

Aula 1 – Importância do estudo da Mecânica e Máquinas Motoras

As máquinas motoras estão inseridas no sistema de produção e sua utilização de modo técnico é tema de estudo da Mecanização Agrícola. Este é um texto introdutório da disciplina LEB332 – Mecânica e Máquinas Motoras que tem por objetivo capacitar os alunos a entender o princípio de funcionamento dos mecanismos e máquinas motoras mais utilizadas no processo de produção agropecuária e florestal. Também é contextualizado o uso de máquinas frente às novas tecnologias, ao seu preparo para o trabalho, desempenho, manutenção e operação. Os grupos de conteúdo abaixo serão ministrados durante o curso.

- Introdução e conceitos fundamentais de mecânica: revisão dos conceitos básicos relacionados à mecânica como força, trabalho, velocidade, potência e torque.
- Elementos de máquinas e mecanismos: apresentação dos órgãos das máquinas e seu funcionamento
- Estudo dos tratores: apresentação dos tipos de tratores e seu histórico de desenvolvimento, composição, funcionamento e eficiência de motores de combustão interna utilizados em máquinas agrícolas, mecanismos para a transmissão de potência e movimentos, sistemas hidráulicos, desempenho e automação em tratores.
- Manutenção e operação segura de máquinas agrícolas, preparo do trator para o trabalho.

A disciplina é preparatória e requisito à LEB0432 – Máquinas e implementos agrícolas.

Introdução

Diversos fatores contribuíram para a mecanização da agricultura. A redução do desgaste do trabalhador, a elevação de sua produtividade, da qualidade com que as operações são realizadas e a necessidade de completar tarefas em curto período podem ser considerados determinantes neste processo. Mecanizar se refere ao processo de utilizar máquinas com objetivo de realizar tarefas ou operações.

OPERAÇÃO AGRÍCOLA: Etapa do processo de produção composta por um conjunto de atividades ou sub processos que se desencadeiam desde uma condição inicial para atingir uma condição final desejada. As operações mais comuns são o preparo de solo, semeadura, plantio, controle de plantas daninhas, controle de pragas e a colheita.

O trabalho no meio rural é fisicamente exigente e as condições de trabalho adversas. O uso das máquinas reduz o desgaste e esgotamento dos trabalhadores: é menos cansativo operar um trator do que trabalhar com ferramentas manuais durante um dia todo. Um trator realizando o preparo de solo cultiva uma área bastante superior àquela que um trabalhador faria manualmente e desta maneira oferece a condição de realizar as operações nos períodos mais adequados, ou seja, com pontualidade. A pontualidade é fator decisivo na produção agrícola. Completar operações como a semeadura e a colheita no período adequado eleva expressivamente a produtividade das culturas e assegura a rentabilidade da atividade. Ao longo do ciclo das culturas a demanda por trabalho flutua, maior intensidade ocorre em alguns momentos e em outros há pouco a fazer. Esta flutuação cria problemas de gestão dos recursos

disponíveis, sobretudo a mão de obra. Com o uso da mecanização, a sazonalidade pode ser melhor administrada.

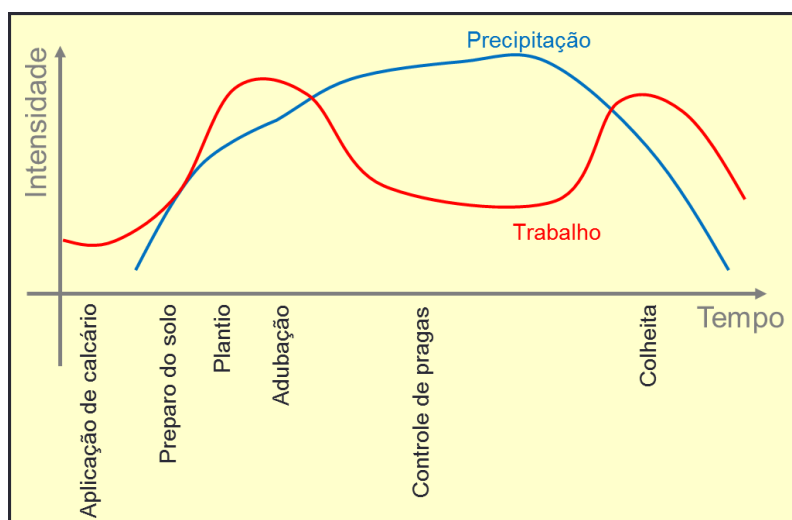


Figura 1 – Sazonalidade da disponibilidade hídrica e intensidade de trabalho para a produção de uma cultura.

Nas últimas décadas ocorreram expressivos avanços em diversas áreas da tecnologia de produção agrícola, como o caso da biotecnologia. Apesar disto ainda é necessário realizar a implantação da cultura, o fornecimento de nutrientes, os tratamentos fitossanitários, colheita e processamento – atividades em que máquinas são fundamentais. Nem sempre, entretanto houve o uso de máquinas como as disponíveis na atualidade.

Quando ainda não havia conhecimento e técnica para moldar os metais, as ferramentas para o preparo de solo, por exemplo, eram todas feitas de madeira e acionadas pelo próprio ser humano ou por animais domesticados. A semeadura era realizada através do arremesso das sementes sem qualquer controle da posição em que eram depositadas. A colheita era realizada manualmente, através do arranquio ou com o uso de lâminas rudimentares. As partes colhidas eram então transportadas para outro local onde ocorria a separação da parte de interesse do restante da planta utilizando varas para desferir impactos e posterior limpeza, para o qual deveria se aguardar os ventos.

O uso de metais permitiu desenvolver instrumentos com maior durabilidade e com formas e capacidades até então impossíveis. Com o processo de industrialização e o surgimento do motor a vapor, novas fontes de energia e potência se tornaram gradualmente disponíveis. Máquinas estacionárias foram desenvolvidas para realizar a separação dos grãos do restante da planta e sua limpeza, ou seja, a eliminação de materiais indesejados.

A primeira fonte de energia para as operações agrícolas foi a humana, “manual/braçal”. Na sequência foram utilizados animais como cavalos, búfalos, bois, camelos e mesmo elefantes. A energia mecânica tornou-se disponível a partir do desenvolvimento do motor a vapor em 1858. O primeiro trator com motor de combustão interna foi construído em 1889, sendo esta solução mais leve e com maior potência que aqueles a vapor. Na década de 1930 o motor movido à diesel, com maior taxa de compressão, foi adotado para os tratores e se tornou

popular. Os tratores da atualidade são máquinas com elevada sofisticação, possuindo transmissões hidrostáticas, controles automatizados de tração, velocidade, profundidade de trabalho e pilotos automáticos para o direcionamento. Assentos e comandos foram desenvolvidos para que o operador tivesse plena visibilidade, baixo desgaste e que se sinta em uma estação de trabalho.

Quadro 1 – Classificação das operações agrícolas quando à utilização da mecânica

OPERAÇÃO MANUAL – quando todos os sub processos são realizados através de uma ação manual.

OPERAÇÃO SEMI-MECANIZADA – quando parte dos sub processos é realizada manualmente e parte com o emprego de máquinas.

OPERAÇÃO MECANIZADA – quando todos dos sub processos são realizados através de um sistema mecânico.



