

Máquina Matadora

Lucce de Souza Esquaella

lucce.esquaella@gmail.com.br

Resumo. Uma das preocupações mais evidentes nas discussões mundiais é a degradação do meio ambiente. Uma maneira eficiente de contribuir com a conservação do planeta é controlar o descarte do lixo e se possível evitar a formação de lixo não biodegradável. A utilização de matéria-prima renovável é uma das principais saídas da indústria capitalista, que pretende manter a produção, mas é obrigada a se adaptar às exigências impostas pelas leis ambientais. Dentre estas leis, destaca-se a Lei 15.374 que proíbe a distribuição gratuita ou a venda de sacos plásticos nos estabelecimentos comerciais de um dos maiores mercados consumidores do país, São Paulo.

O projeto de uma máquina produtora de sacos de papel tem como objetivo inserir-se no ramo de embalagens e auxiliar na crescente tendência de utilização do papel em substituição do plástico. Comprovada a falta de opções de máquinas no mercado nacional, conclui-se que é uma boa oportunidade de investimento.

Primeiramente definiu-se o layout da máquina, determinando suas dimensões gerais e posicionamento de componentes, para então realizar o dimensionamento de eixos e transmissões segundo as teorias de elementos de máquina. A transmissão é composta basicamente por polias, correias e engrenagens, fixadas aos eixos por meio de chavetas. Após o dimensionamento dos eixos para fadiga pelo critério de Goodman, definiu-se os tipos e dimensões dos rolamentos utilizados.

O resultado é uma máquina com capacidade máxima de produção de 343 sacos por minuto. Como forma de gratidão pelo auxílio oferecido, o projeto será totalmente disponibilizado à AC Máquinas para avaliação e conveniente utilização.

Palavras chave: Projeto de máquina, sacos de papel, dimensionamento mecânico.

1. Introdução

Os planos governamentais e as indústrias vem exibindo nos últimos anos uma nova preocupação: o Meio Ambiente. As empresas estão buscando associar sua imagem, e a de seus produtos, a uma produção ecologicamente correta, ignorando, a princípio, o mais evidente ideal capitalista de sempre diminuir os custos de produção, não se importando com os meios e as conseqüências.

Uma das ações mais evidenciadas ultimamente neste setor é a diminuição do uso do plástico. Este polímero é um subproduto proveniente do petróleo cuja procedência não é renovável por ser um combustível fóssil. No Brasil cerca de 1 bilhão de sacolas plásticas[1] são distribuídas mensalmente nos supermercados, totalizando 66 sacolas por brasileiro ao mês. Porém, esses números estão diminuindo bruscamente com as novas leis e políticas adotadas no território nacional. No município de São Paulo, em 18 de maio de 2011 foi aprovada a Lei 15.374, que proíbe a distribuição gratuita ou venda de sacolas plásticas nos estabelecimentos comerciais da cidade de São Paulo. Assim como a capital paulista, outros grandes municípios já implementaram leis semelhantes. É o caso, por exemplo, das cidades do Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

O papel é biodegradável e também reciclável, impactando muito menos. Enquanto sacos plásticos levam de 200 a 450 anos para se decompor, as embalagens de papel decompõem-se em no máximo 4 meses.[2]

Acompanhando as novas tendências mundiais de utilização de matérias-primas renováveis, este projeto visa desenvolver uma máquina capaz de produzir sacos de papel de diferentes tamanhos.

2. Definição do problema

No Brasil, a busca por sacos de papel com o propósito de substituir as sacolas plásticas vem aumentando, fato evidente até mesmo nas grandes redes de supermercados que já oferecem essa alternativa ao consumidor. Além deste notável crescimento, o mercado já existente é enorme, e conta com:

- Padarias: Cerca de duas mil padarias são encontradas online na cidade de São Paulo, sendo que ainda existem os menores estabelecimentos que não estão registrados na internet;
- Supermercados e atacadistas: O setor de padaria e confeitaria destes estabelecimentos, além do oferecimento para embalar o restante das compras;
- Embalagens para presente: Tratam-se de sacolas de papel mais elaboradas, feitas de um tipo especial de papel e com preocupação maior sobre a qualidade da impressão em sua superfície;
- Redes de fast-food: A embalagem utilizada nas entregas a domicílio e nos sistemas Drive-Thru geralmente são realizadas com sacos de papel.

Atualmente, produtores que fabricam sacolas plásticas, já procuram alternativas no mercado para suprir a queda nas vendas de sacolas plásticas. Em depoimento, o gerente de vendas da empresa Scarcelli Embalagens revelou que no ano de 2009 o sistema produtivo passou por uma reestruturação que substituiu as máquinas produtoras de sacolas de plástico por máquinas matadoras de sacos de papel. Ainda assim citou a dificuldade em encontrar máquinas matadoras nacionais para compra. Sabendo disto, o objetivo deste trabalho é projetar uma máquina matadora nacional, para tentar suprir as deficiências do mercado.

