frac{rad}{s}\right) \quad (8)$$

$$Toquer\ eixo = \frac{Torque\ motor}{D.eixo\ (mm)} * D.motor\ (mm) \quad (9)$$

Tabela 4: Torque do motor e eixo com hastes de 25 mm

Hastes de 25mm	
Torque Motor (N.m)	Torque Eixo (N.m)
0,95	2,39
1,06	2,65
1,15	2,87
1,20	2,99
1,33	3,32
1,50	3,74

Fonte: autoria própria.

Tabela 5: Torque do motor e eixo com hastes de 30 mm

Hastes de 30mm	
Torque Motor (N.m)	Torque Eixo (N.m)
0,95	2,39
1,12	2,80
1,33	3,34
1,51	3,79
1,66	4,14
1,97	4,92

Fonte: autoria própria.

A diferença tanto de potência quanto de torque pode chegar a 20 %, os valores levaram em consideração os mesmos carregamentos assim como o número de hastes apenas alterando o comprimento. Outro fator é a diferença do torque prático para o teórico calculada anteriormente, assim será recalculado abaixo o diâmetro do eixo utilizando a equação 4 e o maior torque encontrado, para analisar se o valor adotado que é de 15mm suporta esse torque.

$$D1 = \left\{ \frac{32 \cdot 5}{\pi} \left[(0) + \frac{3}{4} \left(3,16 \frac{4,92}{531 \text{ MPa}} \right)^2 \right]^2 \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$D1 = 0,01088 \text{ m} = 11 \text{ mm}$$

O valor calculado acima ficou abaixo de 15 mm que foi adotado, então o eixo suporta o torque que nele é aplicado.

A potência de moagem foi estimada a partir do volume do jarro e o peso dos meios de moagem com o material, descontando a potência perdida pelos componentes rodando em vazio que é gerada pela correia, rolamentos, atrito e aquecimento dos fios que chega a aproximadamente 178 watts assim nas tabelas 6 foi determinado o volume útil conforme as hastes utilizadas assim como a potência gasta apenas na moagem com a relação de 10 para 1 de esferas e material.

Tabela 6: Potência de moagem com carga máxima

Haste	Volume útil (cm³)	Potencia Útil (W)	W/cm³	W/Kg (Esferas+Areia)	W/Kg (Areia)	Nm/Kg (Areia)
30 mm	444,6	179	0,403	109,8	716	19,68
25 mm	335,3	97	0,289	78,9	388	14,96

Fonte: autoria própria.

A diferença de medida entre as hastes mostra que a potência necessária para a moagem interfere diretamente em todas as variáveis do processo, como a análise foi feita apenas com dois tipos de hastes tentando diminuir o máximo o volume morto onde não ocorre moagem os dados retirados sobre a potência por quilo de material e torque por quilo de material pode ser aplicado em moinhos maiores desde que com as mesmas medidas de hastes apenas aumentando o volume no comprimento do cilindro. Nas duas Tabelas 7 e 8 estão os dados divididos por volume ocupado.

Tabela 7: Potência de moagem em etapas com haste de 25 mm

HASTE DE 25 mm							
Esferas (Kg)	Areia (Kg)	Volume ocupado (cm³)	Potencia (W)	Potencia Útil (W)	W/cm³	W/Kg (Areia)	W/Kg (Esferas+Areia)
0	0	0	178	0	0	0	0
0,5	0,05	100	197	19	0,190	380,0	34,5
1	0,1	200	213	35	0,175	350,0	31,8
1,5	0,15	300	222	44	0,147	293,3	26,7
2	0,2	400	245	67	0,168	335,0	30,5
2,5	0,25	500	275	97	0,194	388,0	35,3

Fonte: autoria própria.

Tabela 8: Potência de moagem em etapas com haste de 30 mm

HASTE DE 30 mm							
Esferas (Kg)	Areia (Kg)	Volume ocupado (cm³)	Potencia (W)	Potencia Útil (W)	W/cm³	W/Kg (Areia)	W/Kg (Esferas+Areia)
0	0	0	178	0	0	0	0
0,5	0,05	100	208	30	0,300	600,0	54,5
1	0,1	200	247	69	0,345	690,0	62,7
1,5	0,15	300	279	101	0,337	673,3	61,2
2	0,2	400	303	125	0,313	625,0	56,8
2,5	0,25	500	357	179	0,358	716,0	65,1

Fonte: autoria própria.

