

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA DESENSILADEIRA MODELO GARFOS PARA PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS

José Inácio Boschetti¹
Maria Regina Thomaz²
Danrlei Bresciani³

RESUMO

Grande parte dos pequenos agricultores rurais, realizam suas atividades diárias manualmente, onde estes trabalhos requerem esforço físico e demasiado tempo de trabalho, desta forma os equipamentos agrícolas vem para auxiliar os agricultores nas suas atividades, fazendo com que estas atividades se tornem menos cansativas e com o tempo reduzido. O principal objetivo deste trabalho, é o dimensionamento do sistema hidráulico de uma desensiladeira de garfos, com preço acessível, que atenda os pequenos produtores rurais. Desta forma, a metodologia deste trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, que buscou entrevistar agricultores de pequenas propriedades rurais, e a partir da bibliografia que fornece conhecimentos teóricos adequados para a realização do dimensionamento deste sistema. Como resultado do trabalho, são apresentadas as equações e detalhados os cálculos que foram utilizados para o dimensionamento, desta forma comprovando que o sistema da desensiladeira irá funcionar corretamente utilizando o sistema hidráulico do trator deste modo diminuindo o valor do equipamento.

Palavras-chave: Dimensionamento. Propriedades rurais. Sistema hidráulico.

1 INTRODUÇÃO

A desensiladeira é um equipamento essencial na atividade agrícola para a retirada da silagem dos silos, por um sistema hidráulico, assim reduzindo o trabalho manual do agricultor e o tempo de trabalho.

Ao se tratar do método de funcionamento da desensiladeira para retirada de silagem, a mesma possui três atuadores, dois deles fazem o acionamento dos garfos para efetuar o corte da silagem, onde esses garfos são acionados pelo sistema hidráulico de uma máquina agrícola (trator). Os outros atuadores têm como função o posicionamento do equipamento e o direcionamento dos garfos após o corte.

Para que este equipamento possa efetuar todas as suas funções com devida eficiência, seu sistema hidráulico necessita do dimensionamento correto de cada componente. Para que não haja alguns imprevistos como rompimento de mangueiras por excesso de pressão, ou até

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da Uceff Faculdades E-mail: jjoossee_b@hotmail.com

² Docente do Curso de Engenharia Mecânica da Uceff Faculdades. E-mail: mare_mrt@yahoo.com.br

³ UCEFF Faculdades, estudante de Engenharia Mecânica, danrlei_bresciani@hotmail.com

mesmo o vazamento dos atuadores e também para que os componentes funcionem sem aquecimento elevado, o que poderia ocasionar defeitos no sistema hidráulico da máquina agrícola. Para evitar estes e outros problemas na desensiladeira, a pesquisa tem como função responder a seguinte questão problema: **Como realizar o dimensionamento correto do sistema hidráulico para uma desensiladeira de garfos?**

A partir da questão problema, tem-se como objetivo geral dimensionar o sistema hidráulico de uma desensiladeira de garfos para pequenas propriedades rurais, e a partir deste, como objetivos específicos, demonstrar o processo de funcionamento da desensiladeira, e o dimensionar o sistema hidráulico do equipamento.

A realização deste trabalho tem como justificativa dimensionar um sistema hidráulico, de uma desensiladeira, que proporcione a remoção de silagem do silo, com a maior precisão possível, sem esforço demasiado dos produtores e que garanta uma maior durabilidade de seus componentes. Que este equipamento atenda às necessidades dos pequenos produtores rurais, tenha baixo custo e grande aceitação no mercado.

2 HISTÓRIA DOS PRIMEIROS EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS

No contexto histórico, conforme Pons (2008), os primeiros equipamentos foram os arados e esses eram produzidos de pesados galhos de árvores e eram utilizados pelo homem para lavrar as terras. Mais tarde, esses arados passaram a possuir pontas de bronze e ferro, ganhando assim um melhor desempenho e tornando-o mais eficiente, conforme a Figura 1.

Figura 1: Arado de antigamente



Fonte: Martins (2013).

Segundo Silveira (1987), a mecanização da agricultura se deve a muitos aspectos, mas um dos principais é o aumento da produtividade, o que significa que o avanço contribuiu para o avanço da mecanização.

2.1 MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Foi possível, mecanizar a agricultura com a tração animal, e esta forma é cada vez menos usada no Brasil e nos países mais ricos e industrializados segundo Lopes *et al* (2013), a maioria das máquinas agrícolas tem motor, onde algumas se locomovem, como o trator e outras são estáticas, como a motosserra, a bomba ou alguns pulverizadores. Ao se tratar de implementos, consideram-se os equipamentos que são tracionados ou acionados por uma máquina e executam algumas funções.

Ainda de acordo com os autores, a utilização de máquinas agrícolas hoje tem como principal objetivo o aumento de produção e qualidade nas atividades agrícolas, também conseguindo aumentar a produtividade. Com o passar dos tempos tem ocorrido grandes avanços no setor de máquinas agrícolas entre elas se destacam.

2.2 PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DA SILAGEM DE MILHO

A produção de alimentos para os rebanhos tornou-se necessário especialmente em períodos de seca, quando as pastagens se tornavam cada vez mais precárias. Por esse motivo a utilização da silagem está cada vez mais presente nas propriedades rurais que se dedicam à produção de leite. Existem inúmeras plantas forrageiras, que servem para a produção de silagem, mas o milho tem se destacado consideravelmente como uma referência em silagens (CRUZ *et al.*, 2001).

Após ser feita a forragem proveniente do milho, a mesma passa pelo processo chamado de ensilagem. Silva (2003) conceitua ensilagem como um processo de armazenar e conservar forragens verdes em construções especiais, denominadas de silos, e nestes silos ocorrem diversas fermentações destinadas a preservar o alimento, que será suplemento para animais em períodos de déficit alimentar.