Apesar de todo o mercado consumidor apresentado, o enfoque deste trabalho é na criação de uma máquina matadora voltada ao setor das pãnicadoras, atendendo também às redes de supermercados e atacadistas.

3. Estudo de mercado

Para estabelecer com precisão quais as necessidades exigidas pelo problema, foi realizada uma pesquisa de mercado para descobrir características das máquinas que já estão sendo utilizadas [7][8] e também informações relativas à matéria prima e ao produto final, no caso os sacos de papel para pães.

3.1. Matéria Prima

A principal matéria prima utilizada na fabricação dos sacos para pães é o papel Kraft com a possibilidade de ser pardo ou branco. Os produtores também oferecem uma variação de 30 a 200g/m² na gramatura. Assim, é possível produzir sacos de diferente rigidez e resistência.

No setor papelero temos grandes nomes como a multinacional *Klabin S.A.* e *Celulose Irani S.A.* Ambas possuem papel Kraft de diversas gramaturas. A Irani ainda disponibiliza Kraft com gramatura de 30g/cm², abaixo do mínimo da Klabin que é 70g/cm².

3.2. Máquinas

Como mencionado anteriormente neste trabalho, o cenário nacional não está composto de grandes produtores de máquinas matadoras. O único produtor nacional encontrado chama-se *AC Indústria e Comércio de Máquinas LTDA.* Esta empresa apresenta modelos previamente projetados e oferece a possibilidade de adaptações dependendo do projeto. O mercado paralelo de máquinas usadas não foi considerado uma fonte confiável de valores. Para obtenção de valores mais exatos, foi realizada uma visita à empresa AC Máquinas. De acordo com a empresa, nas vendas de anos anteriores a empresa teve, em média, 6 máquinas vendidas por ano. O valor de venda destas máquinas varia de acordo com as especificações do cliente. O valor de uma máquina nova para impressão unicolor é R\$120.000,00, enquanto que para 3 cores pode chegar à R\$165.000,00.

3.3. Produto

Os tamanhos dos sacos de papel seguem um padrão estabelecido a anos pelo consumidor, com relação ao volume desejado. No mercado esses sacos de papel são classificados por resistência ao peso, variando de 0,5kg a 15kg. A mudança de um fabricante para outro é dada pela gramatura do papel, assim como pequenas alterações quanto à largura adotada dos saquinhos de papel. Este produto é vendido por milheiro com sacos de papel do mesmo tipo e tamanho.

4. Projeto técnico

4.1. Carcaça

A carcaça da máquina é formada basicamente por estruturas metálicas fundidas, como a peça chamada **lateral**. A união das laterais é realizada por tubos quadrados sem costura perfilados de 80x80, com espessura de parede de 2 mm, que dão origem à peça chamada **barra transversal**.

4.2. Estanga

A estanga é o elemento responsável por fixar a bobina de papel, liberando a sua rotação, mas não a sua translação. Trata-se de um eixo rosqueado, sendo metade com rosca mão direita, metade com rosca mão esquerda.

Neste eixo colocam-se duas peças cônicas que ao serem apertadas, fixam a bobina de papel. Estas peças são dotadas de rolamentos para permitir a rotação da bobina enquanto o eixo fica parado. Estes rolamentos são de contato angular.

4.3. Rolos guia

Os rolos guia são rolos maciços de aço inoxidável que possuem a função de simplesmente guiar o papel.

4.4. Tinteiro

O setor de impressão é um dos mais delicados da máquina. De acordo com a arte desejada, este sistema é capaz de imprimir uma figura unicolor, variando com o gosto do cliente. Comumente utiliza-se tinta a base de água que possui boa aderência ao papel, e rápida secagem.

Este sistema é composto por quatro rolos e um tanque de armazenamento, sendo eles apresentados individualmente nos itens 4.4.1 a 4.4.4.