Assim a cada medida retirada foi calculado a potência gasta por quilograma de material, onde pode-se observar não varia muito ficando próximo de 32 W/Kg para a haste de 25 mm e 60 W/Kg para a haste de 30 mm.

Conforme o tamanho das hastes aumenta, a potência também será maior por causa da velocidade angular da ponta da haste que quanto mais longa maior a velocidade assim a força de impacto e o volume de atuação também é alterado. Mesmo assim foi estimada uma potência mínima necessária para um bom funcionamento do moinho utilizando a equação 10.

$$P_m = ((C * P_g) + P_v) * S \quad (10)$$

Onde:

P_m = Potência do motor (W).

C = Carga máxima do moinho (Kg).

P_t = Potência gasta por quilo de material (W/Kg).

P_v = Potência gasta para rodar em vazio (W).

S = Sobra de segurança (15%).

P_m para haste de 25mm = 306 W

P_m para haste de 30mm = 395 W

4.3 ELEMENTOS DE SEGURANÇA

Os sistemas de segurança do moinho são basicamente voltados para que em caso de travamento do eixo do moinho por encavalhar as esferas com as hastes, o motor se desligue evitando um superaquecimento o que poderia ocasionar avarias. Um sistema que pode ser utilizado é um sensor de rotação posicionado logo abaixo do acoplamento entre o eixo do moinho e o eixo da polia onde caso ocorra o travamento ele possa desligar o motor por meio de um microcontrolado que corta a corrente do motor. Outro sistema é o próprio inversor de frequência que controla o motor e também o protege contra (WEG inversores):

- Sobretensão e subtensão no circuito intermediário
- Sobretemperatura no dissipador.
- Sobrecorrente na saída.
- Sobrecarga no motor.
- Erro de hardware, defeito externo.
- Curto-circuito na saída.
- Erro de programação.

5 CONCLUSÕES

Com o objetivo de projetar um moinho do tipo Attritor visando à utilização em laboratório destacam-se as seguintes conclusões:

Todos os componentes foram devidamente dimensionados assim como alguns produzidos e testados para uma melhor compreensão de funcionamento como o espaçamento entre as hastes o jarro e tamanho de esferas.

Os valores de potência de moagem médios foram determinados a partir de experimentos com diferentes cargas, sendo a potência média de moagem para a haste de 25 mm com relação de bolas/ material de 10:1 foi de 32 W/kg e a potência média de moagem para a haste de 30 mm com relação de bolas/material de 10:1 foi de 60 W/kg.

Determinou-se que com os experimentos que cada tamanho de haste apresenta um ponto onde a potência de moagem apresenta um mínimo. O ponto de potência de moagem ótimo (mínimo) para haste de 25 mm foi de 26,7 W/kg (tabela 7) para um volume de 300 cm³. O ponto de potência de moagem ótimo (mínimo) para haste de 30 mm foi de 54,5 W/kg (tabela 8) para um volume de 100 cm³.

Determinou-se que os valores de potência de moagem e torque são muito maiores que os calculados devido ao atrito e perdas do sistema. Por isso o dimensionamento de um moinho possui muitas variáveis para serem analisadas, o comprimento das hastes e o diâmetro das esferas são de suma importância para que a eficiência do moinho seja a melhor possível.

Os componentes do moinho podem ser modificados como os tipos de mancais, transmissão, suporte entre outros. Este trabalho pode ser usado como um ponto de partida para outros desenvolvimentos no tema de moinhos de alta energia tipo Attritor.

REFERÊNCIAS

ATS. *ATS Scientific inc.* Disponível em: <<http://ats-scientific.com/products/8000m-mixer-mill>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

GISLÂINE B.P. 2008. **Análise do Efeito do Tempo de Moagem de Alta Energia no Tamanho de Cristalito e Microdeformação da Rede Cristalina do WC-Co.** Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd>>. Acesso 20 mar. 2016.

JANKOVIC, Alex 2000. *A Review of Regrinding and Fine Grinding Technology - the Facts and Myths.* Disponível em: < [http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120106-22576-8888C/\\$File/038.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/mct_service.nsf/WebWID/WTB-120106-22576-8888C/$File/038.pdf) >. Acesso em 12 mai. 2016.

NORTON L. Robert. **Projeto de Maquinas uma abordagem integrada.** 4. ed. Porto Alegre : Bookman, 2013.

PHOENIX. *Phoenix Equipament Corporation.* Disponível em: <<http://www.phxequip.com/equipment.6722/3-hp-union-process-1s-attritor.aspx>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

SHIGLEY, Joseph E. **Projeto de Engenharia Mecânica.** 7. ed. Porto Alegre : Bookman, 2005.

