

CIRCULAR TÉCNICA

263

Sete Lagoas, MG
Junho, 2020

Otimização do Sistema de Produção de Silagem com a Técnica de Movimento e Tempo

Evandro Chartuni Mantovani



Otimização do Sistema de Produção de Silagem com a Técnica de Movimento e Tempo ¹

Introdução

Normalmente, o agricultor trabalha com um calendário muito apertado para o enchimento do silo, pois além da necessidade de cortar a forragem, dentro do estágio ideal para ensilagem das culturas, o sistema se compõe de várias operações: colheita, transporte da forragem, descarga do material no silo, compactação do material picado, etc. De acordo com o Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás (2020), estas atividades com máquinas de colheita (trator+ensiladeira, trator+carreta, mão de obra), pós-colheita (compactação, mão de obra, lona plástica) e despesas financeiras no sistema de produção de silagem correspondem a 21,19%, na estimativa de custo de produção do milho silagem.

Por ser uma atividade que é realizada anualmente, com o passar dos anos, este estudo permite um dimensionamento adequado das atividades, para evitar custos excessivos das diferentes operações, de acordo com Hunt (2001). O estudo de movimento e tempo é uma técnica bem conhecida na indústria, pouco utilizado na agricultura, e que poderá ajudar o agricultor a otimizar suas operações mecanizadas no sistema de produção de silagem.

Para permitir a compreensão da contribuição deste estudo para a área técnica, o objetivo do trabalho é apresentar um procedimento simplificado, com a descrição separada de cada operação, com embasamento técnico para uso adequado de cada equipamento, integrado a uma otimização do sistema de produção de silagem, em um dimensionamento total das atividades.

¹ Evandro Chartuni Mantovani. Engenheiro-Agrônomo, Ph.D. em Mecanização Agrícola, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Planejamento do sistema de produção de silagem

Para um bom planejamento do sistema é necessário conhecer bem a infraestrutura que o agricultor já utiliza para programar na propriedade, como:

- Quantos animais serão alimentados e por quanto tempo (dias);
- Consumo diário/animal, para produção de leite ou carne (kg);
- O tamanho do silo (m^3) necessário;
- A definição do tamanho do campo de produção (ha);
- Qual a capacidade de trabalho da colhedora de forrageira para colher o campo, no tempo pré-determinado (t/h);
- A localização do silo, com as distâncias entre o campo e o silo (m) e respectivos tempos de transporte (min.);
- A cubagem das carretas forrageiras ou caminhões (m^3);
- As dimensões do trator compactador ou com os rolos de compactação;
- Dimensionamento da máquina de colheita.

Para o agricultor que já tem uma infraestrutura ou está iniciando a atividade para produção de silagem, a recomendação técnica é iniciar pelo silo, pois a quantidade de silagem, em m^3 , que irá precisar depende da quantidade de animais que irá alimentar e da quantidade de silagem diária para cada um, durante o período de engorda ou para a produção de leite, na época seca. Com a definição da demanda de silagem (m^3), pode-se saber o tamanho da área de cultura de milho ou sorgo (ha), por exemplo, necessária para atender o sistema de produção de silagem.

De acordo com EducaPoint (2019), a produção de silagem pode impactar diretamente na rentabilidade do sistema produtivo e, portanto, deve ser cuidadosamente planejada. Produzir silagem de alta qualidade, que garanta o melhor desempenho dos animais e com perdas reduzidas no processo produtivo, deve ser o objetivo desta etapa. O correto dimensionamento do silo-trincheira é uma escolha estratégica, em que o efeito vai repercutir por muitos anos sobre a qualidade da silagem, qualidade microbiológica do leite e na

saúde dos animais. No planejamento da construção de um silo, três aspectos importantes devem ser considerados:

- 1) Taxa de desabastecimento, no mínimo 30 cm por dia (0,3 m/dia para facilitar os cálculos);
- 2) Estabelecimento da altura das paredes que a trincheira terá;
- 3) Volume de silagem a ser utilizado diariamente.