2.3 MÉTODOS DE RETIRADA DA SILAGEM DOS SILOS

Conforme Boller (2014), a retirada da silagem pode ser realizada manualmente, ou com auxílio de garfos ou forcas, pás de corte e outros instrumentos cortantes. Na maioria dos casos, a silagem costuma ser transportada até os cochos dos animais, com o auxílio de carrinhos de mão ou de carrinhos de quatro rodas de fabricação caseira ou até mesmo com auxílio de plataforma interligada ao trator. Para a desensilagem mecanizada, existem diversos equipamentos no mercado. Uma das alternativas, para silos horizontais, consiste em uma espécie de rotor horizontal acionado pelo sistema hidráulico de um trator conforme verifica-se na Figura 2, combinado com um depósito acoplado aos braços do sistema de levante hidráulico de três pontos.

Figura 2: Modelo de desensiladeira



Fonte: Agroform (2017).

Na retirada da silagem deve-se remover somente uma camada homogênea em todo o painel do silo, evitando a retirada em “degraus” o que aumenta a área e o tempo de exposição da silagem ao oxigênio, podendo provocar deterioração no produto armazenado. De acordo com Velho *et al.* (2006) a fatia mínima a ser retirada diariamente do silo deve ser de 15 a 30 cm, e dependendo das condições de temperatura e umidade elevada poderá ser retirada uma camada até 45 cm no máximo, considerando uma densidade da silagem de 550 kg/m³ a 650 kg/m³ tendo uma compactação ideal.

2.4 DESENSILADEIRA

Machado, Ferreira e Alonço (2005), definem desensiladeira ou desensilador – como um misturador, conforme Figura 3, como um implemento agrícola que é composto por caçamba, e apresentam também uma estrutura móvel que é acionada por cilindro hidráulico no qual encontra-se fixada também em uma fresa ou rotor acionada por um motor hidráulico.

Figura 3: Modelo de uma desensiladeira hidráulica de fresa



Fonte: Zillmer Implementos Agrícolas (2012).

Ainda conforme Machado, a função da fresa é permitir o desensilamento de qualquer tipo de produto, feno ou silagem. A desensiladeira tem a função de fazer a descarga da silagem por meios hidráulicos, com o auxílio de um helicóide que retira a silagem da caçamba.

2.5 SISTEMAS HIDRÁULICOS

Segundo Linsingen (2003), o sistema hidráulico apresenta os elementos físicos associados ao equipamento que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia de entrada, é convertida e condicionada de modo a ter como saída energia mecânica útil, permite a transmissão e controle de forças e movimentos.

Para Serrano (2007), a evolução dos sistemas hidráulicos ocorreu no século passado particularmente na segunda guerra mundial. Os sistemas hidráulicos estão evoluindo em

diversas áreas como agricultura, transporte, aviação, náutica, máquinas para movimento de terra e máquinas de ensaios de fadiga. Atualmente, os controles dos sistemas hidráulicos estão evoluindo devido ao avanço da eletrônica, da informática e da instrumentação.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS HIDRÁULICOS

Fialho (2011) descreve a classificação do sistema hidráulico em função, da pressão nominal de acordo com a *National Fluid Power Association* (N.F.P.A)⁴. Conforme Quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos sistemas hidráulicos em função da pressão

Pressão		Classificação
Bar	Psi	
0 a 14	0 a 203,10	Sistema de Baixa Pressão
14 a 35	203,10 a 507,76	Sistema de Média Pressão
35 a 84	507,76 a 1218,68	Sistema de Média - Alta Pressão
84 a 210	1218,68 a 3046,62	Sistema de Alta Pressão
Acima de 210	Acima de 3046,62	Sistema de Extra - Alta Pressão

Fonte: Adaptado de Fialho (2003).

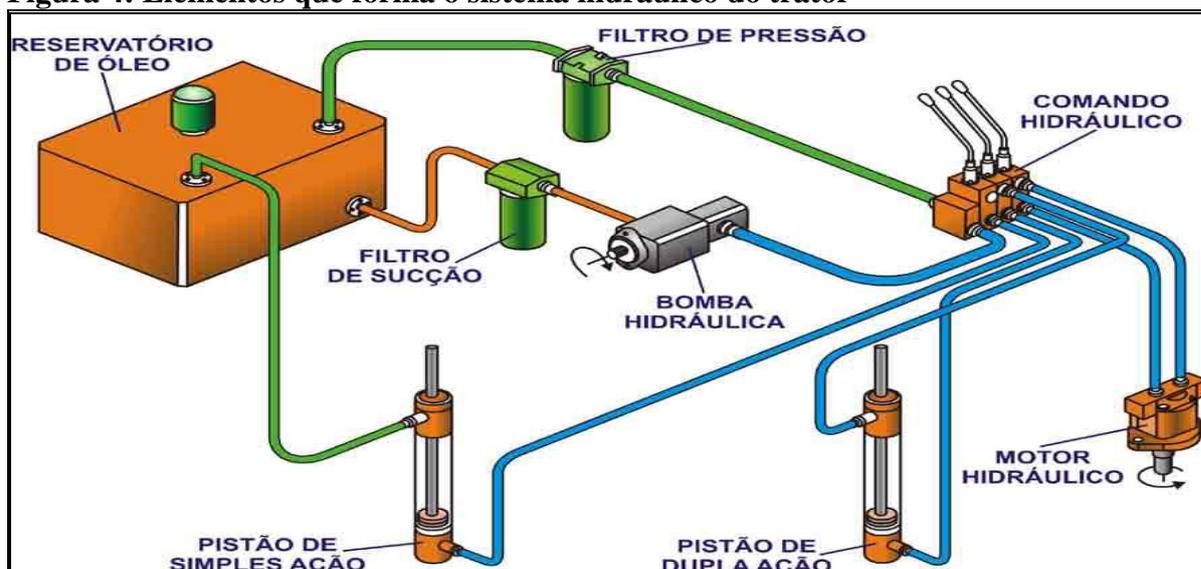
O Quadro 1, apresenta a classificação do sistema de pressão, a função deste quadro é auxiliar na classificação correta para cada sistema hidráulico.