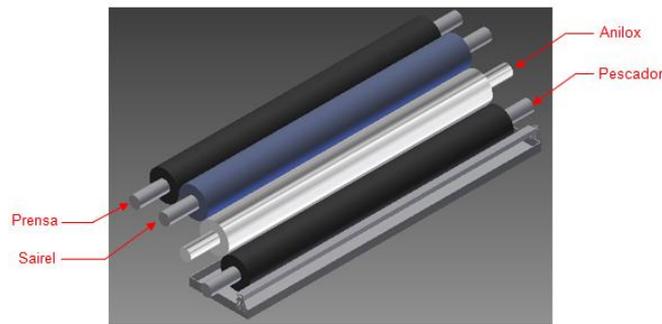


Figura 1 – Conjunto do Tinteiro

4.4.1. Rolo Pescador

O rolo pescador tem este nome porque é o responsável por coletar a tinta do reservatório e transferi-la ao cilindro Anilox. Este cilindro é revestido por borracha, de tal forma que a tinta possa temporariamente aderir à superfície.

O rolo pescador não regula a quantidade de tinta que é aderida, ou seja, existe a necessidade de um raspador para retirar o excesso e um dosador intermediário antes de imprimir no papel. Esta dosagem é realizada pelo cilindro Anilox.

4.4.2. Rolo Anilox

O Rolo Anilox é o elemento mais importante da impressora, tanto que comumente é associado como o “coração da flexografia”. Ele é o responsável pela dosagem uniforme de tinta que se transfere ao rolo Sairel para impressão.

A superfície do cilindro contém orifícios que se preenchem apenas com a quantidade necessária de tinta, possibilitando ao rolo Sairel imprimir a imagem para o papel sem excesso, evitando imagens borradas ou distorcidas.

Esse cilindro é fabricado à base de ferro fundido, com uma camada de cobre, na qual se realiza a gravação, e revestido com uma camada de cromo para aumentar a resistência superficial.

4.4.3. Rolo Sairel

O Rolo Sairel é o responsável por efetivamente gravar a arte desejada no papel. Para auxiliar no processo de impressão, este rolo é pressionado contra o rolo prensa (4.4.4), evitando o escorregamento.

Este cilindro é revestido com borracha e possui em relevo a imagem que se deseja imprimir.

4.4.4. Rolo Prensa

O Rolo Prensa é um rolo fabricado com os mesmos materiais do rolo Sairel, porém não apresenta nenhum relevo.

4.5. Rolo Tambor

Após o processo de impressão, a face impressa do papel não pode ser tocada por alguns segundos, até a tinta secar. Para isto, utiliza-se um rolo tambor que permite o rolamento da folha por um tempo maior, entrando em contato apenas com a face não impressa do papel. Este rolo, ao contrário dos demais, não é maciço e possui uma característica construtiva que procura aliviar o peso e conseqüentemente a inércia rotativa do equipamento.

4.6. Sistema primário de cola

A primeira dobra a ser realizada pela máquina tem a função de unir as duas laterais da folha de papel, formando uma folha dupla, como é representado pela Fig. 8.

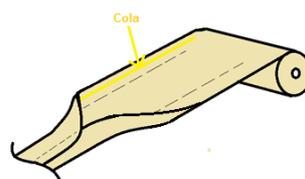


Figura 2 - Ilustração simplificada da primeira dobra

O mecanismo que promove a aplicação da cola é simplesmente uma polia, dotada de cerdas, que durante o movimento de rotação entram em contato com a folha de papel.

4.7. Roletes de direcionamento

Este rolete tem a função de auxiliar o papel durante a primeira dobra (Fig. 8), guiando o mesmo do ultimo rolo guia para as placas de formato, onde serão realizadas as demais dobras.

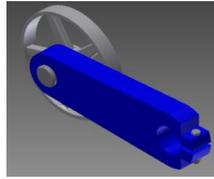


Figura 3 - Rolete de direcionamento

4.8. Placas de formato

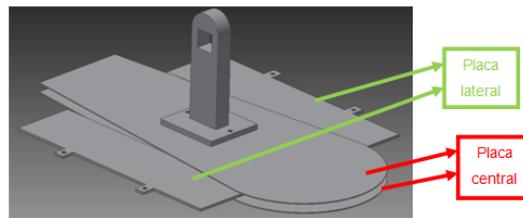


Figura 4 - Placas de formato central e lateral

4.8.1 Placa de formato central (régua)

Duas placas no centro, também chamadas de régua, determinam a largura do saquinho a ser produzido.

4.8.2 Placa de formato lateral

Esta placa determina a profundidade da dobra interna do saquinho. Esta dobra influencia muito sobre a capacidade volumétrica do produto. Na Figura 5, pode-se observar como o papel envolve as placas de formato.



Figura 5 - Demonstração em corte da dobra nas placas de formato

4.9. Rolos puxadores

Ao final das placas de formato, posicionam-se dois rolos paralelos que são responsáveis por puxar o papel, sendo assim os principais responsáveis pelo movimento. O rolo puxador superior é revestido com borracha macia e um possui um recorte em seu revestimento, necessário para passagem da faca inferior, que executará o corte de uma das folhas do fundo do saquinho. Após o sistema de corte, tem-se outro par de rolos puxadores, ambos revestidos de borracha.