Colheita manual de cana de açúcar: corte, recolhimento e carregamento manuais



Colheita semi mecanizada de cana de açúcar: corte manual, recolhimento e carregamento mecanizado



Colheita mecanizada de cana de açúcar

No quadro a seguir é possível acompanhar o histórico de uso e desenvolvimento das máquinas nos EUA, país em que o processo de mecanização se consolidou antes daquele ocorrido no Brasil.

Quadro 2 - Histórico de uso de máquinas na produção agrícola nos EUA

Séculos 17 e 18	Uso de animais como fonte de potência, uso de arados de madeira, toda semeadura era realizada manualmente, cultivo do solo com enxadas manuais, corte do feno e cereais com foice e trilha através de bastões. Desenvolvimento de arado de aiveca com menor demanda de potência e do descaroçador de algodão
1800	Primeiro arado de ferro e com peças intercambiáveis é patenteado
1820	Segadora a tração animal e trilhadora estacionária são apresentadas, início do uso do aço na construção dos arados de aiveca. Nesta época eram necessárias 300 horas homem para produzir trigo em 2 hectares
1840	Início efetivo da produção comercial nos EUA a partir do uso de máquinas de acionamento manual ou através animais, como exemplo o uso de cultivadores tracionados por juntas de cavalos. Surgimento da semeadora de fluxo contínuo. 90 horas homem são necessárias para produzir milho em um hectare.
1860	Transição efetiva para a tração animal como fonte de potência para as operações. Uso de arados tracionados e com mais de uma aiveca. Tentativas de uso de tratores a vapor. Grade de dentes para ser utilizada no preparo do leito de semeadura.
1880	Colhedoras tracionadas por juntas de cavalos passam a ser utilizadas. Primeiro trator movido a gasolina. 50 horas homem são necessárias para produzir 2 hectares de trigo: arado, grade, semeadora, trilhadora, carretas para transporte.
1910	Introdução dos tratores a gasolina em fazendas de grande extensão. Introdução das primeiras colhedoras acionadas através de motores.
1920	Recolhedora de algodão e primeiros tratores leves desenvolvidos.
1930	Tratores versáteis e início do uso de pneus
1940	Desenvolvimento do mecanismo de fusos para colheita do algodão. Neste período cada produtor era responsável por alimentar 11 pessoas . 14 horas de trabalho eram suficientes para produzir um hectare de milho empregando trator, arado de 3 corpos, grade de discos, semeadora, cultivador e colhedora.
1950	O número de tratores nas fazendas passa a superar o número de animais utilizados para tração. Para a produção de 2 hectares de trigo são necessárias 6 horas de um trabalhador.
1960	Colheita mecânica de tomate é desenvolvida. 96% do algodão produzido é colhido mecanicamente. Cada produtor passa a alimentar 26 pessoas. Para a produção de 2,5 hectares de trigo são utilizadas 5 horas de um trabalhador.
1970	Cada produtor passa a alimentar 48 pessoas. Para a produção de 2,5 hectares de trigo são necessárias 4 horas de um trabalhador. Início da inserção de eletrônica em máquinas agrícolas.
1980	Adoção de sistemas conservacionistas de produção, com gradual redução de operações de preparo do solo. Uso de eletrônica em máquinas agrícolas passa a ser regular.
1990 a 2000	Cada produtor alimenta 100 pessoas. Adoção de automação em máquinas com o desenvolvimento de sistemas para direcionamento, controle de taxa de aplicação, aplicação em taxa variável.
2000 a 2015	Gestão remota de máquinas agrícolas através da telemetria.

No Brasil a produção agrícola foi a princípio direcionada para exportação, dominada por oligarquias e latifúndios. Os ciclos da cana de açúcar no período colonial e do café no Brasil império se basearam no uso expressivo de mão de obra, na maior parte do tempo escrava e, a partir de 1880, dos imigrantes europeus. O processo de industrialização do país ocorreu de modo efetivo apenas a partir da segunda guerra mundial e a indústria de máquinas motoras

agrícolas se estabeleceu a partir de 1960, embora já houvesse a indústria de ferramentas e implementos.

Quadro 3 – Energia e potência humanas para a realização de operações agrícolas

Como fonte de potência o ser humano funciona essencialmente como um gerador de calor, possuindo controles internos para prevenir sobrecargas. A energia química, ingerida nos alimentos, é convertida em outras formas de energia. Muitas operações agrícolas requerem potências (energia dispendida no tempo) maiores que aquelas passíveis de assimilação por um trabalhador, situada entre 250 e 300 W. Apenas 25% da energia consumida durante a realização de atividades simples é convertida efetivamente em trabalho útil humano. Em condições severas este percentual pode cair a 5%. Considerando uma condição de pleno consumo de energia, 300 W e uma eficiência de conversão de 25%, a potência útil é de aproximadamente 75 W em uma jornada contínua de 8 horas de trabalho.

Para a realização de operações é necessário intercalar períodos de trabalho com aqueles de descanso.

Tabela 1 – Potência a ser fornecida pelo trabalhador para realização de algumas operações

Atividade	Potência Consumida (W)
Roçando	400 – 600
Derrubando árvores	600
Carpindo	300 – 500
Sulcando o solo	400 – 1000
Plantando	200 – 300
Arando com tração animal	350 – 550
Operando trator 4 x 2	350 – 650
Operando trator 4 x 4	150 – 350
Dirigindo	150

Utilizando a equação abaixo se obtém o tempo de repouso em função da potência dispendida.

$$T_d = 60 \left(1 - \frac{250}{P} \right)$$

T_d = Período de descanso, em minutos / hora

P = potência dispendida na execução da atividade, em W

Para uma atividade de abertura de sulcos que requer entre 400 e 1000 W, são necessários entre 22,5 e 45 minutos de descanso por hora de trabalho, respectivamente. Nota-se que quando a demanda é por 1000 W o operador consegue trabalhar continuamente apenas 15 minutos e precisa descansar por 45 minutos em cada hora de trabalho. Isto resulta em índices de uso de mão de obra distintos em função da operação para uma mesma área, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Taxas de utilização de mão de obra para algumas operações manuais na produção de mandioca

Operação	Dias homem por hectare
Limpeza do solo	32,6
Abertura de sulcos	43,8
Plantio	28,3
Desbastes	36,7
Controle de ervas daninhas	40,0
Colheita	32,0

A restrição à expansão da área cultivada pela utilização de ferramentas manuais deve-se, portanto à capacidade limitada do trabalhador de fornecer potência. A elevação da área passa pela adoção de outras fontes de potência mas quando isto não é possível os atributos abaixo são importantes para elevar a eficiência no uso da energia do trabalhador:

- Adoção de um modo de trabalho que incorpore períodos adequados de descanso
- Tomar decisões quase imediatas quanto à quantidade de esforço a empregar de modo a conservar energia
- Selecionar ferramentas mais adequadas à tarefa
- Mudar de uma tarefa para outra rapidamente e de modo racional, com versatilidade

Aspectos econômicos e sociais

A intensidade de adoção da mecanização oscila entre os países em função da disponibilidade de mão de obra e do nível de industrialização. Em muitas partes do mundo e mesmo em algumas condições no Brasil a energia manual e a animal continuam sendo as maiores fontes de potência para as operações agrícolas. Mesmo nos países mais avançados, dependendo do tipo de cultivo muitas operações são manuais, sendo exemplos disto a produção de frutas para mesa e de hortícolas. Gradualmente, entretanto estas operações passam a ser realizadas por máquinas e no futuro, com a robótica, poucas operações manuais restarão.