Dimensionamento do tamanho do silo (m³)

Informações técnicas do confinamento:

- Número de animais confinados: 100
- Peso médio inicial dos animais: 380 kg peso vivo.
- Planejamento para peso final: 750 kg, em 120 dias.
- Consumo diário médio/animal: 10 kg/dia de matéria seca de silagem
- Perdas durante o armazenamento e retirada da silagem: 5%
- Necessidade total de silagem: $120 + 5\% = 126$ t
- Densidade da silagem: 0,6 kg/ m³
- Densidade da silagem = 600 kg/ m³ = 0,6t/m³
- Demanda de silagem: $126 \text{ t} / 0,6 \text{ t/m}^3 = 210 \text{ m}^3$
- *Resultado:* A demanda de silagem é 210 m³, para o consumo de silagem dos 100 animais, até o final do confinamento.

Para estabelecer as dimensões do silo, comprimento, largura e altura, o agricultor deverá, primeiramente, ter conhecimento acerca do equipamento de compactação da forragem, trator ou rolo compactador. Se utilizar o trator, o critério para o cálculo lateral de toda área pisada, com os dois pneus traseiros, equivale, na prática, a pelo menos o dobro desta largura total. Caso se

utilizem rolos compactadores, deve ser a largura total vezes o número de passadas, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Detalhe das rodas do trator e rolos compactando a forragem e da largura do silo. Fonte: Nogueira Máquinas Agrícolas (2020).

Exemplo utilizando-se um trator MF 4275 para compactação:

- Informações técnicas do trator MF 4275
 - Largura do trator: 2,30 m.
 - Largura do pneu: 0,30 m
 - Comprimento do trator: 4,2 m
 - Dimensões do silo-trincheira
 - Largura do silo (L): $2,30 \times 2 = 4,60$ m
 - Comprimento proposto para o silo (C): 20 m
 - Área proposta: $20 \text{ m(C)} \times 4,6\text{m (L)} = 92 \text{ m}^2$
 - Altura do silo (A):
1. Volume total de silagem necessária: 210 m^3
 2. Dividindo o Volume total pela área proposta, obtém-se a altura do silo: $A = 210 \text{ m}^3 / 92 \text{ m}^2 = 2,28 \text{ m}$

Resultado: $(L = 4,6 \text{ m}) \times (C = 20 \text{ m}) \times (A = 2,28 \text{ m}) = 210 \text{ m}^3$

As dimensões do silo-trincheira deverão ser sempre calculadas em função do número de animais confinados, para atender o consumo de silagem, durante o número de dias programados, ou melhor, até o final do confinamento, com o peso final de abate. Neste caso, foram 100 animais confinados, durante 120 dias.

Cálculo do tamanho da área de produção

Demanda de silagem para todo o período de 120 dias: $210 \text{ m}^3 = 126.000 \text{ kg}$ de forragem

Produtividade média milho: 35 toneladas massa verde/ha

Área necessária: $126 \text{ t} / 35 \text{ t/ha} = 3,6 \text{ ha}$

Quando colher a forragem de milho para a produção de silagem?

A decisão do ponto de colheita do milho para a ensilagem é muito importante e pode definir a sua qualidade nutricional, com maior ou menor aceitabilidade pelos animais.

Esta etapa é primordial para a obtenção de silagem de alta produção de massa e alta qualidade nutricional, como menciona o Manual de Silagem, da Agroceres (2020). A época de colheita da lavoura para a ensilagem ou o ponto ideal de colheita para a produção de silagem é considerado um dos principais gargalos na produção de silagem (Gontijo Neto et al., 2003).

A definição do ponto de corte do material pela matéria seca, cujo teor deve variar entre 30% e 35%, define os seguintes resultados:



Figura 2. Ponto ideal para colheita do milho para silagem. Fonte: Santos e Ciríaco (2015).

- Melhor produção de matéria seca por hectare
- Melhor qualidade nutricional
- Maior digestibilidade
- Maior consumo pelos animais
- Melhor compactação e melhor fermentação da silagem

Embora existam informações técnicas sobre o efeito do teor de matéria seca sobre a produção e qualidade da silagem, e mesmo sobre o seu efeito na nutrição animal, os agricultores ainda têm dificuldades de efetuar essa colheita no momento oportuno por uma série de razões, exigindo, principalmente dos órgãos de fomento e assistência técnica, uma melhor estratégia de abordagem para a resolução desse problema (Cruz et al., 2001).

Dimensionamento da máquina de colheita

O dimensionamento dos equipamentos necessários para compor o sistema de produção de silagem (colhedora de forragem, carretas forrageiras e trator compactador) é realizado em função do tempo necessário para colheita da forragem (dias), da capacidade de escoamento do material colhido (m^3) e da largura do silo (m).