2.7 ELEMENTOS QUE FORMAM O SISTEMA HIDRÁULICO DO TRATOR

Os equipamentos hoje existentes no mercado utilizam na maioria dos casos sistemas hidráulicos externos, que é quando se utiliza de uma bomba externa para que o equipamento funcione. Já no modelo de desensiladeira de garfos que está sendo dimensionado, o equipamento não necessitaria de uma bomba externa, e sim será utilizado o sistema hidráulico do trator, conforme Figura 4.

⁴ A NFPA é a nova denominação da extinta J.I.C (*joint industry conference*) EM 1967

Figura 4: Elementos que forma o sistema hidráulico do trator



Fonte: Senar (2010).

Os sistemas hidráulicos que fazem parte do trator são reservatório, filtro de sucção e de pressão, bomba de óleo hidráulica e comando hidráulico (alavancas).

2.7.1 Reservatório de óleo

Conforme Fialho (2011), o reservatório do trator parece ser o elemento mais trivial de um circuito hidráulico, mas na realidade, por não estar sujeito a nenhum critério prévio de unificação, pode causar futuramente ao projetista inexperiente, algumas dificuldades quanto posicionamento de elementos e acessórios devido a necessidade de óleo no sistema.

De acordo com Parker (2001) a função de um reservatório hidráulico é conter ou armazenar o fluido hidráulico de um sistema.

Fialho (2011), ressalta também que o volume mínimo do reservatório em litros ou galões deve ser no mínimo igual a três vezes a vazão da bomba para não ter problemas futuros.

2.7.2 Filtro de sucção e de pressão

Segundo Palmieri (1997) os filtros são responsáveis pela filtragem de todo fluido que retorna ao tanque, carregado de impurezas que foram absorvidas durante o ciclo de trabalho.

Para Fialho (2011), o fluido hidráulico é obrigado a passar pelo elemento filtrante condicionado a partir de um papel poroso especial de 10 micrômetros de abertura de poro, resultando assim uma excelente filtragem do óleo hidráulico assim diminuindo o risco de contaminação e dando uma maior durabilidade ao componente hidráulico.

2.7.3 Bomba de óleo hidráulica

A função principal da bomba hidráulica de engrenagem é converter a energia mecânica em energia hidráulica. Podem ser classificadas em dois tipos: hidrostática e hidrodinâmicas, mas o sistema do trator utiliza bombas hidrostáticas. Pois na bomba hidrostática, a saída do fluido independe da pressão com exceção de perdas e vazamentos. As bombas hidrostáticas produzem fluxo pulsante porém não tem variação de pressão no sistema (TECFRAN, 2004).

Este tipo de bomba de engrenagem é constituído de dois elementos, pinhão (engrenagem motriz) e coroa (engrenagem movida), montadas excentricamente em uma carcaça e girando no mesmo sentido. Então desta forma que as bombas de engrenagens externas, o fluido é transportado pelo contínuo desengrenar e engrenar dos dentes do par de engrenagens (LINSINGEN, 2001).

2.7.4 Comando hidráulico (alavancas)

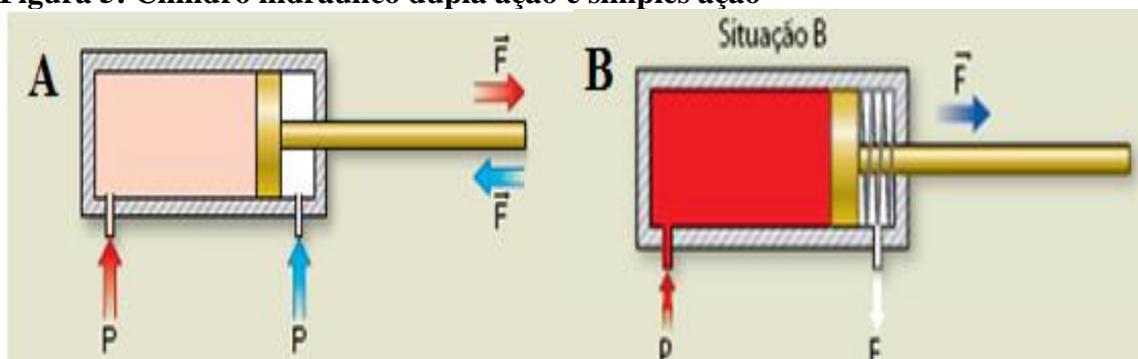
Segundo De Negri (2001), a função principal das válvulas é promover o direcionamento do fluido hidráulico com uma vazão proporcional a um sinal de acionamento ou comando. Os acionamentos das válvulas podem ser por meios mecânico (alavanca, pedal, etc.), pilotagem pneumática ou hidráulica ou até mesmo, por natureza elétrica em corrente ou em tensão.

2.8 CILINDROS HIDRÁULICOS

Palmieri (1994) classifica os cilindros hidráulicos em dois grupos conforme Figura 5, os cilindros hidráulicos de simples ação e de dupla ação. Os cilindros de simples ação na Figura 5A, ele atua com a força do fluido hidráulico somente em um sentido e o outro sentido por qualquer outro agente que não seja fluido hidráulico. Já os cilindros de dupla ação

conforme Figura 5B, são denominados assim devido ao movimento do pistão ser realizado pelo fluido hidráulico em qualquer um dos sentidos, avanço ou retorno.

Figura 5: Cilindro hidráulico dupla ação e simples ação



Fonte: Gomes (2018).

Para Palmieri (1994) os cilindros hidráulicos são conhecidos como atuadores lineares, devido ao movimento retilíneo efetuado em conjunto com a transmissão de força, sendo que a principal função do cilindro é de converter a força, potência e energia hidráulica em energia mecânica.