A energia dispendida para trabalho por unidade de tempo determina uma potência ($1 \text{ J s}^{-1} = 1 \text{ W}$)

A potência disponibilizada por um trabalhador médio oscila ao redor de 75 W, ou 0,075 kW.

A de um animal de tração como o cavalo é de 300 W ou 0,3 kW.

As potências disponíveis em tratores agrícolas oscilam desde 10 kW até 400 kW.

A média de potência dos tratores em utilização no Brasil é de 100 kW

Ainda que se considere uma eficiência de 65% na transferência da potência do trator médio aos equipamentos por ele acionados, seu uso equivale aproximadamente a 216 cavalos ou 867 trabalhadores.

O uso das máquinas eleva expressivamente a produtividade dos trabalhadores, reduzindo o número de pessoas necessárias para realizar o mesmo trabalho. Se por um lado há menos oportunidades de trabalho no campo, por outro a mecanização tem permitido que os trabalhadores se dediquem a trabalhos menos desgastantes e que demandam maior escolaridade e treinamento, oferecendo melhores salários. Historicamente o desenvolvimento das máquinas agrícolas favoreceu a transição da população do meio rural para o urbano, suprimindo as necessidades da indústria e de outros ramos conforme a economia do País se desenvolvia. Se há alguns anos mais da metade da população mundial se dedicava a produzir alimentos, hoje menos de 5% da população dos países com agricultura desenvolvida alimenta o restante – em grande parte devido ao uso das máquinas agrícolas.

No Brasil segundo o último censo 23% da população reside na área rural, este montante vem decrescendo e a produção agropecuária vem se elevando simultaneamente. Quando do início do desenvolvimento industrial na década de 1960 a população rural era maior que a urbana. A produção agrícola empresarial, voltada para suprir o mercado interno e gerar excedentes através da exportação ocorreu apenas recentemente.

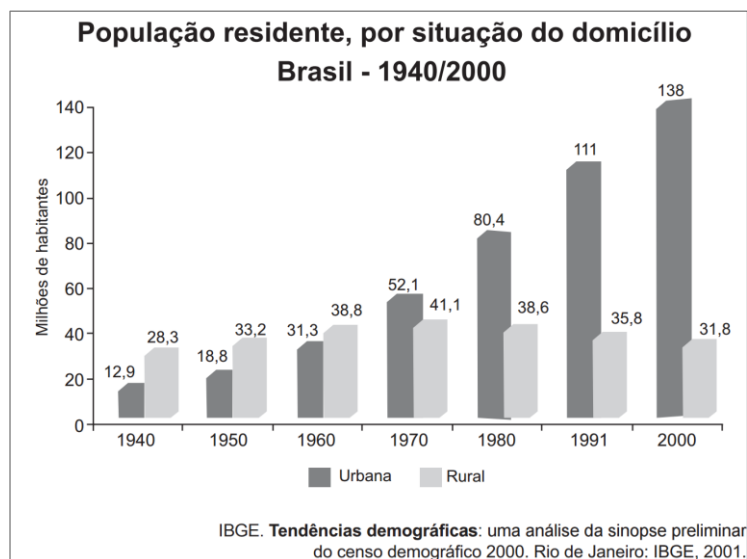


Figura 2 – Evolução histórica das populações urbana e rural no Brasil

Para que se tenha uma noção deste processo, se tomarmos como exemplo a cultura da cana de açúcar, que a partir dos anos 1970 passou a ser considerada como estratégica para o país, apenas recentemente o processo de colheita passou a ser mecanizado. Na região Centro-sul, em 2006, mais de 60% da cana era colhida através de operações manuais ou semi mecanizadas e apenas em 2012 esta operação passou a ser totalmente mecanizada em mais de 85% dos casos. O cultivo da cana no Brasil é emblemático por se tratar de uma cultura essencialmente tropical e, portanto, dependente dos desenvolvimentos tecnológicos oriundos de pesquisa e desenvolvimento realizados no País. De modo distinto, as culturas como cereais passaram a utilizar a energia mecânica tão logo a revolução industrial ocorreu e, portanto, dispõem de equipamentos desenvolvidos e aprimorados ao longo de muitos anos.

Apesar da utilização de máquinas ser relativamente recente na agricultura brasileira, o processo ocorreu rapidamente e na atualidade podem ser encontradas máquinas para uma diversidade de culturas e ambientes, muitas delas desenvolvidas especificamente para as condições locais. No cultivo da cultura da cana de açúcar, todas as operações podem ser mecanizadas e grande parte das empresas já utilizam máquinas avançadas, capazes de seguir de modo automatizado percursos preestabelecidos, evitando perdas de tempo e danos à cultura. Todos os grandes produtores de máquinas agrícolas comercializam e muitos produzem integralmente as máquinas no Brasil. Diversas indústrias nacionais de máquinas podem ser identificadas em todo o território e muitas vêm se destacando inclusive na exportação de equipamentos.

Custo das operações agrícolas mecanizadas

As máquinas agrícolas fazem parte da infraestrutura necessária à produção de diversas culturas. Seu custo é composto por uma componente fixa, necessária para sua aquisição (parcelas de um financiamento) e reposição (depreciação), e outra variável em função do uso, necessária para a realização da manutenção e aquisição dos combustíveis e lubrificantes.

Quando a máquina é operada próximo da sua capacidade projetada e durante todo o tempo disponível, seu custo fixo é diluído na área trabalhada e permite uma quantidade de produção maior. Se, entretanto, o uso for baixo, ou seja, menor área ou produção forem obtidas através de seu emprego, seu custo fixo se eleva, isto explica algumas das variações apresentadas a Figura 3.

