

DESEMPENHO OPERACIONAL E ECONÔMICO DE SISTEMAS MECANIZADOS AGRÍCOLAS

Prof. M. Milan - Departamento de Engenharia Rural- ESALQ-USP

macmilan@esalq.usp.br

1- INTRODUÇÃO

O setor agrícola tem se deparado com um rápido aumento nos custos dos insumos o que ocasiona a redução na rentabilidade do negócio. Uma análise crítica dos custos envolvidos e a definição das prioridades para minimizá-los, sem que isso afete a produtividade das culturas, é uma forma de se evitar a perda da rentabilidade. O sistema mecanizado agrícola, conjunto de equipamentos, máquinas e implementos que realizam os processos de implantação, condução e retirada das culturas comerciais, pode ser considerado como um ponto estratégico para se atuar na redução dos custos pois ele pode representar, dependendo da cultura, de 20 a 40% dos custos de produção.

O planejamento de um sistema mecanizado é considerado como um problema complexo envolvendo conhecimentos da área biológica, engenharia e da economia. Um sistema deve atender as necessidades de implantação, condução e retirada da cultura, estando sujeito à influência de fatores externos como o solo e o clima. Se o planejamento for efetuado de maneira restrita ele pode melhorar o desempenho de uma ou mais operações, mas isso não implica que essa melhoria seja refletida no total. O planejamento e a seleção podem ser realizados de diversas formas, devendo abranger, basicamente, o dimensionamento e a seleção dos equipamentos, máquinas e implementos, e a previsão dos custos que o sistema representará para a atividade agrícola.

A partir do início da década de 1980 e, ao longo dela, os modelos de planejamento e seleção de sistemas mecanizados tiveram um desenvolvimento muito grande com o advento do uso dos microcomputadores. Esse desenvolvimento pode ser atribuído à capacidade de processamento dos microcomputadores e a possibilidade de se estabelecer interações entre as inúmeras variáveis envolvidas. A relativa facilidade para a estruturação e a rapidez dos cálculos, permitindo realizar várias simulações em curto espaço de tempo, tornaram-se um atrativo para a

aplicação na área de pesquisa e também na atividade diária, embora com muito menos de ênfase para esse última.

O desenvolvimento de um modelo computacional é realizado, basicamente, pela construção de um algoritmo, seqüência de instruções logicamente dispostas, onde são dispostos os conceitos e relações que envolvem o problema. O algoritmo é transformado no programa, codificando-se as instruções de acordo com as instruções da linguagem a ser utilizada, permitindo ao computador interpretar a seqüência de cálculos e decisões. O programa é então verificado quanto a erros, durante e após a sua construção, e validado. Uma das maneiras de se validar é comparar os resultados com os dados reais de uma situação, quer seja no resultado final ou ao longo das etapas intermediárias do programa. Após a verificação e validação o modelo passa a ser utilizado para realizar as simulações que permitem avaliar o problema sob diversas maneiras e dentro das condições de contorno impostas pelo algoritmo.

Neste capítulo apresentam-se alguns conceitos básicos empregados no desenvolvimento de algoritmos de planejamento e seleção de sistemas mecanizados, uma revisão sobre o estado da arte das pesquisas realizadas na área e a apresentação e discussão dos trabalhos desenvolvidos pelo autor deste documento, em parceria ou individualmente.

2- CONCEITOS BÁSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS PARA O PLANEJAMENTO E SELEÇÃO DE SISTEMAS MECANIZADOS.

A estruturação de um algoritmo, a ser utilizado na a seleção e dimensionamento de sistemas mecanizados, pode ser realizada em etapas que devem ser interligadas para a obtenção dos resultados desejados. Dentro desse conceito de etapas, a adaptação da metodologia originalmente proposta por Mialhe (1974), Figura 1, é uma alternativa para o desenvolvimento de um algoritmo para a seleção e o dimensionamento de sistemas mecanizados.