4.10. Sistema de corte

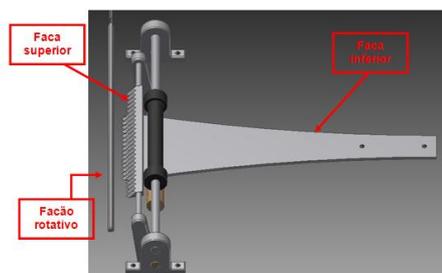


Figura 6 - Identificação das facas

4.10.1.Faca inferior

A faca inferior realiza o corte da folha que está abaixo da placa de formato. Essa será posteriormente dobrada com cola sobre a folha que está acima da placa, para realizar a cola do fundo do saquinho.

Durante o movimento, esta faca fica por dentro do papel. Por isso, deve ser totalmente lisa, sem nenhuma saliência e obriga sua fixação junto às placas de formato.

4.10.2.Faca superior

A faca superior realiza o corte da folha que está acima da placa de formato. Trata-se de uma peça menor, contendo basicamente a lâmina de corte, e extremidades laterais cilíndricas para encaixar nos apoios. Ela é posicionada com uma defasagem de aproximadamente 10mm da faca inferior, justamente para possibilitar a dobra do fundo.

4.10.3.Facão rotativo

O facão rotativo, ao contrário do que se pode imaginar, não é afiado. Ele apenas traciona o papel contra as lâminas das facas. Este facão movimenta-se sincronizadamente com o restante da máquina após o corte. A sua rotação comparada à velocidade da máquina antes do corte, determina o comprimento, isto é, a altura do saquinho de papel.

Por ser um elemento que pode apresentar riscos, ele é coberto por uma proteção que isola o curso da peça.

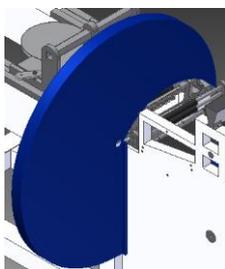


Figura 7 - Proteção do facão

4.11.Esteira

A esteira transporta o saco para que chegue ao sistema de dobra e cola do fundo no momento certo. Para garantir a fixação, existe uma esteira inferior e uma superior, praticamente acoplando o saquinho ao movimento.

4.12.Sistema de dobra e cola do fundo

4.12.1.Tambor

O tambor é uma peça fundida, que possui a superfície cilíndrica externa com duas frestas. Estes dois rebaixos são estrategicamente posicionados para realizar a dobra do fundo.

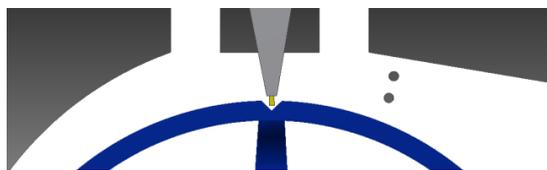


Figura 8 - Detalhe da fresta do tambor e cerdas da roda de cola

4.12.2.Roda de cola do fundo

A roda de cola do fundo possui cerdas que captam a cola do reservatório e a desprende no papel, ao mesmo tempo em que o dobra. O saquinho segue a rotação do tambor e, ao ser empilhado na mesa de saquinhos, o contato é naturalmente provocado, realizando a cola do fundo.

4.13.Acionamento

O acionamento é realizado por um único motor elétrico trifásico que possui como principais especificações:

- Modelo WEG W22-Plus, 4 pólos, 3 kW e rotação de saída 1715rpm.

A rotação do motor e, conseqüentemente, a velocidade da máquina, será regulada por um inversor de frequência da marca Delta®, modelo VFD-B. Este inversor pode ser regulado para apresentar a velocidade linear da máquina, isto é, qual o fluxo de papel que a percorre. Usualmente utiliza-se a medida de metros/minuto.

4.14.Transmissão

A transmissão de rotação e torque do motor para os rolos da máquina é feita por um conjunto de polias, correias e engrenagens. Seria repetitivo apresentar o cálculo específico de cada par de transmissão, então serão demonstrados os conceitos utilizados e os resultados finais.

4.14.1Polias e Correias

4.14.1.1Polia do motor

Para dimensionar as polias e a correia foi utilizado o catálogo da Contitech[3] do grupo Continental. Entre os modelos oferecidos, foi escolhido o modelo trapezoidal CONTI Ultraflex, adotando um fator de serviço igual a 1,3, indicado para máquinas gráficas. Escolhendo o perfil como sendo o SPA, tem-se que o diâmetro mínimo é 112mm.