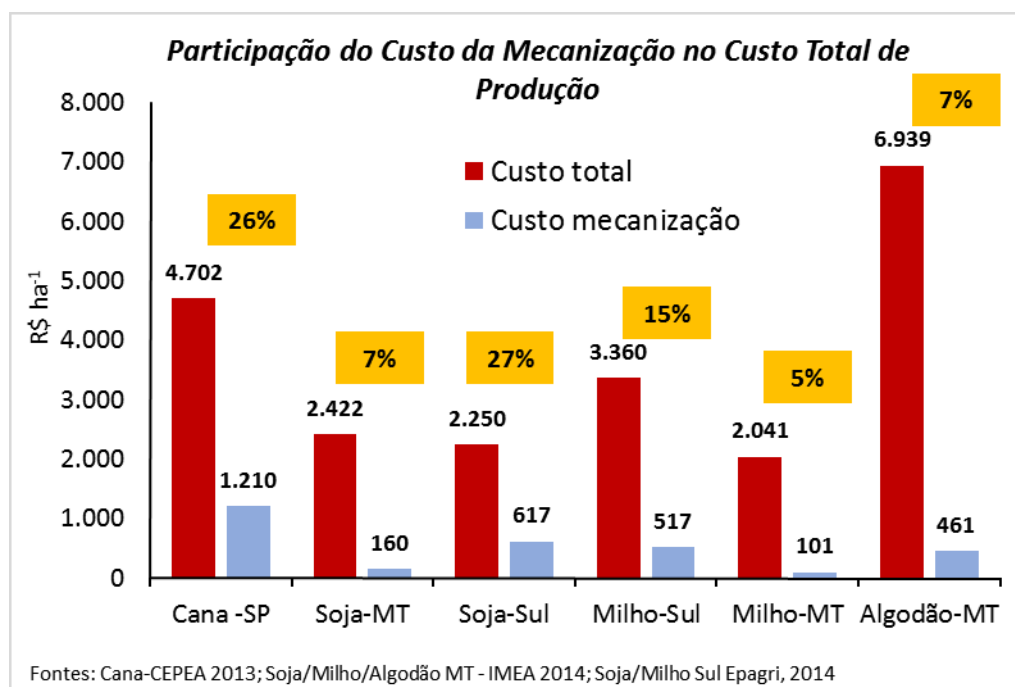


Figura 3 – Custo de produção de algumas culturas em regiões distintas do Brasil e participação do custo da mecanização no custo total.

Nas figuras 4 e 5 estão representados a evolução na semeadura e na colheita da soja produzida no estado de Mato Grosso na safra 2014-2015. Naquele Estado a disponibilidade de chuvas torna possível a realização de duas safras em um mesmo ano, porém isto só é possível quando a implantação da cultura em “segunda safra” é realizada no mês de fevereiro. Para isto é necessário que a cultura da soja seja semeada rapidamente no início do período de chuvas e que tão logo termine o ciclo, a colheita transcorra para que uma nova semeadura seja realizada.

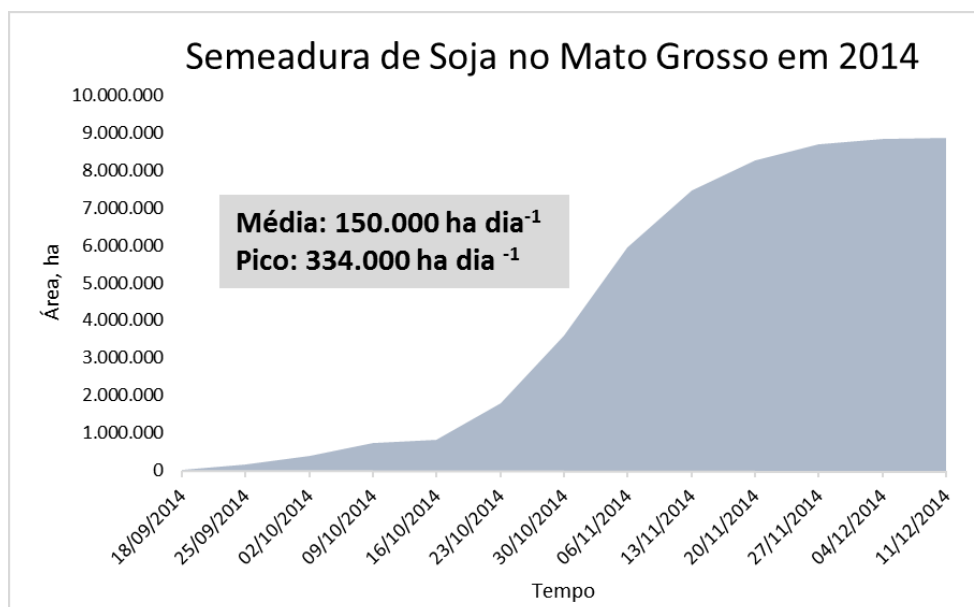


Figura 4 – Evolução da área de soja semeada ao longo de uma safra no estado de Mato Grosso.

Os montantes de área a semeada e de grãos de soja colhidos pode atingir picos com duas a três vezes a taxa média durante todo o período. Máquinas de grande capacidade operacional são utilizadas, porém como as mesmas máquinas são utilizadas nas duas culturas o custo de mecanização por unidade produzida é minimizado. Em outras regiões do País, em que também é possível a realização de uma segunda safra, o custo da mecanização pode ser um entrave e podem se desenvolver alternativas como a aquisição de máquinas em grupos ou a compra dos serviços de mecanização, ao invés da aquisição dos equipamentos.

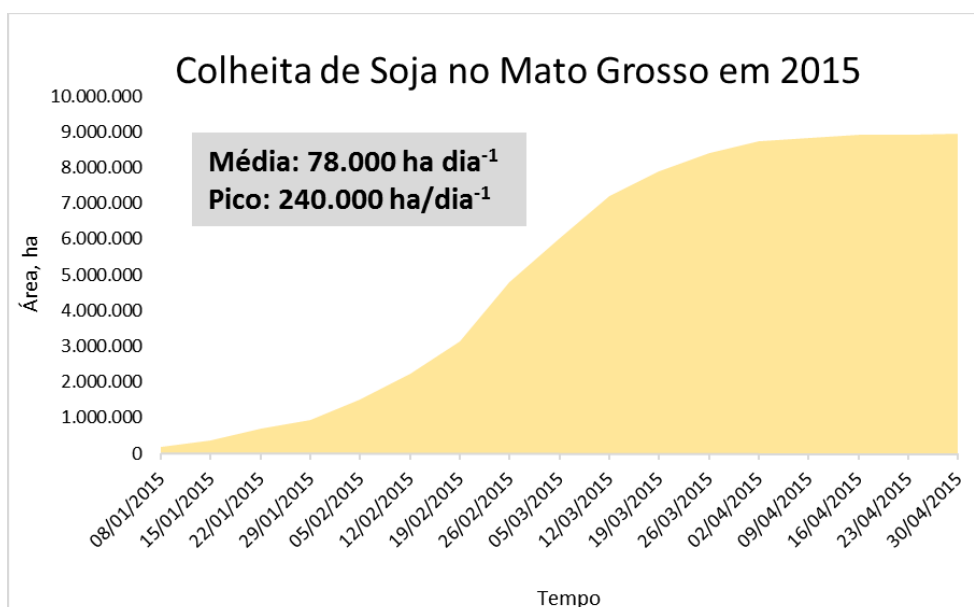


Figura 5 – Evolução da área colheita de soja ao longo de uma safra no estado de Mato Grosso.

A agricultura mecanizada é intensiva em energia e capital. A energia tem um custo e a disponibilidade de capital para adquirir máquinas determina o nível de mecanização da sociedade.

A área de mecanização agrícola é dinâmica, impacta e é impactada pelos avanços tecnológicos de outras áreas e que são incorporadas nas máquinas. Como exemplos, nos últimos anos as tecnologias que permitiram a melhoria na eficiência dos motores diesel e a redução de emissão de gases poluentes desenvolvidos prioritariamente para o setor de transportes foram rapidamente introduzidas nos equipamentos motores de aplicação agrícola. Sistemas de posicionamento geográfico combinados com sensores e atuadores passaram a equipar grande parte dos tratores, pulverizadores e colhedoras autopropelidas. Conceitos como o uso de um número elevado de máquinas com menor porte e totalmente autônomas, ou seja, robôs, vem sendo avaliados em campos de produção europeus devendo ser gradualmente introduzidos através de produtos nos próximos anos.