2.8.1 Dimensionamento de cilindros hidráulicos

De acordo com Fialho (2013) o dimensionamento de cilindros necessita da força de avanço F_a e a pressão de trabalho P_{tb} , é possível determinar o diâmetro necessário ao pistão, em que o rendimento η_{at} é dado como 90% devido às perdas por atrito do êmbolo. Assim, $\eta_{at} = 0,90$. Para o dimensionamento do cilindro se utiliza a equação (1).

$$D_p = 2 \sqrt{\frac{\eta_{at} * F_a}{\pi * P_{tb}}} m^3 \quad (1)$$

Onde:

D_p : diâmetro do pistão em (mm);

F_a : força de avanço em (N);

P_{tb} : pressão de trabalho do sistema em (N/m^2)

η_{at} : rendimento do atuador.

Ainda conforme Fialho (2013) o diâmetro calculado do cilindro não será o definitivo do pistão, será necessário consultar o catálogo dos fabricantes, pois o diâmetro do cilindro deverá ser igual ou maior do que o calculado, assim $D_p \text{ comercial} \geq D_p \text{ calculada}$.

De acordo com o Quadro 2, utilizou-se o catálogo da Rexroth, para identificar qual seria o diâmetro mínimo do cilindro comercialmente.

Quadro 2 – Cilindros comerciais (Catálogo REXROTH)

Dp (mm)	dh (mm)	Pressão de Trabalho - PTb (bar)						
		50	75	100	125	150	175	210
40	18	225	160	120	95	75	60	45
	25	535	415	340	290	250	220	190
50	22	275	195	150	120	95	80	60
	36	965	760	635	555	490	445	390
63	28	380	280	220	180	150	130	105
	45	1215	960	810	705	630	570	505

Fonte: Adaptado de Catálogo Geral (REXROT)

Após ser definido o diâmetro comercial, é recalculado a pressão de trabalho, conforme equação (2) Fialho (2013):

(2)

$$P_{tb} = \frac{4 * F_a * \eta_{at}}{\pi} * \left(\frac{1}{D_p^2} \right)$$

Onde:

P_{tb} : pressão de trabalho do sistema em bar;

D_p : diâmetro do pistão em (cm);

η_{at} : rendimento do atuador;

F_a : força de avanço N (Newton).

Conforme Fialho (2013) para calcular o λ (comprimento livre de flambagem) utiliza-se a Figura 6.

Figura 6: Cargas de Euler

Cargas de Euler				
Carga de Euler	Caso 1 Uma extremidade livre e a outra fixa	Caso 2 (Caso básico) Duas extremidades articuladas	Caso 3 Uma extremidade articulada e outra fixa	Caso 4 Duas extremidades fixas
Representação Esquemática				
	Comprimento Livre de Flambagem			
Situação de Montagem para Cilindros Hidráulicos	$\lambda = 2L$ 	$\lambda = L$ 	$\lambda = L \cdot (0,5)^{0,5}$ 	$\lambda = L/2$

Fonte: Fialho (2013).

O dimensionamento da haste deve ser calculado pelo critério de Euler, representado pela equação (3), expressa por Fialho (2013), em que se calcula o diâmetro mínimo necessário para suportar a carga:

$$D_h = \sqrt[4]{\frac{64 * S * \lambda^2 * F_a}{\pi^3 * E}} \quad (3)$$

Onde:

D_h : diâmetro mínimo da haste em (cm);

S : coeficiente de segurança de ordem (3,5);

λ : comprimento livre de flambagem em (cm);

E : módulo de elasticidade do aço, módulo Young ($2.1 * 10^7$ N/cm²);

F_a : força de avanço N (Newton).

Conforme Fialho (2013), após o cálculo do diâmetro da haste, verifica-se com o Quadro 2, o diâmetro fornecido pelo fabricante o qual deve ser, $D_h \text{ comercial} \geq D_h \text{ calculada}$.

Após calcular o diâmetro da haste Fialho (2013), orienta calcular a área da coroa com a Equação (4):

$$A_c = \frac{\pi}{4} * \left(D_p^2 - d_h^2 \right) \quad (4)$$

Onde:

A_c : área do cilindro em cm²;

D_p : diâmetro do pistão em (cm);

d_h : diâmetro mínimo da haste em cm).

Conforme Fialho (2013), para poder determinar a vazão necessária do fluido hidráulico deve-se conhecer a velocidade de avanço, representada na Equação 5 e a velocidade de retorno conforme a Equação 6.

$$V_a = \frac{Q_b}{A_p} \quad (5)$$

Onde:

V_a : velocidade de avanço em cm/min;

Q_b : vazão da bomba em cm³/min;

A_p : área do pistão em cm².

$$V_r = \frac{Q_b}{A_c} \quad (6)$$

Onde:

V_r : velocidade de retorno em cm/min;

Q_b : vazão da bomba em cm³/min;

A_c : área do cilindro em cm.

2.9 DIMENSIONAMENTO DAS MANGUEIRAS HIDRÁULICAS

As mangueiras hidráulicas têm o objetivo de transportar o fluido de maneira rápida, segura e econômica, e tem como função substituir tubulações rígidas. A mangueira tem uma vantagem em comparação a aplicação de tubulação por ser um produto flexível que possibilita a articulações resistentes à corrosão e oxidação (OLEO DINÂMICA 1998).

Fialho (2011) relata que para dimensionar o diâmetro mínimo da mangueira de linha de pressão (avanço) deve-se utilizar a Equação 7.

$$D_a : \sqrt{\frac{Q_b}{0.015 * \pi * v_a}} \quad (7)$$

Onde:

D_a : diâmetro interno mínimo para tubulação de pressão (avanço) em cm;

Q_b : vazão máxima do sistema em L/min;

V: velocidade máxima recomendada para tubulação de sucção cm/s.

No dimensionamento da mangueira sempre deverá ser calculado o diâmetro de avanço e de retorno, segundo Fialho (2011), indica que para o dimensionamento da tubulação de retorno utiliza-se a Equação 8.

$$D_r : \sqrt{\frac{Q_b}{0.015 * \pi * v_r}} \quad (8)$$

Onde:

D_r : diâmetro interno mínimo para tubulação de retorno em cm;

Q_b : vazão máxima do sistema em L/min;

V: velocidade máxima recomendada para tubulação de retorno em cm/s.