As operações realizadas por máquinas agrícolas devem ser bem planejadas para atender o calendário de atividades da cultura em análise e são dimensionadas para fazer as operações de campo, dentro do tempo disponível e sem alterar a qualidade do trabalho realizado. De acordo com o cronograma e as características da cultura, os equipamentos de colheita de forragem são escolhidos, sendo a sua largura de corte (m) calculada em função da Capacidade Efetiva de Trabalho no Campo-CETC, na velocidade técnica recomendada (km/h) e com uma eficiência de campo (%) pré-determinada, como mostrado a seguir:

- Capacidade Teórica de trabalho no Campo-CTTC, ha/h:

$$\text{CTTC, ha/h} = (\text{Velocidade (m/h)} \times \text{Largura (m)}) / 10.000$$

- Capacidade Efetiva de trabalho no Campo-CETC, ha/h:

$$\text{CETC, ha/h} = \text{CTTC} * \text{Eficiência de Campo}$$

Máquinas de colheita de grãos e forragens têm a CETC em t/h.

No caso da máquina de colheita de forragem, o sistema tem que ser bem planejado para evitar paradas constantes, por falta de carretas forrageiras para transporte do material. Diferentes modelos e tamanhos de carretas forrageiras são oferecidos no mercado, e a escolha deve ser feita em função da capacidade de colheita da máquina forrageira. O tamanho da carreta deve ser escolhido de maneira a permitir uma capacidade de carga tal que recolha e transporte a forragem sem a necessidade de ter uma quantidade de carretas muito acima do que o sistema possa custear.

De acordo com Hunt (2001), a eficiência de campo de máquina de colheita de forragem deve estar entre 50 e 75%, ou seja, em 10 horas de trabalho, a operação de colheita deve ter a máquina trabalhando de 5 a 7,5 horas.

A falta de transporte da forragem pode ser um problema muito sério para manter o sistema funcionando adequadamente, dentro dos parâmetros técnicos recomendados para trabalhos de máquinas e implementos no campo e para a alimentação do silo para compactação. Sendo assim, o sistema poderá ser planejado, inicialmente, fazendo-se uma descrição detalhada da

localização do silo e da área do campo de produção, para calcular os tempos de cada operação e ajudar no sincronismo de todas as ações envolvidas:

- Capacidade efetiva de trabalho da colhedora de forragem, t/h;
- Tempos de transporte cheio e vazio, do campo ao silo e retorno até o campo (minutos);
- Tempo de descarga da forragem no silo (minutos);
- Número de descargas da forragem para iniciar a compactação;
- Tempo de compactação de cada camada de 20 cm (minutos);
- Tamanho do silo (m^3).

O dimensionamento dos equipamentos visa aperfeiçoar os tempos de cada operação, reduzindo os desperdícios e custos para produção de silagem, permitindo ao agricultor ter informações para a decisão de comprar ou alugar o equipamento de colheita e de transporte de forma bem ajustada para atender o seu sistema. Para uma melhor visualização de um sistema otimizado será apresentado, a seguir, um sistema de produção de silagem do projeto ILPF, da Embrapa Milho e Sorgo, com a técnica de movimento e tempo.

Estudo de Movimento e Tempo para o sistema de produção de silagem

A utilização do estudo de movimento e tempo em atividades com máquinas agrícolas, para produção de silagem, é muito eficaz, pois permite avaliar todas as operações do sistema de forma conjunta, identificando problemas e eliminando os gargalos, aumentando desta forma a capacidade de produção.

De acordo com Cury e Saraiva (2018), estas técnicas, aplicadas ao sistema, permitem analisar em detalhes uma operação ou tarefa, medindo quais atividades agregam valor, e como minimizar e eliminar aquelas que não agregam valor ou são consideradas um desperdício. Além disso, permitem o desenvolvimento de melhorias contínuas nas atividades de produção, para otimizar os processos de produção, garantindo flexibilidade, custos mais baixos e resultados mais eficientes.

Para o sistema de produção de silagem é possível avaliar as atividades em operação e, em muitos casos, melhorar a execução em curso da infraestrutura do produtor ou de eficiência de um determinado equipamento agrícola, para obtenção da melhor maneira de executar as operações de campo.