SURYANARAYANA, Challapalli 2001. *Mechanical Alloying and Milling.* Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642599000109>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

TORREY. *Torrey Hills Mixing Equipament.* Disponível em: <<http://www.threerollmill.com/planetaryballmills.html>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

UNION PROCESS. *High Energy Ball Milling.* Disponível em: <http://www.unionprocess.com/ball_mills.html>. Acesso em 28 abr. 2016.

WEG inversores de frequência. Disponível em:<<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW10>>. Acesso em 18 set. 2016.

WEG inversores. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência**. 2. Ed. Disponível em: <http://www.mundoelétrico.com/downloads/Guia_de_Aplicacao_de_Inversores_de_Frequencia.pdf>. Acesso em: 31 out. 2016.

WELLENKAMP, Franz-Josef, 1999. **Moagem Fina e Ultrafina de Minerais Industriais: uma revisão**. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/124>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ZHANG, D.L. 2004. *Processing of Advanced Materials Using High-Energy Mechanical Milling*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642503000343>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

APÊNDICE A – DESENHOS

Apêndice 01 – Eixo

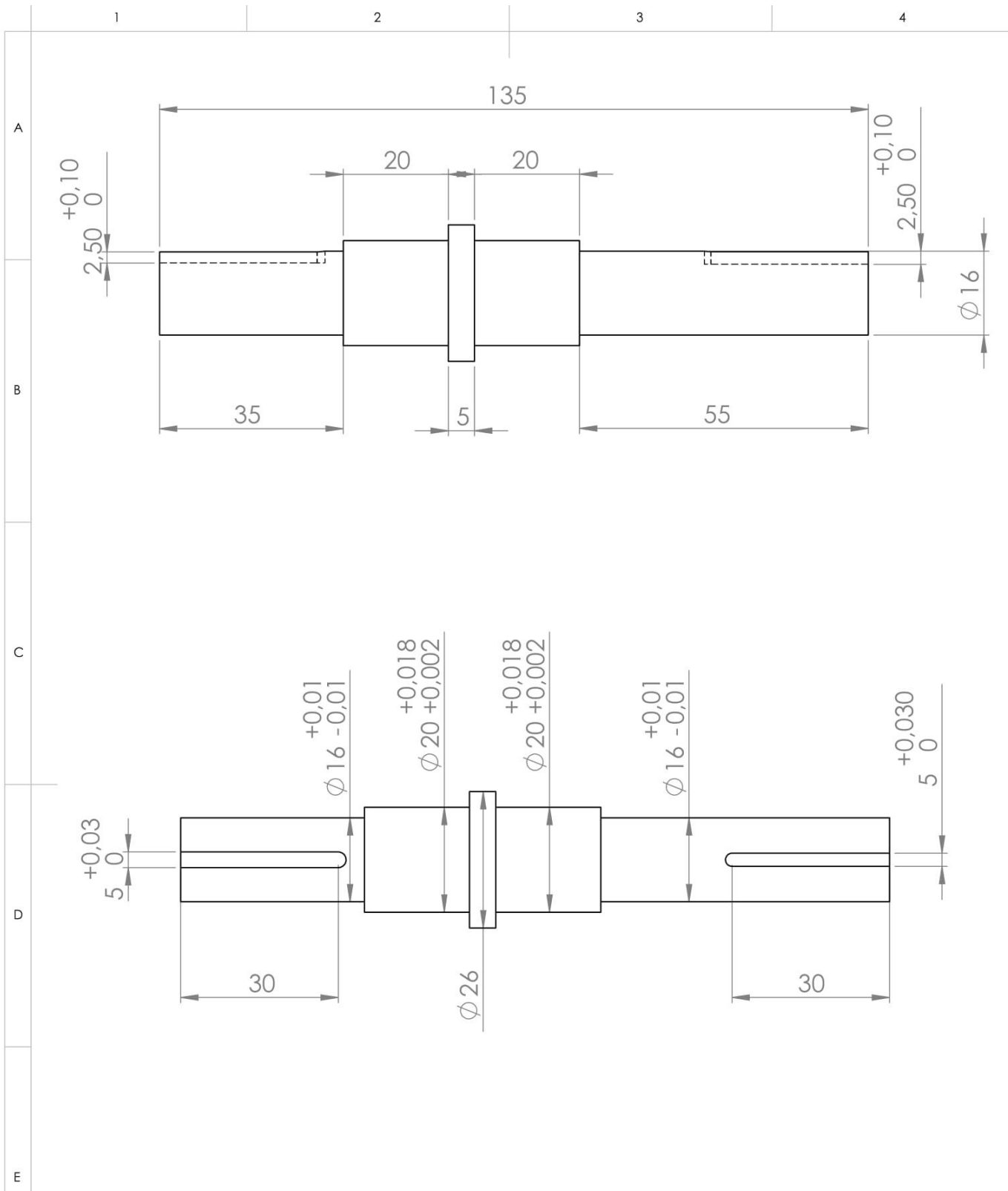
Apêndice 02 – Jarro

Apêndice 03 – Montagem do jarro

Apêndice 04 – Rotor

Apêndice 05 – Tampa do jarro

Apêndice 06 – Moinho de alta energia – Montagem



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. DE SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:
USINADO
(temperado e revenido)

REBARBAR E
QUEBRAR
ARESTAS
AGUDAS



NOME
DES **Alessandro P. Spanholi**
VERIF.

DATA
24/11/2016

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROJETO:
MOINHO DE ALTA ENERGIA

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0

MATERIAL:
SAE 1045

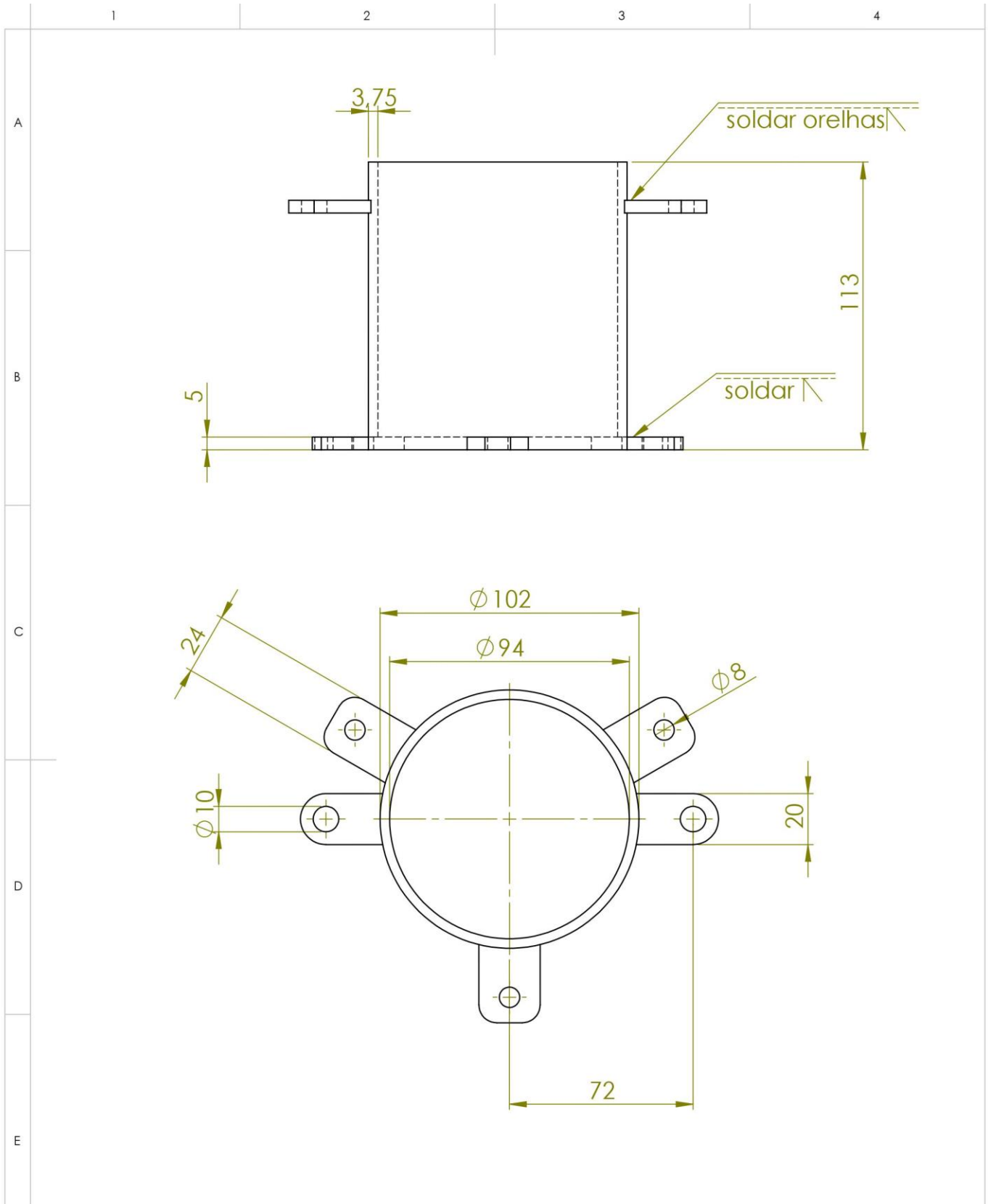
DES. Nº
Eixo

A4

PESO:

ESCALA: 1:1

FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. DE SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:
USINADO
(temperado e revenido)

REBARBAR E
QUEBRAR
ARESTAS
AGUDAS



NOME: _____ DATA: _____

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DES: Alessandro P. Spanholi DATA: 24/11/2016

PROJETO:

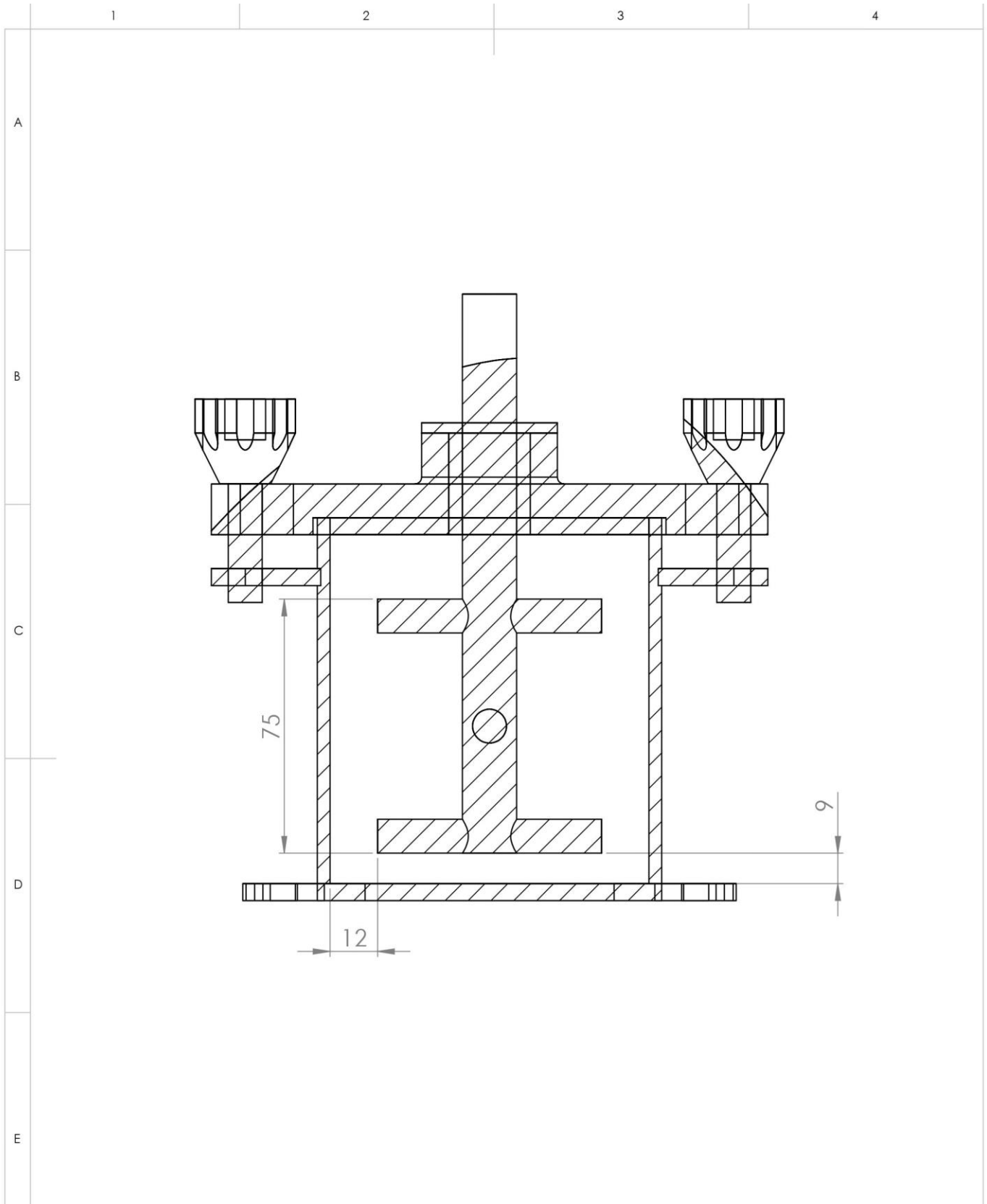
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