Figura 6 – Um trator em uso na atualidade. Com 368 kW de potência e transmissão hidráulica possuindo número ilimitado de marchas. A eletrônica embarcada controla a potência e força em função da operação realizada. Também possui sistema automatizado de direcionamento e telemetria para acompanhamento remoto.

Figura 7 – Veículos autônomos utilizados no controle de plantas daninhas, mensuração da resistência mecânica do solo e fenotipagem automatizada. Estes equipamentos dispensam os operadores.



A percepção pela sociedade quanto ao uso da energia e aos cuidados com o ambiente impactam a agricultura como um todo, incluindo a mecanização. Para isto é fundamental conhecer seu funcionamento de modo a identificar em quais sistemas de produção podem ser empregadas novas tecnologias e tendências e quais os requisitos necessários ao desenvolvimento de máquinas ainda não disponíveis.

O emprego eficiente das máquinas agrícolas depende não apenas dos custos envolvidos em sua aquisição, mas também da adequada utilização visando a redução do consumo de combustível e das manutenções desnecessárias. Toda máquina se desgasta e a manutenção deve prevenir ou corrigir estes desgastes.

Produção, operações e máquinas agrícolas

As plantas são a unidade primária básica na produção agrícola. Através das folhas retiram dióxido de carbono do ar e com as raízes absorvem água e nutrientes do solo. Com estes componentes e na presença de energia radiante as plantas produzem sementes, frutos, raízes, fibras, óleos e outros materiais.

Enquanto o crescimento das plantas na natureza ocorre sem qualquer intervenção humana, na agricultura é exercido controle sobre o desenvolvimento das mesmas. As máquinas são utilizadas como uma extensão da capacidade das pessoas em produzir e cuidar das plantas. Alterações no modo de produzir plantas são aceitas para que máquinas possam ser utilizadas de modo a elevar a eficiência global do processo, porém a partir de certo ponto estas alterações passam a ser negativas às plantas e ao ambiente. Como regra essencial à boa prática da mecanização as máquinas devem ser capazes de atender aos requisitos agrônômicos das plantas, e não o oposto.

Ao conjunto de plantas semelhantes que está se desenvolvendo em uma mesma área usualmente se denomina cultura. Para obter sucesso na produção de uma determinada cultura uma série de práticas devem ser realizadas em uma sequência pré-estabelecida. Se em uma propriedade há duas culturas, por exemplo milho e soja, em função de suas características e necessidades haverá operações a serem realizadas para uma e outra, e, em função de seu arranjo ao longo do tempo, tais operações podem ocorrer no mesmo momento ou não.

O período que se passa entre a implantação da cultura e sua colheita é denominado período de cultivo ou período de safra ou simplesmente safra. Em função da condição climática pode ser possível realizar mais de uma safra ao longo do ano, como por exemplo nos ambientes tropicais de algumas regiões do Brasil. Em outras regiões, em função da disponibilidade hídrica ou restrições por altas e baixas temperaturas isto não é possível. Estas condições têm impacto direto sobre o uso das máquinas, exigindo que as operações sejam realizadas em curtos períodos ou permitindo que transcorram com menor intensidade. Quando a safra é definida em função do clima as operações de implantação e de colheita são intensivas no uso das máquinas e a penalidade pela realização em momento inadequado é a expressiva perda da produtividade.

A maior parte das culturas é anual, ou seja, apenas uma colheita é realizada após sua implantação. As plantas anuais senescem após atingirem a maturidade e uma nova cultura precisa ser implantada para que outra colheita seja obtida. Culturas como a cana de açúcar e algumas forrageiras são perenes e diversas colheitas podem ser obtidas após a implantação.

Muitos produtores produzem mais de um tipo de cultura ao longo de um ano. Por exemplo é possível subdividir uma fazenda em quatro porções, cada uma recebendo uma cultura.

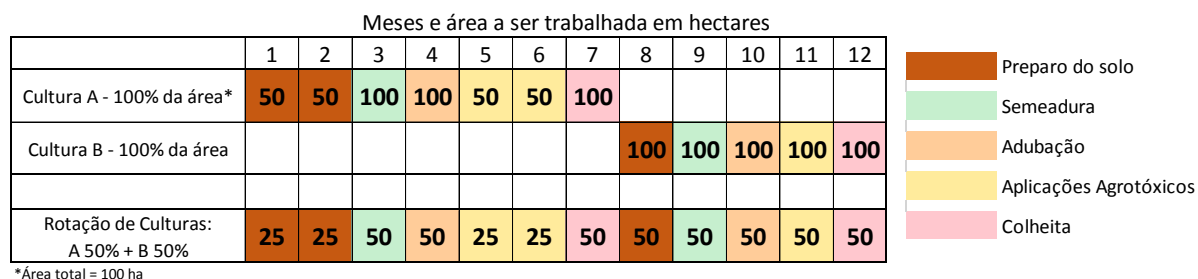


Figura 8 – Representação hipotética de um cronograma de realização de operações mecanizadas em função do cultivo de duas culturas demonstrando a variação na necessidade de uso das máquinas em função do arranjo das culturas no espaço.

A alternância das culturas em uma sequência fixa é denominada de rotação de culturas. Tal estratégia, esquematicamente apresentada na Figura 8, além de ser mais satisfatória ao ambiente, permite diluir a realização das operações ao longo do tempo, reduzindo os picos de trabalho e simultaneamente reduzindo o risco econômico no caso de perda de uma das culturas por algum fator incontrolável.

Para muitos sistemas de produção as primeiras operações realizadas visam o condicionamento do solo e podem ser denominadas genericamente de **Operações de Preparo de Solo**. Na sequência é realizada a implantação da cultura através da **semeadura, plantio, transplântio** – em função da estrutura de propagação considerada. Conforme as plantas se desenvolvem pragas, daninhas e doenças necessitam ser controlados através da **aplicação de agrotóxicos** ou do **cultivo mecânico** para que ao final do ciclo possa se realizar a **colheita**. Para a realização das operações mecanizadas são necessárias máquinas, ou seja, sistemas mecânicos compostos de modo a executar determinada ação. O acionamento das máquinas ocorre através de uma fonte de potência que nada mais são que máquinas especializadas em converter a energia presente nos combustíveis em movimento útil. Os motores de combustão interna com ciclo diesel são tipos os mais utilizados. Neste processo de conversão a eficiência situa-se ao redor de 40%, com perdas devido à geração de calor e ao atrito entre componentes. O trabalho útil produzido pelo motor é transferido às máquinas através dos tratores e seus sistemas de transmissão e nestes também ocorre perda. Como exemplo, a transmissão da potência através da barra de tração dos tratores raramente ultrapassa a eficiência de 70% em condições de solo cultivado. A melhoria desta eficiência passa pela correta seleção e regulagem das máquinas, bem como pela combinação de máquinas para compor conjuntos mecanizados adequados.

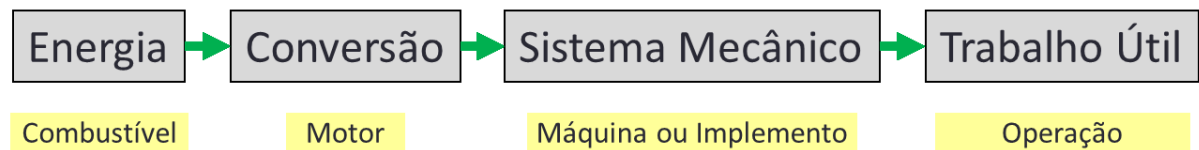


Figura 9 – Fluxograma para a realização das operações mecanizadas.