Para as polias, determinou-se uma relação de transmissão de $i = 4$. Portanto, tem-se que:

$$Diâmetro_{polia\ movida} = Diâmetro_{polia\ motora} * i = 448\text{ mm} \quad (1)$$

Tendo a distância entre eixos, e os diâmetros, calcula-se o tamanho da correia pela fórmula:

$$L = 2 * A + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 * A} \quad (2)$$

O catálogo recomenda que a distância entre centros A seja:

$$0,7 * (D_{polia\ movida} + D_{polia\ motora}) < A < 2 * (D_{polia\ movida} + D_{polia\ motora}) \quad (3)$$

Então $392 < A < 1120$. Adotando $A = 430\text{mm}$, tem-se que $L_{w_{calc}} = 1805,3\text{mm}$. Porém, não se fabricam correias com exatamente esta especificação. Deve-se adaptar aos comprimentos tabelados. O mais próximo deste é 1800mm . Recalculando a distância entre centros para que seja atendido o critério do comprimento e da transmissão, encontra-se $A_{corr} = 525,124\text{ mm}$.

A verificação do número de polias necessárias para a transmissão do torque pode ser realizada pela fórmula:

$$Z_{er} = \frac{P * C_2}{P_r * C_1 * C_3} \quad (4)$$

Substituindo os valores das tabelas do catálogo, tem-se $Z_{er} = 1,585$. Conclui-se que são necessárias 2 correias.

O catálogo recomenda a verificação da condição de velocidade periférica máxima para a seleção da correia. As correias da classe Ultraflex, tem velocidade máxima admitida de 40m/s . Para as condições deste projeto de $w_{polia\ motora}$ igual 1715 rpm e $r_{polia\ motora}$ igual a 56 mm , a velocidade periférica será de $10,06\text{ m/s} < 40\text{ m/s}$.

4.14.1.2.Polia sincronizadora

Na literatura acadêmica, é muito difícil encontrar informações sobre o dimensionamento de polias e correias sincronizadores, mesmo em livros consagrados como "Elementos de máquinas" do Joseph Shigley.

Assim, uma das alternativas foi fornecer dados ao programa da Gates, fabricante de correias, para que o software calculasse a alternativa mais viável. As entradas foram basicamente as mesmas utilizadas no modelo da correia V.

Como resultado, obteve uma polia sincronizadora do modelo "Power Grip Timing" perfil H.

4.14.2.Engrenagens

O dimensionamento das engrenagens é feito por dois critérios: Desgaste e Resistência à flexão no pé do dente.

As engrenagens constituem um dos pontos estratégicos mais importantes da máquina e para determiná-las, partiu-se de uma exigência de produção do projeto. Desejava-se mais de 300 sacos por minuto, com sacos que podem variar de tamanho, chegando a 300mm de comprimento. Para isso, o tambor que faz a cola do fundo do saco deveria rodar no mínimo 150 vezes por minuto. No intuito de trabalhar com relações de transmissão de valores inteiros, aproximou-se a produção para cima, chegando a 343 sacos por minuto. Tendo esta rotação determinada, as rotações dos outros eixos são dependentes pois devem manter a velocidade linear da máquina.

Para efeitos de estudo das transmissões, a máquina pode ser dividida em duas partes, antes e depois do corte do facão. Essa divisão é conveniente principalmente pela diferença de velocidade linear entre as partes da máquina.

O facão, e todos os componentes da máquina após o corte são coordenados para funcionar sempre alinhados. Da mesma forma, o movimento dos componentes da máquina antes do facão rotativo são alinhados entre si, mas com uma velocidade diferente da parte final da máquina.

Justamente esse delta de velocidades é o que determina o tamanho do saquinho de papel produzido, sendo quanto mais lenta a velocidade antes do corte com relação a rotação do facão, menos papel passa e conseqüentemente menor o saquinho. Assim, dentre os diversos pares de engrenagem, destaca-se um com uma finalidade especial, entre o Eixo 5 e o Eixo 8, responsável por determinar a diferença de velocidades entre as partes da máquina. Este par pode ser alterado por diferentes relações de transmissão, de acordo com a necessidade de altura do saquinho.