MOINHO DE ALTA ENERGIA

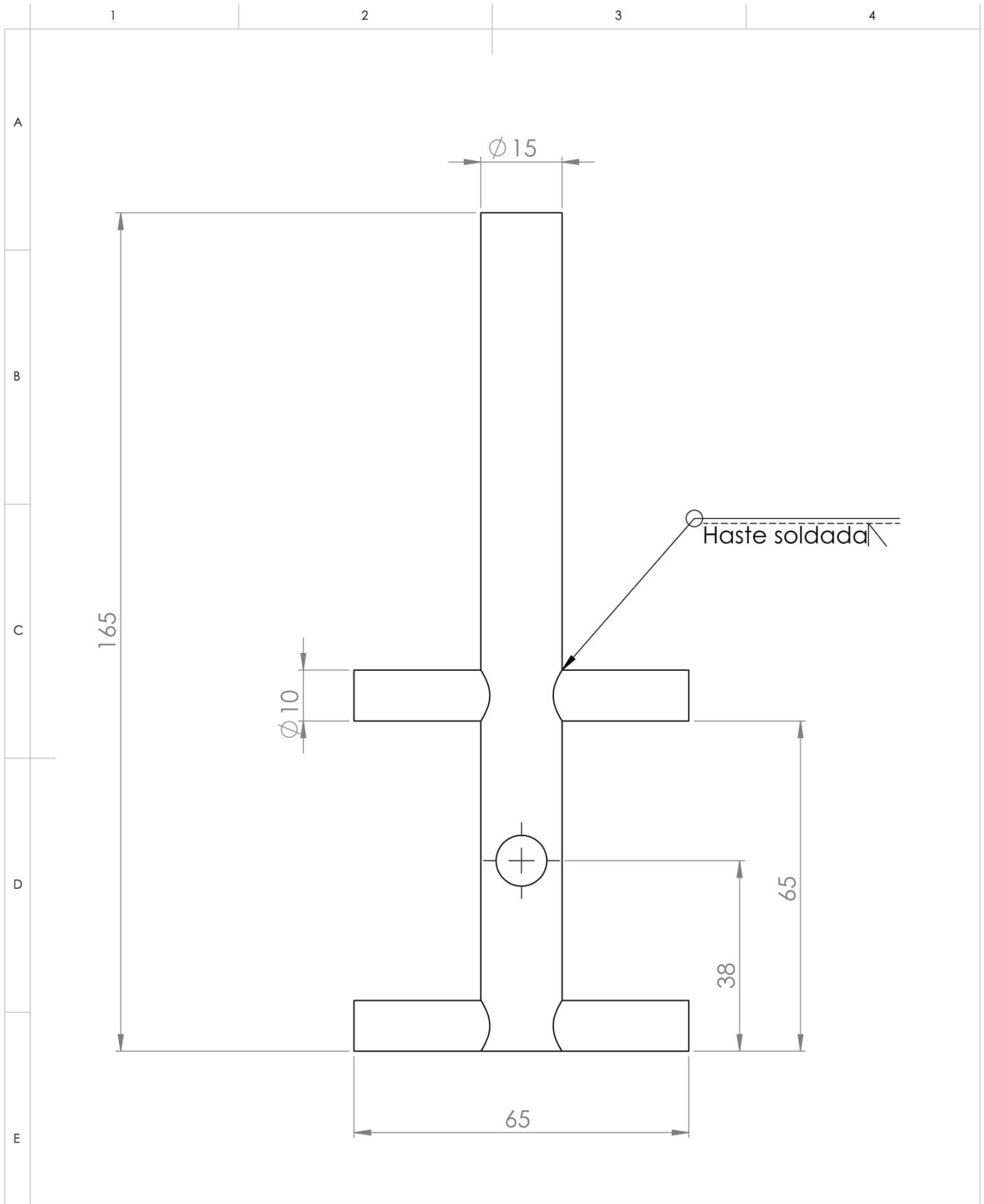
de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0