Na Figura 1, o processo se inicia pela necessidade em adquirir as máquinas (1) para atender uma nova área agrícola ou expansão, ou para a substituição, parcial ou total, da frota atual. A etapa seguinte é denominada de análise operacional que consta do levantamento das operações a executar (2) e a definição da época prevista para a realização das mesmas (3), prazo inicial e o final. Na etapa de planejamento para a seleção define-se o tempo disponível (4) para cada operação, calcula-se o ritmo operacional necessário (5) e a estimativa do número de

conjuntos¹ (6). A estimativa do número de conjuntos é calculada com base no ritmo operacional, quantidade de trabalho a ser realizada, e na capacidade de trabalho (7), quantidade de trabalho (8) que pode ser realizada pela máquina na unidade de tempo (9) levando-se em conta a eficiência (10). A eficiência depende do equipamento e das condições de operação. A quantidade de trabalho e o tempo para realizar a operação têm estreita ligação com a potência disponível e requerida (11). No mercado existem diferentes opções de marcas e modelos de máquinas agrícolas que podem ser selecionadas para atender a demanda. A associação da capacidade operacional com os custos diretos e indiretos (12) determina o custo operacional (13). O número de conjuntos requeridos, com as suas especificações técnicas, e a análise do custo operacional compõe o cenário básico para a decisão da aquisição do sistema mecanizado (14) ou da necessidade de reavaliação das alternativas para o sistema de produção e /ou das máquinas agrícolas selecionadas.

¹ Associação entre uma fonte de potência, trator, e o implemento ou máquina.