Tabela 1 - Altura dos saquinhos de tamanho comercial produzidos

Tipo de saco (kg)	Altura desejada do saquinho (mm)	Altura do saquinho produzido (mm)	Nº de dentes da eng. 1	Nº de dentes da eng. 2	Módulo
0,5	220	222,1	58,00	41,00	3,00
1	280	278,6	53,00	47,00	3,00
2	340	340,3	48,00	52,00	3,00
3	380	378,8	82,00	68,00	2,00
5	440	439,8	70,00	50,00	2,50
7,5	500	498,3	92,00	58,00	2,00
10	560	558,5	96,00	54,00	2,00
15	640	637,8	67,00	33,00	3,00

Critério do desgaste[4][5]

Para engrenagens cilíndricas de dentes retos :

$$bd^2 = 5,72 * 10^5 * \frac{M_T}{p_{adm}^2} * \frac{i+1}{i+0,14} * \varphi \quad (5)$$

Para engrenagens cônicas de dentes retos:

$$bd_m^2 = 0,2 * f^2 * \frac{M_T * \cos(\delta_1)}{p_{adm}^2} * \frac{i^2+1}{i^2} \quad (6)$$

Particularmente φ foi assumido como 1,25 para máquinas com cargas uniformes trabalhando 12 h/dia, com durabilidade estipulada em 10000 horas de serviço (~ 4 anos).

Para engrenagens cujo pinhão e coroa são fabricados de aço deve-se considerar $f = 1512$ para $E = 210$ GPa. A pressão admissível p_{adm} pode ser obtida pela Dureza Brinell do material, igual a 4500 N/mm² para Aço SAE 4340.

$$p_{adm} = \frac{0,487 * HB}{W^{\frac{1}{6}}} \quad (7)$$

$$W = \frac{60 * n_{pinhão} * h}{10^6} \quad (8)$$

A partir destas fórmulas é possível calcular todas as outras incógnitas como, por exemplo, a espessura mínima.

Critério de flexão no pé do dente

Para engrenagens cilíndricas de dentes retos :

$$\sigma_{max} = \frac{F_t * q * \varphi}{b * m} \leq \sigma_{adm} \quad (9)$$

Para engrenagens cônicas de dentes retos :

$$\sigma_{max} = \frac{F_t * q}{b * m_n * e} \leq \sigma_{adm} \quad (10)$$

Para o material SAE 4340 utilizado, temos um $\sigma_{adm} = 170$ MPa. Particularmente para a máquina matadora, o fator de serviço "e" foi considerado igual a 1,25 , por ser considerado um serviço nem leve e nem pesado.

Sabe-se que para engrenagens em balanço a relação $b/d \leq 0,75$ e que para engrenagens biapoiasadas $b/d \leq 1,2$.

Os resultados foram organizados na Tabela 2 para facilitar a construção.

Tabela 2 - Lista de Engrenagens

	Relação de transmissão	Distância entre centros(mm)	Módulo	Nº de Dentes da engrenagem	Diâmetro da Engrenagem (mm)	Largura (mm)
Eixo 1 - Polia movida	2,50	175,00	2,00	50,00	100,00	10,00
Eixo Tambor				125,00	250,00	
Eixo Tambor e Eixo 2	1,00	148,33	3,00	50,00	150,00	15,00
Eixo 2 e Eixo 3				50,00	150,00	
Eixo 3	1,00	148,33	3,00	50,00	150,00	15,00
Eixo da roda de cola				50,00	150,00	
Eixo Tambor	2,50	175,00	2,00	50,00	100,00	10,00
Eixo 4				125,00	250,00	
Eixo 4 e Eixo 4/5	1,00	87,50	3,00	29,00	87,00	15,00
Eixo4/5 e Eixo 5				29,00	87,00	
Eixo 5	2,50	140,00	2,00	40,00	80,00	15,00
Eixo 6				100,00	200,00	
Eixo 6	1,00	90°	2,25	25,00	56,25	16,00
Eixo do facão				25,00	56,25	
Eixo 5	2,00	104,39	2,00	35,00	70,00	15,00
Rolete acion. esteira				70,00	140,00	
Rolete guia da esteira	1,00	23,03	1,00	23,00	23,00	25,00
Rolete guia da esteira				23,00	23,00	
Eixo 5	2,00	150,00	2,00	50,00	100,00	10,00
Eixo 7				100,00	200,00	
Eixo 7	2,00	110,73	2,00	37,00	74,00	10,00
Rolete de borr. final				74,00	148,00	
Eixo 5	2,50	150,00	3,00	28,00	84,00	12,00
Eixo 8				70,00	210,00	
Eixo 8	2,50	90°	2,50	20,00	50,00	13,00
Eixo Longitudinal 1				50,00	125,00	
Eixo Longitudinal 1	3,33	90°	3,00	15,00	45,00	27,00
Rolete puxador de				50,00	150,00	
Eixo longitudinal 2	1,00	90°	2,50	30,00	75,00	16,00
Eixo 9				30,00	75,00	
Rolos do tinteiro	1,00	100,00	3,00	33,00	99,00	25,00
Rolos do tinteiro				33,00	99,00	

4.15.Eixos

Durante a transmissão de torque, as engrenagens e polias descarregam esforços de torção, cisalhamento e flexão sobre os eixos que estão ligadas. A componente de cisalhamento geralmente tem módulo desprezível perante a magnitude da flexão e da torção, sendo portanto desconsiderada para efeitos de cálculo.