MATERIAL:
SAE 1020

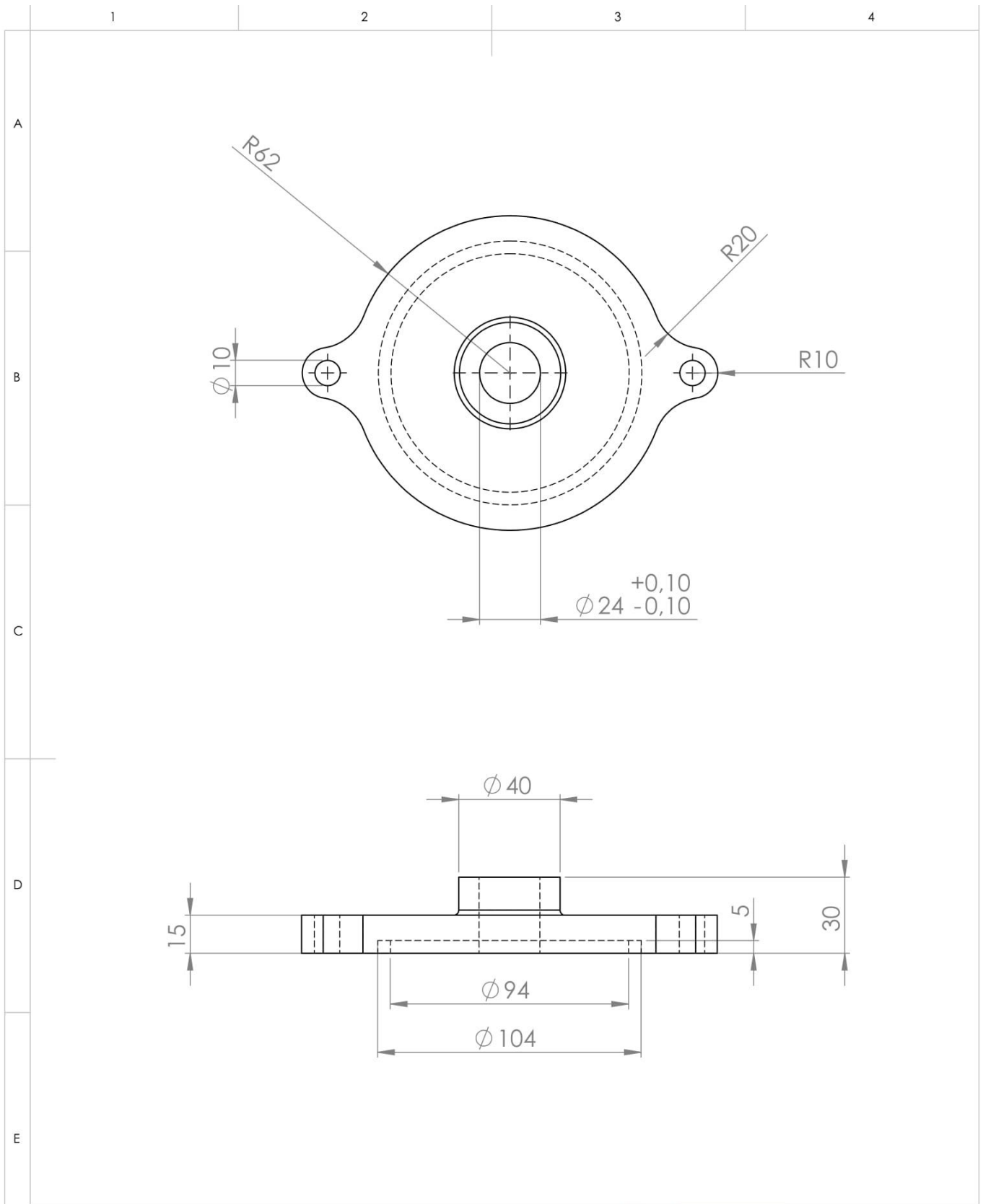
DES. Nº **JARRO** A4



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. DE SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS							
NOME	DATA	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO								
DES. Alessandro P. Spanholi	24/11/2016	PROJETO:		MOINHO DE ALTA ENERGIA						
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS		DES. Nº			Montagem do jarro					
de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm		de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm	MATERIAL:	A4
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	PESO:	ESCALA: 1:2	FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. DE SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO: USINADO (temperado e revenido)	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	UTPR	
NOME		DATA	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
DES	Alessandro P. Spanholi	24/11/2016	PROJETO:		
VERIF.			MOINHO DE ALTA ENERGIA		
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS			DES. Nº		
de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm
de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm	MATERIAL: SAE 4340		ROTOR	
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3
± 0.5	± 1.0	PESO:		ESCALA:1:1	FOLHA 1 DE 1
					A4