Os tratores são fontes de potência muito versáteis e a eles podem ser acopladas, acionadas a tracionadas as mais diversas máquinas agrícolas. Portanto um mesmo trator geralmente é utilizado para diversas operações. Há também as máquinas auto propelidas que possuem a sua própria fonte de potência e que se justificam pela sua elevada capacidade ou pela especificidade da operação. Em função das culturas exploradas em um sistema de produção utilizado em uma determinada área, o número e tipo de máquinas são definidos podendo haver uma combinação de máquinas auto propelidas com aquelas acionadas pelos tratores.

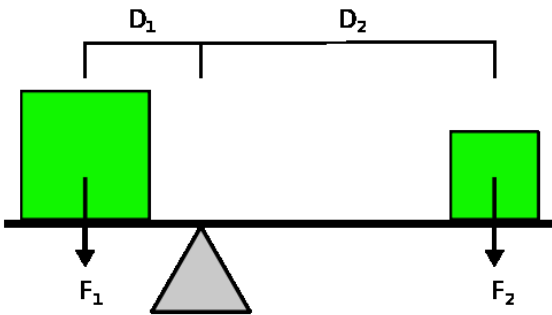
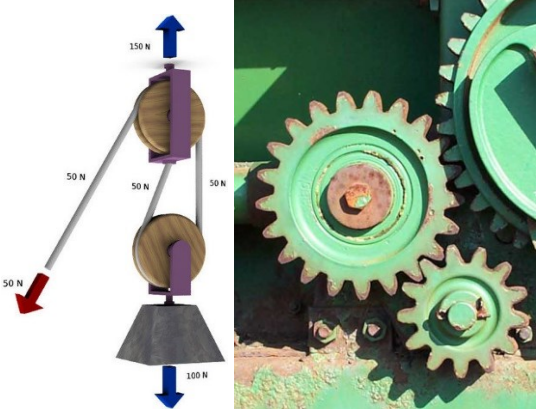
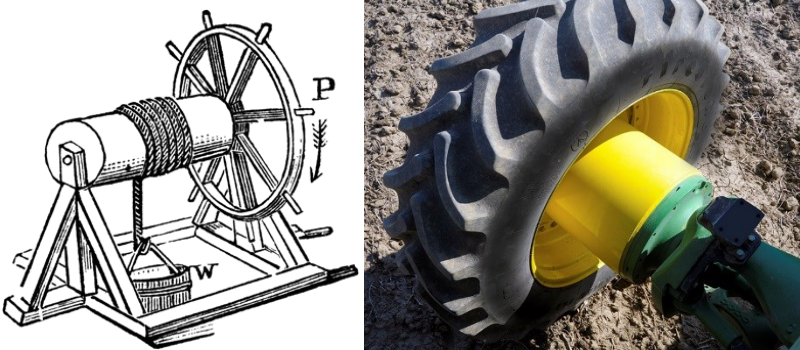
O controle das máquinas agrícolas durante as operações mecanizadas é realizado pelos operadores de máquinas. Os operadores devem compreender o funcionamento da máquina, suas opções de regulagens e a condição desejada sobre o objeto em que a máquina atua. O processo é dinâmico e tanto as condições dos objetos como do ambiente se alteram ao longo do tempo, requerendo controle e regulagens contínuas. Para que isto ocorra os operadores devem passar por treinamentos de formação, antes do uso de cada nova máquinas e de atualização, quando um tipo de máquina é trocado por outra mais avançada.

Ao comparar a condição que está sendo obtida durante a operação com uma condição de referência preestabelecida o operador procede às regulagens necessárias para adequar as máquinas ou decide quanto à interrupção da operação caso haja restrições que não possa controlar, como por exemplo aquelas climáticas.

Portanto a realização adequada de uma operação mecanizada tem por base a interação entre a máquina e o ambiente em que o trabalho se realiza, sendo controlada pelo operador. Os desenvolvimentos das máquinas no sentido de melhorar o posto de trabalho do operador e facilitar o seu controle sobre a máquina contribuem para elevar a sua eficiência.

Mecânica aplicada às máquinas agrícolas

A mecânica é a parte da física que estuda o comportamento de sistemas submetidos à ação de uma ou mais forças. Através de conceitos simples é possível compreender o funcionamento de diversas máquinas consideradas complexas. Os princípios de funcionamento da alavanca, da polia ou engrenagens e da roda com eixo são largamente empregados nas máquinas agrícolas por permitirem a alteração da direção e magnitudes quando uma força é aplicada.

Alavanca	
Polia e engrenagem	
Roda com eixo	

Análise funcional das máquinas agrícolas

As máquinas agrícolas possuem diversos componentes que operam em conjunto e como um sistema de modo a produzir um efeito desejado. Qualquer máquina, por mais simples que seja, pode ser subdividida em subcomponentes. Para facilitar a compreensão de como uma máquina trabalha é essencial considerá-la como uma coleção ou sistema composto por diversos subsistemas. De modo geral as máquinas agrícolas podem ser subdivididas em dois subsistemas, um sistema de apoio e um sistema de processamento. O sistema de processamento é composto por aqueles componentes da máquina que efetivamente realizam as funções para as quais a máquina se faz necessária. O sistema de apoio é composto pelas partes que auxiliam o sistema de processamento. Os sistemas de apoio podem ser categorizados como de suporte, de fonte de potência ou controladores.

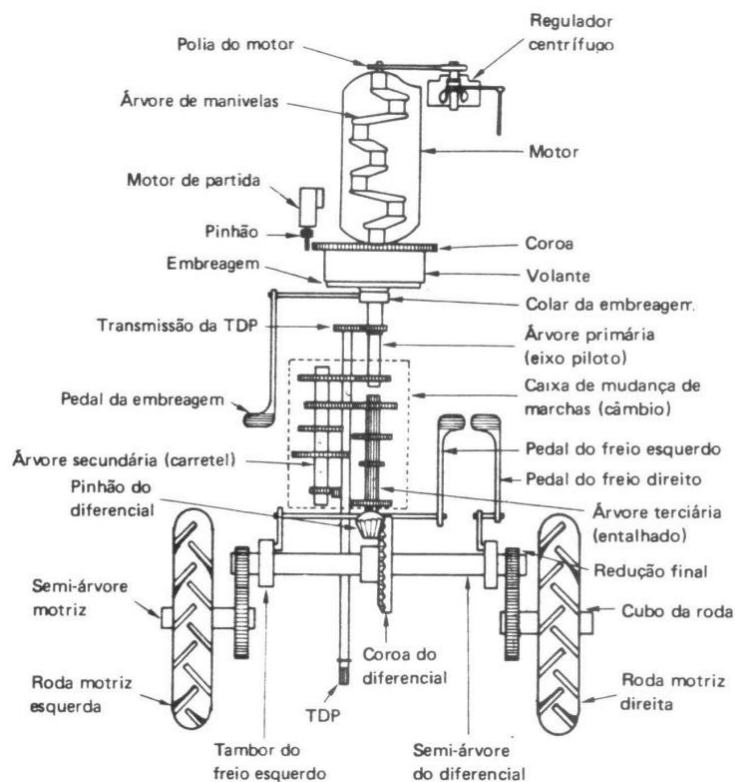


Figura 10 – Representação esquemática de um trator, uma máquina complexa que pode ser facilmente compreendida ao subdividir em seus diversos subsistemas. O motor é um componente do sistema de apoio, funcionando como fonte de potência. A transmissão é um subcomponente do sistema de apoio e permite controlar velocidade e força. Os rodados a TDP, a barra de tração e o sistema de acionamento hidráulico de implementos são considerados sistemas de processamento pois através deles o trabalho desejado é realizado.