Fialho (2013) relata que pós o cálculo é recomendado utilizar o diâmetro comercial onde esse tem que ser no mínimo igual ou ligeiramente superior ao valor calculado conforme Tabela 1. Assim o Diâmetro comercial \geq diâmetro calculado.

Tabela 1: Diâmetro de tubos comercial

Diâmetro Externo		Espessura da Parede (cm)	Diâmetro inteiro (cm)	Pressão Máxima (bar)	Pressão por 100m (kg)
cm	In				
1,20		0,20	0,80	343,55	49,00
1,27	1/2	0,15	0,97	228,57	41,00
1,60	5/8	0,25	1,10	331,58	83,00
1,80		0,25	1,30	280,57	96,00

Fonte: Adaptado de Fialho (2013).

Para Fialho (2011) a tubulação de pressão deve ser calculada com a interpolação do valor da velocidade em razão da pressão total do sistema sendo assim utiliza-se a Equação 9.

$$v : 121.65 * P_{tb}^{\left(\frac{1}{3.3}\right)} \quad (9)$$

Onde:

P_{tb} : pressão em bar;

v : velocidade do fluido obtida em cm/s.

A partir do diâmetro comercial Fialho (2013) relata que deve ser averiguado se o escoamento por esse tubo será laminar ou não, de acordo com a Equação 10, afim de obter o número de Reynolds, pois em sistemas hidráulicos o fluido, quando em movimento deve sempre ter um comportamento laminar, com $Re \leq 2000$. Se o número de Reynolds ultrapassar este valor o diâmetro da tubulação deverá ser recalculado.

$$Re : \frac{V * Di}{\nu} \quad (10)$$

Onde:

Re : Numero de Reynolds (adimensional);

V : velocidade do fluido para tubulação em questão (ver tabela 4);

Di : Diâmetro interno da tubulação (cm);

ν : viscosidade do fluido em Stokes (ST).

Fialho (2013) relata que a equação para obter as perdas de carga distribuída e localizada em uma tubulação com conexões e dada calculada pela equação (11).

$$\Delta P = \psi \frac{5 * L_t * \rho * V^2}{D_i * 10^{10}} \quad (11)$$

Onde:

ΔP = perda de carga na tubulação em bar;

ψ = fator de atrito (adimensional);

$L_t = L_1 + L_2$ = comprimento total da tubulação em metros;

L_1 = comprimento da tubulação retilínea em metros;

L_2 = comprimento equivalente dos acessórios em metros;

ρ = massa específica do fluido em kg/m³;

V = velocidade do escoamento do fluido em cm/s;

D_i = diâmetro interno do tubo em centímetros.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este estudo foi classificado como exploratório, tendo como objetivo proporcionar a relação com a questão problema e através do estudo de caso, buscou-se entrevistar alguns produtores rurais de pequenas propriedades, que relataram quais as necessidades e dificuldades em relação à retirada da silagem dos silos.

Através do método da observação foi analisado quais os materiais utilizados atualmente e como propor a automatização da remoção da silagem, com baixo custo da desensiladeira, com isto foi possível de forma qualitativa, propor o desenvolvimento da desensiladeira com o acionamento hidráulico.

A partir do embasamento teórico, apresentou-se um breve relato sobre a história da agricultura, assim como os métodos de retirada de silagem, entre outros assuntos que foram de suma importância para o desenvolvimento do trabalho. Identificou-se os conceitos necessários para o dimensionamento da desensiladeira de garfos, também o equacionamento necessário para o dimensionamento do sistema hidráulico do equipamento.

Definindo-se como seria o projeto da desensiladeira de garfos, iniciou-se a realização dos cálculos. No dimensionamento das mangueiras calculou-se o diâmetro necessário para o sistema, conhecendo o diâmetro foi necessário verificar as perdas de cargas que o sistema possa ter. Após o conhecimento das perdas, foi realizado o dimensionamento dos atuadores

para verificar se o sistema hidráulico calculado, suportaria as cargas necessárias para o funcionamento correto do equipamento.

Desta forma, a partir dos diâmetros calculados, foi necessário a utilização de catálogos para comparar com os diâmetros comerciais existente no mercado e de acordo com a bibliografia, definir o diâmetro a ser utilizado. Os cálculos realizados, foram analisados através de bibliografias no seguimento de automação hidráulica, assim oferecendo um conhecimento teórico para o correto dimensionamento de um sistema.

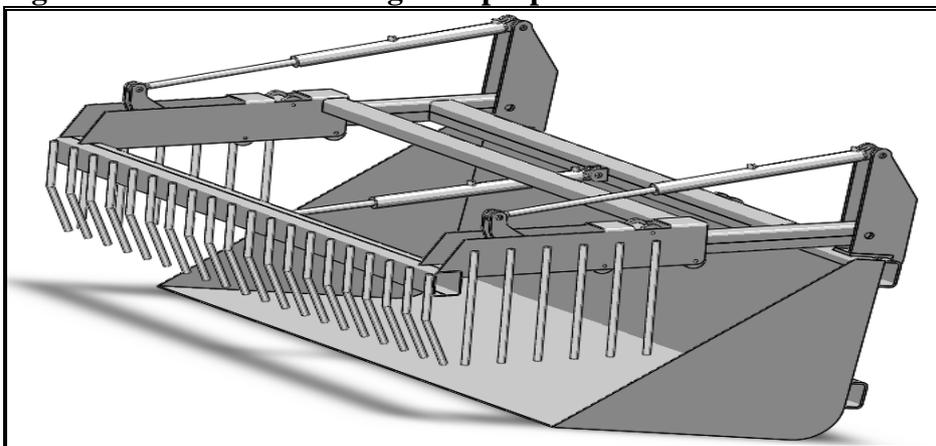
4 RESULTADOS DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através das informações coletadas a partir de bibliografias, iniciou-se o dimensionamento do sistema hidráulico. Os resultados dos cálculos são demonstrados em forma de tabelas e demonstrando o funcionamento da desensiladeira de garfos para uma melhor compreensão.