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. DE SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:
USINADO (CNC)

REBARBAR E
QUEBRAR
ARESTAS
AGUDAS



NOME	DATA
Alessandro P. Spanholi	24/11/2016

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

PROJETO:
MOINHO DE ALTA ENERGIA

de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0

MATERIAL:
NYLON

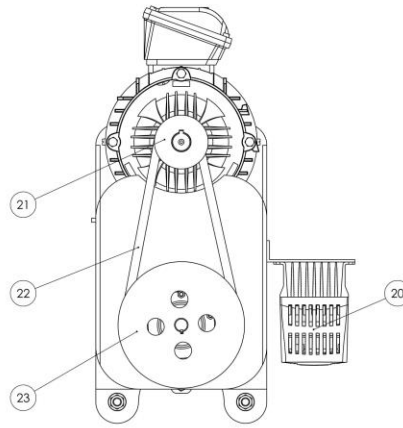
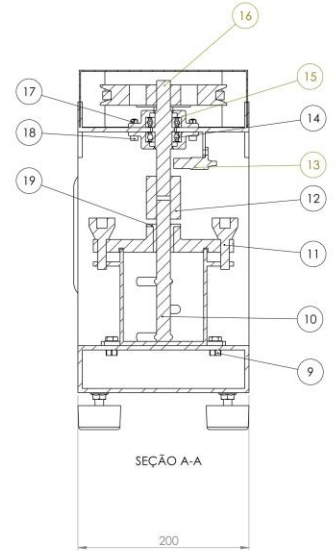
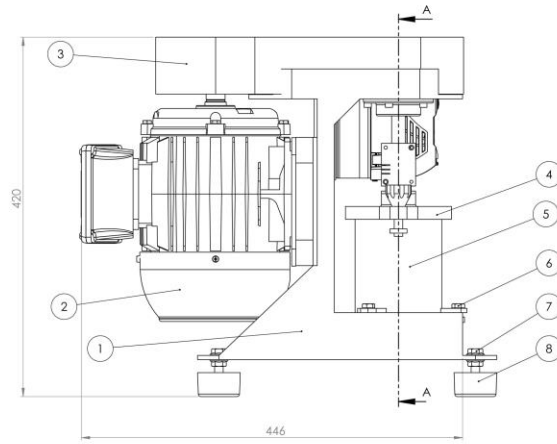
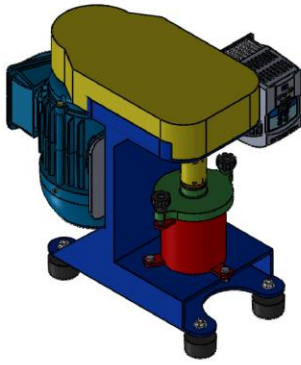
PESO:

DES. Nº
TAMPA DO MOINHO

ESCALA:1:1

FOLHA 1 DE 1

A4



N° do Item	Componente	Descrição	Quantidade
1	Suporte do Moínho	Chapa soldada	1
2	Motor		1
3	Tampa das Polias	Chapa soldada	1
4	Tampa do Jarro	Nylon usinado	1
5	Jarro	Aço SAE 1020	1
6	Parafuso	M8 X 1,25	3
7	Parca	M10 X 1,25	8
8	Pé de Borracha		4
9	Parca	M8 X 1,25	3
10	Rotor	Eixo com haste SAE 4340	1
11	Trava da tampa	travas rosqueáveis	2
12	Acoplamento	Para eixo de 15 mm	1
13	Sensor de rotação		1
14	Rolamento	6004	2
15	Mancal	para rolamento 6004	2
16	Eixo	Aço SAE	1
17	Parca	M5 X 0,5	5
18	Parafuso	Allen M5 X 0,5	5
19	Bucha	Bronze	1
20	Inversor de Frequência	WEG CFW 10	1
21	Polia do motor	Alumínio fund. 60 mm	1
22	Correia	Tipo V	1
23	Polia do eixo	Alumínio fund. 150 mm	1
24			
25			

SE ESPECIFICADO QUANTIDADE EM UNIDADES ACIMA DESEMPENHE:	ACABAMENTO:	REBARBATE QUANTO ÀS ARESTAS:	UTPR	
TRILHAZ-CIL. ANGULAR		ARESTAS	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
DIS	NOME	ASSINATURA	DATA	Página
COM				MOINHO DE ALTA ENERGIA
APROV				MOINHO
				A2
				ESCALA 1:1
				FOLHA 1 DE 1