Os sistemas de suporte consistem de todas as partes estruturais da máquina responsáveis por manter os componentes unidos de modo a funcionarem adequadamente. A fonte de potência fornece energia para que a máquina funcione. Máquinas auto propelidas contém a fonte de potência (motor) e o sistema de transferência da potência (transmissão) para o sistema de processamento. Outras máquinas não possuem a fonte de potência e utilizam como tal o trator. Ao serem tracionadas ou possuindo sistemas de transferência como correntes, correias, engrenagens e eixos transformam a potência fornecida pelo trator em movimento útil aos sistemas de processamento. O sistema de controle tem como o nome indica a função de exercer controle sobre o sistema de processamento podendo ser manual ou automático.

Uma maneira de compreender a operação realizada por uma máquina agrícola é a elaboração do fluxograma contendo os processos que ocorrem na máquina. Graficamente o fluxograma é formado pelas etapas sequenciais que ocorrem durante a passagem do material a ser processado através da máquina, ligados por uma linha. Alguns processos ocorrem totalmente no interior da máquina enquanto outros ocorrem externamente e requerem o deslocamento da máquina. Por exemplo, o deslocamento de uma enfardadora é necessário para a coleta do feno mas após este processo todos os demais ocorrem no interior da máquina. Quando um processo ocorre totalmente no interior da máquina ele é graficamente representado dentro de um círculo ou elipse e quando ocorre externamente em um retângulo. Para auxiliar na compreensão podemos comparar duas operações que utilizam equipamentos muito distintos:

No caso do **Arado de Aivecas**, implemento utilizado no preparo do solo, a condição inicial é a do solo compacto em uma camada contínua ao longo da área. A condição final desejada é a do solo solto, com inversão da camada que deve ser posicionada de forma regular ao longo da área. Para tanto, ao ser tracionado o arado se desloca para frente, o solo é cortado, erguido, rotacionado e depositado. Todos os processos dependem do deslocamento e ocorrem fora da máquina.



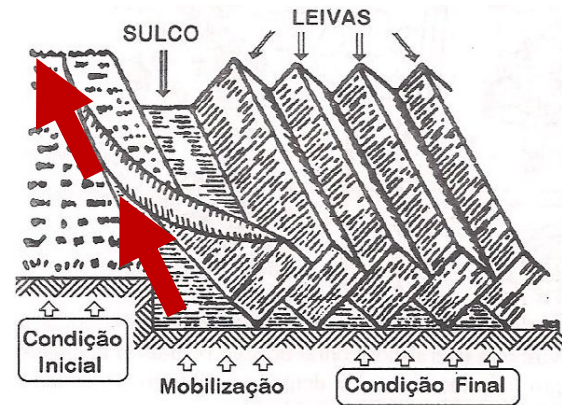


Figura 11 – Um arado de aivecas e a operação de aração, com o deslocamento do trator os órgãos ativos do implemento entram em contato do solo realizando o corte, elevação e inversão da camada de solo.

As **enfardadoras** são máquinas mais complexas com diversos processos ocorrendo, alguns externamente e outros internamente, conforme o fluxograma a seguir.



Figura 12 – Enfardadora e a operação de recolhimento e enfardamento de feno, parte dos processos ocorrem fora da máquina e parte em seu interior.

SUMÁRIO

Ao longo do processo de modernização da agricultura o uso da energia manual evoluiu para o uso de animais e para o uso de motores, com progressivo emprego de máquinas. Como fonte de energia e potência as máquinas motoras permitem a realização das operações agrícolas em intensidade muito superior, com menor desgaste do trabalhador e maior qualidade. Em pouco mais de um século, através do emprego das máquinas e de outros avanços a população global deixou de ser predominantemente rural para ser urbana e em muitos países menos de 5% da população é responsável pela produção de alimentos.

A necessidade de corresponder às demandas das plantas cultivadas exige a realização das operações em períodos curtos e cronologicamente definidos, sendo, entretanto, suscetíveis às variações climáticas. Alterações nos sistemas de cultivo para a incorporação da mecanização permitem elevar a escala de produção pela maior intensidade no uso da energia, e a produtividade, pela obtenção da pontualidade nas operações. As máquinas são desenvolvidas para se ajustar às condições exigidas pelas culturas mas para que seu uso seja econômico devem apresentar dimensões adequadas, opções de regulagens que permitam versatilidade no uso e reduzido consumo de combustível.

As máquinas agrícolas podem ser auto propelidas ou acionadas por outras máquinas e a eficiência na utilização da energia química disponível no combustível é baixa, devendo haver uma criteriosa seleção dos equipamentos em função dos sistemas de produção, concorrendo para isto a compreensão dos conceitos de mecânica e mecanização.

O sucesso no uso das máquinas passa pela sua operação adequada, para a qual é necessário um trabalhador capacitado. Os postos de trabalho das máquinas e os dispositivos através dos quais os operadores controlam as máquinas tem efeito sobre seu desempenho.

As máquinas se desgastam e requerem manutenções para prevenir paradas ou para corrigir problemas.

No estudo das máquinas agrícolas é conveniente que se subdividam as mesmas em subsistemas, que operam em conjunto para a realização da ação desejada.

VOCABULÁRIO

AJUSTAGENS – variações, dentro de limites estreitos, de características mecânicas dos órgãos e componentes das máquinas visando corrigir o efeito de eventuais erros no processo de fabricação, realizadas durante a montagem e no preparo da máquina antes da operação.

EFICIÊNCIA – expressa em termos percentuais, reflete a razão entre duas grandezas de mesmas unidades sendo utilizada para expressar a eficiência de um processo como por exemplo a conversão de energia de um motor (energia química do combustível/energia mecânica útil) ou do uso do tempo disponível para realizar uma operação (tempo trabalhado/tempo disponível).

FERRAMENTA – implemento em sua forma mais simples, entra em contato direto com o material trabalhado, acionado por uma fonte de potência qualquer. Constitui a parte ativa de implementos ou máquinas.

FONTE DE POTÊNCIA – componente de uma máquina ou de um sistema mecanizado responsável pelo fornecimento de energia mecânica para o acionamento dos subsistemas responsáveis pelo processamento. Máquinas auto propelidas possuem a própria fonte de potência enquanto as demais dependem de outras fontes sendo a mais utilizada o trator.

IMPLEMENTO – conjunto constrangido de órgãos que não apresentam movimentos relativos nem têm capacidade para transformar energia. Seu único movimento é o de deslocamento, normalmente imprimido por uma máquina motora.