O modelo adotado para cálculo é de uma viga biapoiada na qual os mancais(rolamentos) são os apoios e exercem as devidas reações dependendo do esforço.

Foram calculados os momentos, traçados os diagramas para descobrir a região mais solicitada ao longo do eixo. Ao observar a seção transversal desta região, encontra-se um ponto mais solicitada que sofrerá com um momento torçor constante e também com uma carga variável de flexão provocando tensões que levam a exposição à fadiga.

Para este trabalho utilizou-se a curva de Goodman modificada, que se baseia na fórmula:

$$\frac{\sigma_{alt}}{S_{fp}} + \frac{\sigma_{med}}{S_{ut}} = \frac{1}{FS} \quad (10)$$

Onde:

$$\sigma_{alt} = \frac{32 * M}{\pi * d^3} \quad ; \quad \sigma_{med} = \sqrt{3} * \frac{16 * T}{\pi * d^3} \quad (11 \text{ e } 12)$$

O S_{fp} varia de acordo com a peça dependendo da sua geometria e condições de uso. A partir de um valor de tensão S_e referente ao material, multiplicam-se fatores concentradores de tensão como mostra a fórmula abaixo:

$$S_{fp} = \frac{k_a k_b k_c k_{temp} S_e'}{k_{chaveta}} \quad (13)$$

Tabela 3 - Lista de eixos

	Material	Comprimento(mm)	Diâmetro(mm)
Eixo 1 - Polia Movid	Aço 1040	287,5	25
Eixo Tambor	Aço 1040	640	60 - 40
Eixo 2 e 3	Aço 1040	90	15
Eixo da roda de cola fundo	Aço 1040	600	30 - 10
Eixo 4 e 4 - 5	Aço 1040	115	30
Eixo 5	Aço 1045	700	25
Eixo 6	Aço 1040	105	15
Eixo do facão	Aço 1040	270	15
Roleta acion. Da esteira	Aço 1040	600	20
Roleta guia da esteira	Aço 1040	600	10
Eixo 7	Aço 1040	80	20
Roleta de borracha final	Aço 1040	600	15
Eixo 8	Aço 1045	125	20 - 35
Eixo longitudinal 1	Aço 1045	900	40
Eixo longitudinal 2	Aço 1045	1180	30
Roleta de madeira	Aço 1045	630	25
Eixo 9	Aço 1040	110	20
Rolos do tinteiro	Aço Inox 304	1100	40

Todos os eixos possuem seção circular constante, exceto pelo Eixo do tambor, o Eixo da rola de cola fundo e o Eixo 8. Os dois primeiros possuem seção transversal tubular, ou seja, um círculo com o centro vazado. Os cálculos indicavam uma necessidade baixa de diâmetro, mas, por facilidades construtivas deveriam ter diâmetros externos maiores. Assim, aliviou-se o peso e a inércia por deixar o eixo vazado. Já o eixo 8 necessitava de um rebaixo para poder encaixar a engrenagem cônica na ponta do eixo. Como este não era o ponto mais crítico, tornou-se viável, mesmo com o concentrador de tensão gerado.

4.16. Rolamentos[6]

As cargas impostas sobre os mancais são iguais às reações resultantes propostas nos diagramas de corpo livre.. Para o dimensionamento, considerou-se uma vida útil de aproximadamente 4,5 anos, considerando 260 dias/ano e 12 horas/dia, chegando a quase 14000 horas. Os rolamentos são catalogados pela grandeza C.

$$L = L_n * \frac{n_{eixo} * 60}{10^6} \quad (14)$$

$$C = L^{\frac{1}{3}} * \frac{P}{1000} \quad (15)$$

$$P = X * F_{radial} + Y * F_{axial} \quad (16)$$

Assim, os modelos escolhidos do fabricante SKF foram:

	Diâmetro(mm)	Rolamento	Rolamento
Eixo Polia Movid	25	6305 ETN9	6305 ETN9
Eixo Tambor	60 - 40	6012*	6012*
Eixo 2 e 3	15	61802	61802
Roda cola f. e rolo guia	30	61806	61806
Eixo 4	30	6206 ETN9	N206 ECP
Eixo 4 - 5	30	6206 ETN9	N206 ECP
Eixo 5	25	6205	6205
Acion. da est. e Eixo 7	20	61804	61804
Roletes da esteira	10	61800	61800
Roleta de borracha	15	61802	61802
Eixo do facão e Eixo 6	15	61802	61802
Eixo 8	35	6207	32207 J2 Q
Eixo longitudinal 1	40	6308	7308 BEP
Eixo longitudinal 2	30	6206	7206 BEP
Eixo 9	20	7204 BEP	6304
Rol. de direcionam.	10	61900	61900