Neste sentido, para cada operação do sistema em atividade, movimentos e tempos são mensurados e padronizados, e deverão ser seguidos para que a operação de todo o processo encontre os melhores resultados para o sistema de produção de silagem.

Para as atividades que compõem este sistema, a colheita é considerada vital, e deve ser bem executada para obtenção e definição de uma silagem de qualidade; ela é muito importante para equilibrar e otimizar o trabalho dos equipamentos agrícolas, envolvidos na ensilagem. Na Figura 3, abaixo, será apresentado um exemplo de uma avaliação, realizada na área do projeto ILPF, da Embrapa Milho e Sorgo, de um sistema real, com as diferentes atividades e respectivos tempos das operações para facilitar a compreensão deste estudo.

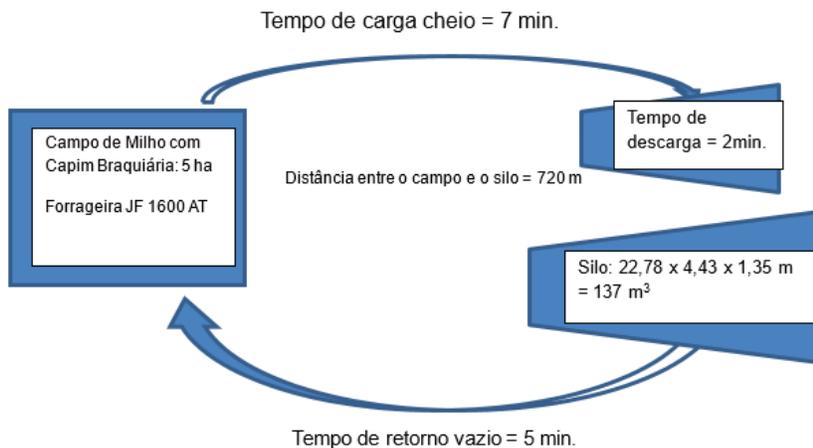


Figura 3. Exemplo de um Sistema de Produção de Silagem, do Projeto ILPF, da Embrapa Milho e Sorgo, 2018.

Tabela 1. Características técnicas da colhedora mecânica de forragem, JF 1600 AT, utilizada para coleta dos dados de campo.

Acionamento	Tratorizado
Número de facas	15
Número de rotores	1
Quantidade de rolos recolhedores	4
Cultura	capim, milho, sorgo, cana, aveia, etc.
Espaçamento	Área total
Largura de trabalho	1,6 metro ¹
Peso	2.400 kg
Potência mínima requerida	80 a 140 cv
Produção	até 50 ton/h
RPM na TDP	540
Tamanho do material picado	18 (2,5 a 43 mm)
Transmissão	Caixa e cardan

Obs: ¹A largura útil de trabalho poderá ser consideravelmente reduzida em função de tipo de produto, forma de plantio (em linha ou a lanço), espaçamento, relevo e clima dentre outras variáveis que afetam a colheita. A produtividade pode variar em razão de fatores como tamanho de corte, massa por hectare, disponibilidade por carreta e a potência do trator. Fonte: JF Máquinas (2020).

Tabela 2. Dados coletados pela colhedora mecânica de forragem, JF 1600 AT, em uma área experimental de 5 ha de milho com capim braquiária, do projeto ILPF, da Embrapa Milho e Sorgo, 2018.

Determinação da Capacidade Efetiva de Trabalho no Campo-CETC: t/h – Velocidade = 5,5 km/h	
Tempo de colheita para encher um caminhão: 6,48 minutos	
<i>Tempo nas viradas: não há, colheita sendo feita em todos os sentidos.</i>	
<i>Tempo total, 388,9 segundos</i>	
Área colhida:	1.085,6 m²
Peso líquido do material colhido úmido: 3.670 kg	
Produtividade da cultura:	33,8 t/ha
CETC: 32,38 t/h	
Os dados foram coletados até o enchimento do caminhão forrageiro.	