4.1 METODO DE FUNCIONAMENTO DA DESENSILADEIRA DE GARFOS

A desensiladeira proposta apresenta na Figura 7 vai ser desenvolvida para auxiliar os pequenos produtores rurais na retirada de silagem de forma mecanizada. Fabricada em aço carbono 1020, sendo este um material que tem excelente custo benefício comparado com outros aços liga, possui uma excelente plasticidade, soldabilidade e um modulo de elasticidade de 210000 N/mm, sendo uma grande vantagem sobre outros materiais.

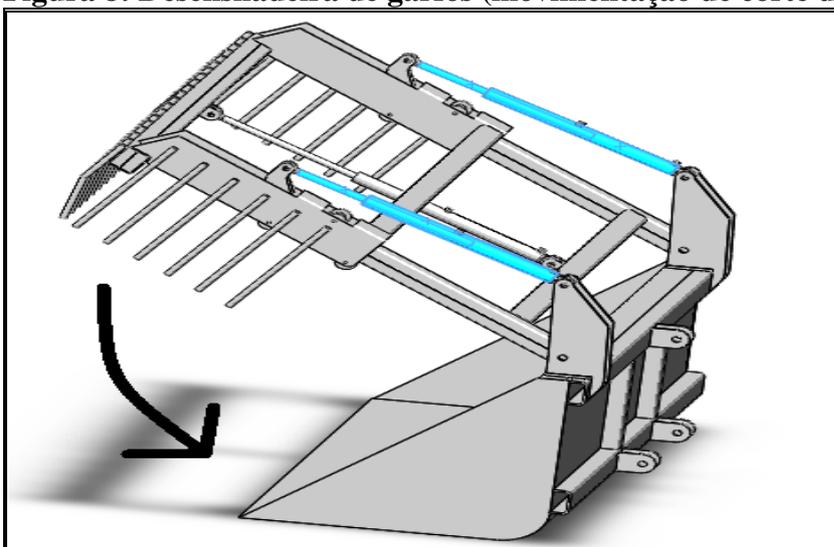
Figura 7: Desensiladeira de garfos proposta



Fonte: Desenvolvida pelo autor (2018).

O sistema de movimentação da desensiladeira é efetuado pelo sistema de bomba do trator, onde a mesma executa dois movimentos conforme Figura 8 e Figura 9. Na Figura 8 os dois cilindros selecionados e demarcados em azul permitem que o garfos possam executar o corte da silagem (no sentido da seta), sem mexer a estrutura do painel.

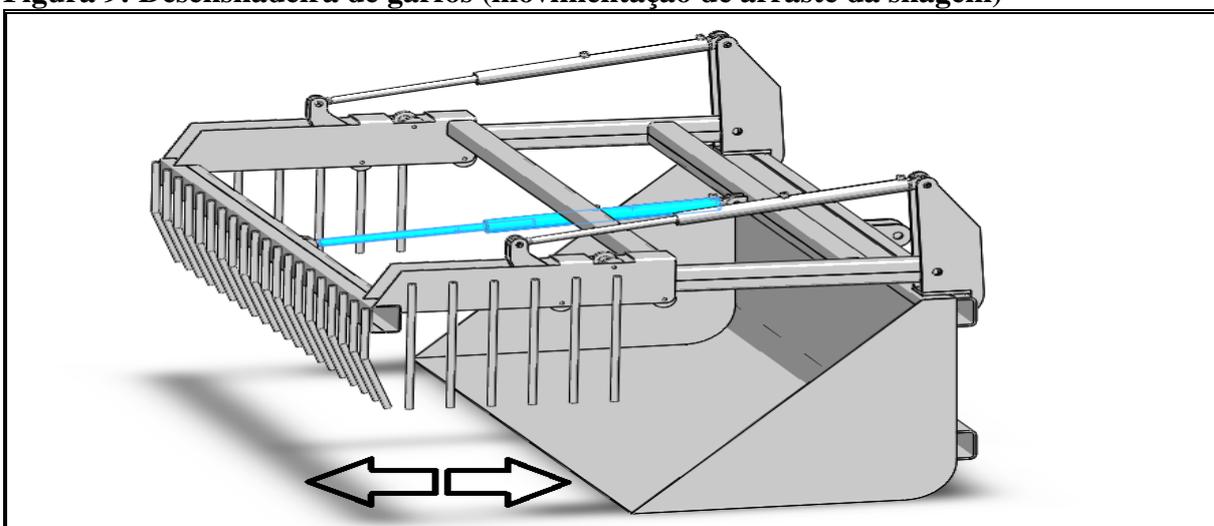
Figura 8: Desensiladeira de garfos (movimentação de corte da silagem)



Fonte: Desenvolvida pelo autor (2018)

Já, na Figura 9, é apresentado o movimento de arraste da silagem, onde o sistema utiliza um cilindro o qual é acionado após ter feito o corte da silagem. O cilindro selecionado está totalmente avançado para o corte da silagem, após o corte este cilindro selecionado irá retornar em direção da concha, para que a silagem possa ser transportada até os animais.

Figura 9: Desensiladeira de garfos (movimentação de arraste da silagem)



Fonte: Desenvolvida pelo autor (2018).