5. Conclusão

O mercado de máquinas no Brasil está realmente escasso de opções e totalmente dependente das alternativas oferecidas por representantes de produtores internacionais. Sem a intenção de comercializar diretamente uma máquina matadora, este projeto será disponibilizado à empresa AC Máquinas pelo auxílio oferecido durante todo o projeto. Os cálculos dimensionais e algumas mudanças como a instalação de uma correia sincronizadora para acionar o tinteiro serão opções para a empresa atualizar os projetos atuais.

A empresa também comentou que não dispunha de um modelo de CAD completo da máquina. Os arquivos também serão oferecidos, mesmo que não contenha as mesmas dimensões da máquina MT-15, serve como base para adaptação.

Sem a fabricação do protótipo, fica difícil garantir a veracidade dos números relativos à produção, mas o resultado final é de uma máquina com produção máxima de 343 sacos por minuto, para diferente tamanhos e largura. Vale ressaltar que a largura do produto varia com a compra da bobina e o comprimento dos sacos de papel varia com o par de engrenagens entre o Eixo 5 e 8.

O dimensionamento das engrenagens provou que é possível fabricar os sacos nos tamanhos comerciais já empregados no mercado, apresentando uma pequena variação de altura.

Com a crescente utilização do papel em substituição ao plástico, a demanda por máquinas matadoras, assim como para outras máquinas produtoras de sacos de papel, tende a aumentar e a se consolidar como um bom investimento, abrindo portas para pesquisa e desenvolvimento de outros trabalhos como este.

6. Referências

- [1] REDAÇÃO REVISTA DA SEMANA. **Número de sacolas plásticas.** Disponível em < http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/atitude/conteudo_255967.shtml>. Acesso em: Ago/2010.
- [2] MAGALHÃES, Marcelo Alves. **Decomposição dos materiais.** Disponível em <<http://www.redeambiente.org.br/Opiniaio.asp?artigo=147>>. Acesso em: Ago/2010.
- [3] CONTI TECH DIVISION OF CONTINENTAL AG. **Conti. V-Belts Catalog.** Disponível em: <http://www.contitech.de/pages/produkte/antriebsriemen/antrieb-industrie/download/TD_Keilriemen_Gesamt_en.pdf>. Acesso em Mar. 2011
- [4] SHIGLEY, JOSEPH EDWARD. **Mechanical Engineering Desing** - 7th Ed. New York, NY : McGraw-Hill, 2004. 1030p.
- [5] MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de máquinas.** 9ªEd. São Paulo: Érica, 2008. 376 p.
- [6] SKF do Brasil. **Catálogo de engenharia interativo.** Disponível em: <<http://www.skf.com.br>>. Acesso em Mar. 2011
- [7] FMC Corporation. Robert J. Wech. **Bag Machine.** US3722376, 27 Mar. 1973.
- [8] United States Patent Office. Merrick Murphy. **Improvement in Paper Bag Machines.** US135145, 21 Jan. 1873.

Paper Bag Machine

Luce de Souza Esquaella

luce.esquaella@gmail.com.br

***Abstract.** One of the most evident concerns in global discussions is the environment destruction. An efficient way to contribute with planet conservation is controlling the disposal of waste and, if possible, to avoid the formation of non-biodegradable garbage. The use of renewable raw materials is one of the main outputs of capitalist industry, which aims to maintain production, but is forced to fit out demands imposed by environmental laws. Among these laws, the Law 15.374 prohibits the sale or free distribution of plastic bags in department stores on one of the largest consumer markets in Brazil, São Paulo.*

The project of a machine that produces paper bags aims to help paper enter in the packaging industry and assist in the growing trend of using paper instead of plastic. Concluding with the evidences that national machine market is poor of options, it is obvious that building a machine is at least a good investment.

First of all it's the machine layout was created, with some general components dimension and positioning. So then it's possible to calculate shafts and transmissions by machine elements theory. The transmission is made basically by belts and gears fixed with keyways. Shafts were calculated by fatigue stress with Goodman formulas. After that, the bearings were defined about size and kind.

The result is a machine that produces 343 paper bags per minute. As thank by the attention and friendly help, the project will be totally offered to AC Máquinas so they could evaluate and conveniently use it.

Key words: Machine project, paper bag, mechanical project.