- Colhedora mecânica de forragem JF 1600 AT: Colhe e enche o caminhão forrageiro: 6,48 minutos
- Dimensões do caminhão caçamba para transporte da forragem:
 1. Comprimento (C): 3,32 m
 2. Largura (L): 2,20 m
 3. Altura (A): 1,20 m
 4. Total: 3,32 x 2,20 x 1,20: 8,76 m³
- Tamanho do Silo: (C) 22,78 x (L) 4,43 x (A) 1,35 m: 137 m³
- Tempo de descarga da forragem no silo: 2 minutos
- Tempo de deslocamento do caminhão cheio até o silo: 7 minutos
- Distância entre o campo e o silo: 720 m

- Tempo de retorno: 5 minutos
- Tempo de transporte de carga + Descarga + Retorno até o campo: 7 minutos + 2 minutos + 5 minutos: 14 minutos
- Número de caminhões para coleta de forragem:
 1. tempo transporte (cheio e vazio) + descarga: 14 minutos
 2. tempo de colheita/enchimento do caminhão: 6,48 minutos

Então, dividindo $14/6,48 = 2,16$ caminhões

Os resultados apresentados acima indicam que serão necessários três caminhões para atender o sistema de produção de silagem. Como o valor obtido está próximo de 2 (2,16 caminhões), a aceitação deste valor implica a necessidade de melhorar o tempo de transporte até o silo e o retorno até o campo. Neste caso, duas situações deverão ser consideradas: ou se reduz a distância entre o campo e o silo, ou há necessidade de melhorar as condições das estradas onde transitam os caminhões para transporte da forragem até o silo.

Comentários finais

Como pode ser evidenciado, o foco deste estudo visava melhoria de eficiência da máquina de colheita e, por isso, o trabalho se concentrava no apoio dos caminhões de transporte de forragem do campo para o silo, descarga e retorno para o campo, para evitar paradas constantes da forrageira, por causa da insuficiência de transporte.

Como a infraestrutura já estava pronta (o tamanho do silo, colhedora de forragem, caminhões para transporte, área de produção e trator compactador) não foi o objetivo do estudo avaliar se o dimensionamento era adequado, ou não, para atender os animais, no confinamento, durante o período de engorda. Mesmo sem analisar estes aspectos, percebe-se que a infraestrutura está superdimensionada, pela quantidade de 50 animais no confinamento e pelo tamanho do silo e do campo, uma vez que neste projeto foram utilizadas as instalações já existentes, e o excesso de silagem tem sido aproveitado para animais da região, de parceria do projeto.

Referências

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. (Ed.). **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 544 p.

CURY, P. H. A.; SARAIVA, J. Time and motion study applied to a production line of organic lenses in Manaus Industrial Hub. **Gestão & Produção**, v. 25, n. 4, p. 901-915, 2018.

EDUCAPOINT. **Produção e utilização de silagens**: silo-trincheira: como calcular as dimensões. 2019. Disponível em: <<https://www.educapoint.com.br/curso/pastagens-forragens/uso-silagem/>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

GONTIJO NETO, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Milho para silagem**. [S.l.: s.n., 2003]. Disponível em: <<http://sinueloagropecuaria.com.br/wp-content/uploads/2016/09/milho-para-silagem.doc>>. Acesso em: 17 fev. 2020.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 10. ed. Ames: Iowa State University Press, 2001. INSTITUTO PARA O FORTALECIMENTO DA AGROPECUÁRIA DE GOIÁS. **Estimativa de custo de produção milho silagem**. Disponível em: <<http://ifag.org.br/custos-de-producao.html>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

JF MÁQUINAS. **JF 1600 AT**: colhedora de forragem. Disponível em: <http://www.jfmaquinas.com/pt/produto.php?produto=50&jf_1000_at>. Acesso em: 13 abr. 2020.

NOGUEIRA MÁQUINAS AGRICOLAS. **Comparativo de compactação**. Imagem. Disponível em: <<http://www.nogueira.com.br/produto.php?equipamento=72&CSN+2.0>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

SANTOS, A. B. B.; CIRÍACO, A. P. **Silagem (milho, sorgo e capim)**: produtos empregados na alimentação animal. 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/featured/category/education>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SEMENTES AGROCERES. Manual de silagem. In: GUIA de campo sementes Agroceres milho e sorgo: silagem. Disponível em: <<http://www.sementesagroceres.com.br/pages/ManuaisTecnicos.aspx>>. Acesso em: 17 fev. 2020.

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Publicação digital (2020)

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente

Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo

Elena Charlotte Landau

Membros

Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e
Maria Cristina Dias Paes

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações

Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Mônica Aparecida de Castro

Foto da capa

Evandro Chartuni Mantovani



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