MÁQUINA – conjunto de dois ou mais órgãos constrangidos em seus movimentos por obstáculos fixos e de resistência suficiente para transmitir o efeito de forças e transformar energia. Ou ainda: dispositivo ou conjunto mecânico consistindo de dois ou mais componentes unidos, que é energizado por uma fonte de potência para transmitir e ou modificar força e deslocamento com objetivo de realizar determinado tipo de trabalho.

MAQUINA AGRÍCOLA – máquina projetada especificamente para realizar integralmente ou auxiliar na realização das operações agrícolas.

MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA – Emprego de um conjunto de máquinas, implementos e ferramentas, de forma técnica e economicamente organizada, para a execução das tarefas exigidas nos sistemas de produção agrícola. Permite a obtenção da produção com o menor dispêndio de recursos financeiros, humanos e energéticos no tempo disponível.

MOTOR – máquina desenhada para converter uma determinada forma de energia em energia mecânica

PRODUTIVIDADE – Relação entre a produção e os fatores de produção utilizados. A produção é definida como os bens produzidos. Os fatores de produção são definidos como pessoas, máquinas, materiais e outros. Quanto maior for a relação entre a quantidade produzida por fatores utilizados maior é a produtividade. Na agricultura usualmente se utiliza produção por área (quilogramas/hectare), produção por animal (quilogramas/carcaça), produção por trabalhador.

REGULAGENS – variações, em limites amplos, de características mecânicas dos órgãos e componentes das máquinas visando sua adequação às condições de operação. Quanto maior o número e amplitude das regulagens mais versátil é a máquina e melhor seu desempenho operacional.

SISTEMA – Um todo formado da combinação de partes interligadas formando um conjunto organizado mais complexo

SISTEMA AGRÍCOLA – Organização regional dos diversos sistemas de produção. Modelos e arranjos produtivos que descrevam da forma mais acurada possível os sistemas de produção predominantes em uma região.

SISTEMA DE CULTIVO – Práticas comuns de manejo associadas a uma determinada espécie vegetal, visando sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de recursos atividades e operações. No caso da produção animal esse processo é chamado de sistema de criação.

SISTEMA DE PRODUÇÃO – Conjunto de sistemas de cultivo e ou de criação no âmbito de uma propriedade rural, definidos a partir dos fatores de produção e interligados por um processo de gestão. A produção agrícola pode ser compreendida como um processo composto por atividades organizadas cronologicamente e dependentes umas das outras.

Questões para estudo:

1. Ao analisar a participação do custo de mecanização no custo de produção nota-se que há grande variação para as mesmas culturas quando as regiões são distintas. Também se nota que para algumas culturas o valor é mais elevado que para outras. Em sua opinião quais são os motivos para que isto ocorra?
2. Considerando que para a colheita e processamento manual de 1 m² de uma lavoura de soja sejam necessários 30 segundos de um trabalhador, quantos trabalhadores seriam necessários para realizar a colheita na intensidade média apresentada no gráfico de colheita de soja no Mato Grosso em 2015? Considere que o dia tenha uma jornada de trabalho de 8 horas ininterruptas.
3. Em sua opinião, como o uso das máquinas agrícolas mudou a produção agropecuária?
4. Estime o valor de algumas máquinas agrícolas: trator, colhedora, pulverizador, semeadora.
5. Quantos litros de combustível são utilizados pelas máquinas agrícolas para produzir uma tonelada de cana-de-açúcar?
6. Você recebeu uma consulta para a aquisição de um trator. Como seria a sua recomendação?

Respostas:

- 1) A posse de máquinas agrícolas implica em investimentos expressivos e caso sua capacidade de trabalho não seja utilizada os custos fixos se elevam. Culturas como a soja e o milho cultivadas na região sul do país geralmente encontram-se em unidades de produção menores que aquelas na região Central. O clima mais úmido também exige que as operações sejam realizadas em curtos períodos, com alta intensidade, portanto com máquinas de maior capacidade o que acaba por elevar o custo de mecanização. Em função do tipo de cultura são necessárias operações com maior requerimento de potência, como é o caso da cultura da cana-de-açúcar, na qual se realiza preparo do solo e cuja produção de elevada biomassa requer muitas máquinas. O dimensionamento, planejamento e gerenciamento dos sistemas mecanizados são fundamentais e serão estudados na disciplina LEB0432.
- 2) Para cada hectare seriam necessários: $10.000 \text{ m}^2 \times 30 \text{ s} = 300.000 \text{ s}$ de cada trabalhador, ou seja $300.000 \text{ s} / 3.600 = 83,3$ horas. Na colheita de 78.000 ha de soja em um dia seriam necessários: $78.000 \text{ ha} \times 83,3 \text{ horas} = 6.497.400 \text{ horas}$. Considerando uma jornada de 8 horas por trabalhador: $6.497.400 \text{ h} / 8 \text{ horas por trabalhador} = 812.175$ trabalhadores, aproximadamente 2,7 vezes a população de Piracicaba ou 1,5 vezes a população de Cuiabá, a capital do Estado de Mato Grosso!
- 3) Ao analisar o acréscimo de produção no Brasil ao longo dos últimos 40 anos nota-se que houve elevação expressiva da área e recentemente elevação da produtividade. Simultaneamente o País deixou de ser rural e passou a ser urbano. Tais avanços não seriam possíveis sem elevar a produtividade das pessoas responsáveis pela produção. As máquinas agrícolas foram componente fundamental neste processo.
- 4) O valor das máquinas motoras como o trator e as colhedoras é geralmente proporcional à potência disponibilizada passível de ser convertida em trabalho útil, há entretanto oscilações em função da tecnologia incorporada em cada equipamento. Em 2016, tratores de pequeno porte, como os microtratores apresentam valor próximo a R\$15.000 e os de maior potência podem passar dos R\$600.000. Colhedoras são máquinas complexas, realizando diversos processos simultaneamente, uma colhedora de grãos auto propelida de pequeno porte tem valor próximo a R\$200.000 ao passo que aquelas com maiores dimensões podem passar de R\$800.000,00. Colhedoras para algodão e de cana de açúcar tem valor acima de R\$1.500.000,00.
- 5) O consumo de combustível para a produção das culturas oscila em função do número e do tipo de operações mecanizadas necessárias. As operações requerem quantidades distintas de energia. O somatório da quantidade de combustível de todas as operações realizadas para a unidade de área fornece uma estimativa importante, mas não é o melhor indicador para expressar a eficiência no uso deste recurso para a produção. No caso da cana de açúcar

são comuns produtividades de 70 a 100 t ha⁻¹ e o consumo por área pode oscilar desde 100 Lha⁻¹ até 210 L ha⁻¹, perfazendo valores médios ao redor de 1,5 L t⁻¹ de cana produzida.

Referências

"Agricultural Machinery." Dictionary of American History. 2003. Acessado em 6 de janeiro de 2016 <<http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-3401800060.html> >

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na Agricultura**. Vol. I e II. EDUSP, 1980, 289 e 367p., respectivamente.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKMASTER, D. R. **Engineering principles of agricultural machines**. 2 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006, 588 p.

Tendências demográficas: uma análise dos resultados da amostra do censo demográfico 2000 / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - **Série: Estudos e pesquisas. Informação demográfica e socioeconômica**, ISSN 1516-3296. <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4889.pdf>