Este modelo de desensiladeira não existe atualmente no mercado, na maioria dos equipamentos existentes hoje o corte não é executado por gafos, mas sim por um sistema de fresa rotativa o que acaba aumentando os custos dos equipamentos. O modelo proposto neste trabalho, busca atender os pequenos produtores rurais, justamente por ser um sistema com baixo custo no mercado.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO DA DESENSILADEIRA DE GARFOS

O ponto de início para o dimensionamento do sistema hidráulico da desensiladeira de garfos, foi conhecer a pressão e a vazão que o sistema do trator forneceria para sistema da desensiladeira, para isso consultou-se o manual do operador, de posse dos dados de pressão de 190 bar e a vazão de 45L/mim. Após obter estas informações, iniciou-se o dimensionamento das mangueiras para conhecer os diâmetros da mangueira de avanço e retorno. Conhecendo o diâmetro executou-se o cálculo para conhecer as perdas que as mangueiras iriam fornecer para o sistema

A Tabela 2, demonstra os resultados dos cálculos do sistema de mangueira da desensiladeira de garfos. Ao se tratar do diâmetro (D_a) da mangueira de retorno, calculou-se um diâmetro mínimo comercial de 1,80cm, já no cálculo da mangueira de avanço chegou-se ao diâmetro (D_a) de 1,30cm. A seguir foi verificado de acordo com Reynolds, se o sistema se classificava em um escoamento laminar ou turbulento, analisando os resultados dos cálculos, concluiu-se que o sistema será de escoamento laminar, definido que para este regime o valor de Reynolds deve ser ≤ 2000 .

Para dar continuidade no dimensionamento do sistema hidráulico da desensiladeira, deve-se conhecer as perdas que o sistema das mangueiras terá sobre o sistema da desensiladeira de garfos. Na Tabela 2 analisou-se que a mangueira de retorno terá uma perda (ΔP) de 0,82 bar, já a mangueira de avanço terá a maior perda no sistema de 3,04 bar de pressão.

Tabela 2: Resultados do dimensionamento das mangueiras de avanço e retorno

ITEM	SIMBOLOGIA (UNIDADE DE MEDIDA)	RESULTADO
DIAMETRO DA MANGUEIRA DE	Mm	18

RETORNO		
DIAMETRO DA MANGUEIRA DE AVANÇO	Mm	13
ESCOAMENTO NO RETORNO	Admissional	794,46
ESCOAMENTO NO AVANÇO	Admissional	1140,46
PERDA DE CARGA NO RETORNO	Bar	0.82
PERDA DE CARGA NO AVANÇO	Bar	3,04

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2018).

Após o dimensionamento das mangueiras, iniciou-se o dimensionamento dos atuadores, onde foi preciso descontar as perdas de carga da pressão que o trator fornece para a desensiladeira, também necessitou conhecer a força de avanço para calcular o diâmetro mínimo do pistão (D_p). Desta forma, para conhecer a força necessária da movimentação dos atuadores da Figura 8, foi necessário conhecer a resistência da penetração dos garfos na silagem, onde Ciência Rural (2011), confirma que a resistência máxima é de 1,23 MPa, então o atuador teria que possuir uma força de 52221,91N para vencer uma resistência de 1,23 MPa. Possuindo estas informações, foi possível calcular o diâmetro mínimo do atuador onde necessitaria de um diâmetro de 57,56mm, porém comercialmente o diâmetro mínimo seria 63mm, ou seja, terá um coeficiente de segurança do sistema de 1,2 para os atuadores da Figura 8.

Para obter a força de avanço necessário para o atuador da Figura 9, foi necessário conhecer o coeficiente de atrito entre o aço e o UHMW. Segundo Ishida e Beê (2015), o coeficiente de atrito entre o aço e o UHMW é de 0,15. Assim, necessitou conhecer o volume máximo de silagem que os garfos suportariam, onde o volume é de $0,64\text{Kg}/\text{m}^3$ devido as dimensões dos garfos. Obtendo estas informações foi possível calcular o diâmetro mínimo do atuador, onde o mesmo terá um diâmetro calculado de 18mm, porém comercialmente o diâmetro mínimo seria de 40mm, ou seja, tendo um coeficiente de segurança de 5,49 para o atuado da Figura 9.

Após conhecer o diâmetro do pistão é necessário calcular o diâmetro da haste (D_h) pelo critério de Euler afim de evitar deformação por flambagem, onde o atuador da Figura 8 e 9 teriam um diâmetro calculado de 12mm e 9,88mm, porém comercialmente o diâmetro mínimo seria 28mm e 18mm. Depois de obter os resultados dos diâmetros, foi verificado as velocidades de retorno e avanço do atuador das Figuras 8 e 9, tendo a informação que a

velocidade no avanço seria de 0,57m/s e a de retorno uma velocidade de 0,75m/s, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Diâmetros e velocidade calculada do atuador 1 e 2/3 o Cs

ITEM	SIMBOLOGIA (UNIDADE DE MEDIDA)	RESULTADO
DIAMETRO DO PISTÃO 1	Mm	40
DIAMETRO DA HASTE 1	Mm	25
VELOCIDADE DE AVANÇO1	mm/s	0,57
VELOCIDADE DE RETORNO1	mm/s	0,75
COEFICIENTE DE SEGURANÇA1	Admissional	4,96
DIAMETRO DO PISTÃO 2/3	Mm	63
DIAMETRO DA HASTE 2/3	Mm	28
VELOCIDADE DE AVANÇO 2/3	mm/s	0,24
VELOCIDADE DE RETORNO2/3	mm/s	0,30
COEFICIENTE DE SEGURANÇA 2/3	Admissional	1.25

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2018).

A partir do projeto e dimensionamento do sistema hidráulico da desensiladeira de garfos espera-se que, com os resultados obtidos nos cálculos, juntamente com as consultas realizadas nos catálogos dos fabricantes, seja possível atender à necessidade dos pequenos produtores rurais, que é a remoção da silagem dos silos de forma automatizada. Foi considerado um coeficiente de segurança capaz de garantir que o sistema hidráulico da desensiladeira de garfos executará sua função de acordo com o esperado e que o equipamento venha a ser fabricado com um baixo custo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtores rurais das pequenas propriedades enfrentam dificuldade para a remoção da silagem dos silos, seja pelo excesso de esforço ou pela falta de equipamento adequado, que é comercializado com custo elevado e esta foi a constatação feita através da conversa e observação feita durante este estudo de caso.

Tendo os resultados do dimensionamento do sistema hidráulico proposto, entende-se que o mesmo executará sua função conforme o esperado, de acordo com os resultados obtidos nos equacionamentos e consulta realizada aos catálogos de fabricantes, o sistema irá atender

as necessidades dos pequenos produtores rurais que é possuir um equipamento com sistema automatizado para a remoção da silagem do silo, com baixo custo.

Devido aos cálculos realizados, foi constatado que o equipamento funcionara corretamente com o sistema hidráulico do trator não necessitando de uma bomba acoplada ou equipamento assim diminuindo o custo da desensiladeira.

REFÊRENCIAS

ABBOUD, Antônio Carlos de Souza (Org.) **Introdução a agronomia**. 1. ed. – Rio Janeiro: Interciência, 2013.

AGROFRON. Indústria e Comércio de Máquinas Agrícolas LTDA. 2017. Disponível em: <<https://agrofron.com.br/maquinas/desensiladeiras/desensiladeira-mescladora-e-alimentadora-sobre-rodas-afd80/>>. Acesso em: 05 março de 2018.

BOLLER, Walter. Máquinas para a colheita e conservação de forragens. 2014. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/li/li01-forrageiras/cap14.pdf>>. Acesso em: 26 outubro de 2017.

CIENCIA RURAL. **Determinação da massa específica de silagens de milho por método indireto**. Santa Maria, v.41, n.9, p.1622-1625, set, 2011.

CONTINENTAL CONTITECH. **Produtos de transmissão de potência**: Mangueiras industriais. Disponível em: <<http://www.veyance.com.br/bulandingpage.aspx?id=48&rdr=true&LangType=1046>>. Acesso em: 25 de março de 2018.

CRUZ, José Carlos, et al. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001.

DE NEGRI, V. J. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle**. Florianópolis: Escritório de Direitos Autorais, 2001. Disponível em: <[www.laship.ufsc.br/PDF/Apostila PDF/SistHPContAutP1eP3.pdf](http://www.laship.ufsc.br/PDF/Apostila%20PDF/SistHPContAutP1eP3.pdf)>. Acesso em: 16 março de 2018.

EVANGELISTA, Antônio Ricardo; LIMA, Josiane A. de. **Silagens**: do cultivo ao silo. – 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 2002.

FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6. ed. São Paulo: Editora Érica, 2011.

FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6. ed. São Paulo: Editora Érica, 2013.

GOMES, Sinésio. Eletropneumática e eletro-hidráulica. Disponível em: <<http://eletropneumaticaeleetrohidraulica.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 18 de abril de 2018.

ISHIDA, Mateus B.; BEÊ, Mateus T. **Estudo do comportamento tribológico de polímeros de engenharia em deslizamento sem lubrificação contra aço inoxidável**. Curitiba, 2015.

LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

LINSINGEN, Irlan von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. Florianópolis: ED. da UFSC, 2001.

LIMA, J.A. de, CUNHA, E.A. Silagem: Capricho na retirada é fundamental para colocar no cocho silagem de boa qualidade. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/Silo/index.htm>. Acesso em: 11 de maio de 2018

LOPES, Roberto Precci, et al. **Introdução a Agronomia**. In: 5º Engenharia para a Agricultura, 2013 – 1 ed. – Rio de Janeiro: Interciência, p. 499-570.

MACHADO, A. L.T.; FERREIRA, M. F. P.; ALONÇO, A. S. **Máquinas Auxiliares para Silagem e Fenação**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 2005.

MARTINS, Henrique. Memórias e outras coisas. Disponível em: <<http://5l-henrique.blogspot.com/2013/10/arado.html>>. Acesso em 27 de outubro de 2017.

MANNESMANN REXROT. **Catálogo Geral**. São Paulo: Rexroth Hidráulica.
NEW HOLLAND. Manual do operador. 3. ed. Curitiba, 2010.

OLEODINÂMICA. Oleodinâmica sistemas hidráulicos e pneumáticos Ltda, 1998. Disponível em : < <http://www.oleodinamica.com.br/mangueira-hidraulica-alta-pres> >. Acesso em 25 de março de 2018.

OLIVEIRA, Jacson Silva e. Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Juiz de Fora, MG; EMBRAPA-CNPGL, 1998. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/957981/1/Producaoouutilizacaodesilagem.pdf>>. Acesso em: 12 de setembro de 2017.

PALMIERI, A. C. **Manual de Hidráulica Básica**. 10. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1997.

PALMIERI, A. C. **Manual de hidráulica básica**. 9. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1994.

PARKER, Tecnologia hidráulica industrial, Jacareí, SP - Brasil 2001. Disponível em: <https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_07.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2018.

Parker Hannifin Corporation. **Commando direcional múltiplo: catálogo séries ML15 e MD15**. Cachoeirinha, RS: Parker Hidráulica, 2000.

PONS, Miguel Angel. **História da agricultura**. 2 ed. Ampl. Caxias do Sul: Ed. Maneco, 2008.

SENAR, **Manutenção de tratores agrícolas**, São Paulo – 2010. Disponível em:
<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Milan/leb332/Manut_SENAR.pdf> .
Acesso em: 15 de março de 2018.

SERRANO, M. I. **Controle de Força de um Servoatuador Hidráulico através da Técnica de Linearização por Realimentação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica/Automação e Instrumentação Eletro – Mecânica) – Departamento de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, Sebastião. **Conservação de forragens: silagem & feno: perguntas & respostas**. – Guaíba: Agropecuária, 2003.

SILVEIRA, Gastão Moraes. **Os cuidados com o trator**. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

ZILIMER. **Implementos Agrícolas**, 2012. Disponível em:
<<http://www.zillmer.ind.br/produto/desensiladeira/>>. Acesso em: 12 de março de 2018.

TECFRAN. **Sistemas óleo-hidráulicos**, 2004. Disponível em:
<<http://www.tecfran.com.br/conteudo/maladireta1.htm>>. Acesso em: 14 de março de 2018.

VELHO, J.P.; MUHLBACH, P.R.F.; GENRO, T.C.M.; et al. **Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”**. Ciência rural, Santa Maria. v.36, n.3, p.916-923. 2006.