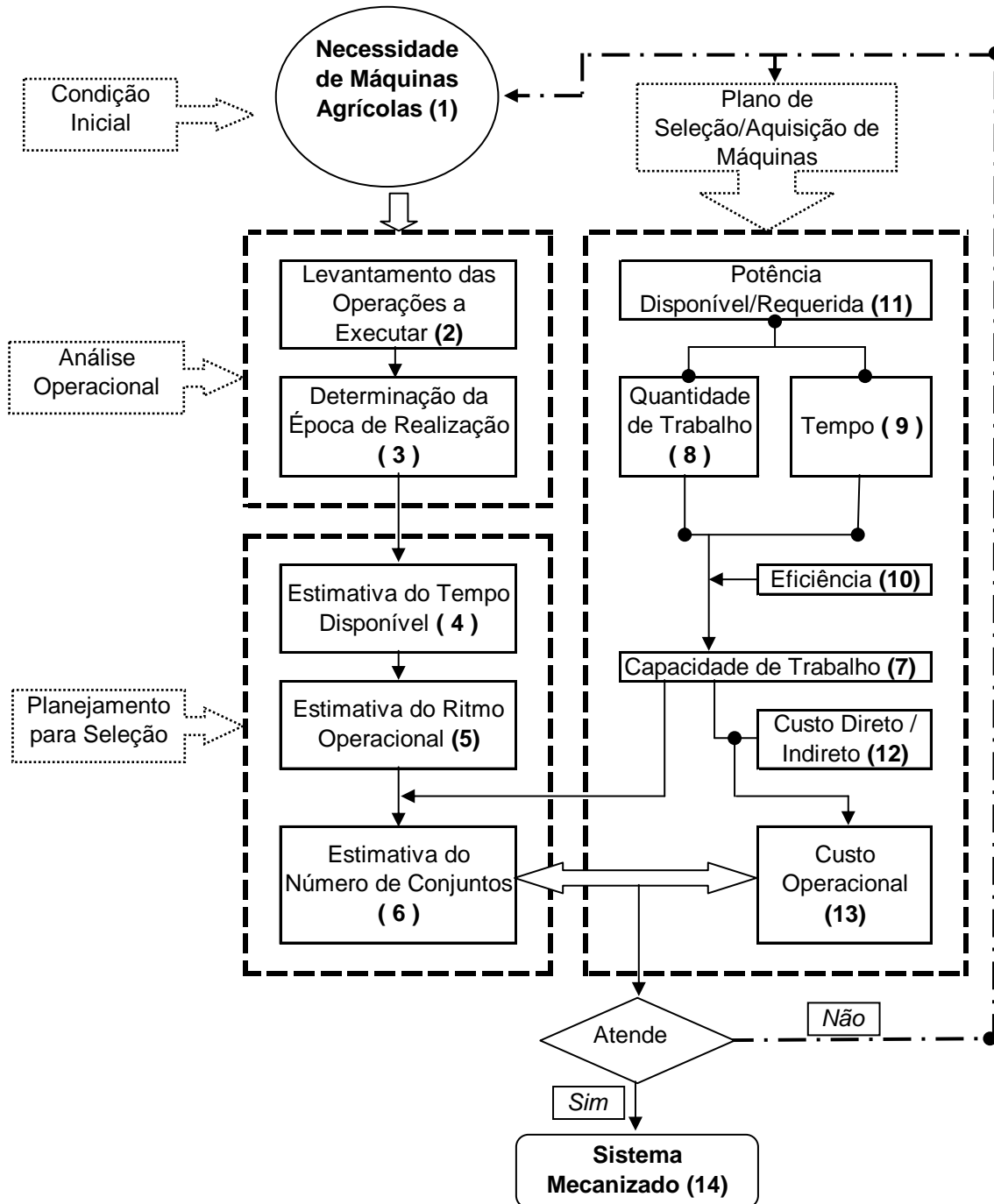


Figura 1- Fluxograma de um processo geral para a construção de um algoritmo para a seleção de um sistema mecanizado agrícola. (Adaptado de Mialhe 1974)

2.1.- Análise operacional

A análise operacional é a base para a definição do sistema de produção a ser adotado para atender as características e necessidades da propriedade. O sistema de produção pode ser entendido como um conjunto de práticas agrícolas sequenciais que viabilizam a produção de uma cultura. As práticas devem ser adequadas para a preservação do ambiente e permitindo com que as metas empresariais, qualitativas e quantitativas, sejam atingidas. Se for adotado o plantio direto ou o preparo convencional, se for uma cultura perene ou anual, se o clima e o solo são favoráveis ao desenvolvimento de uma determinada variedade, são fatores que dependem da análise realizada pelos técnicos responsáveis pelo empreendimento. Uma das formas de apresentação dos resultados é através do Gráfico de Gantt., Figura 2.

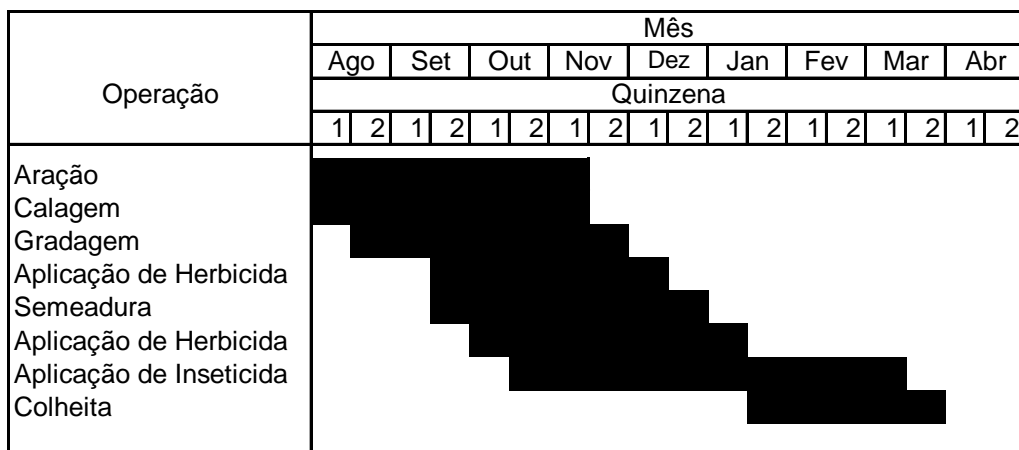


Figura 2- Análise operacional, operações a serem executadas e época de realização, para um sistema de produção hipotético.

O gráfico apresentado na Figura 2, fornece as datas e as operações a serem realizadas. O que o caracteriza é que nele o trabalho a ser executado e a sua relação com o tempo é mostrado no mesmo espaço. O conceito do gráfico foi desenvolvido durante a Primeira Grande Guerra por Henry L. Gantt, um dos pioneiros da administração científica, e que até os dias atuais vem sendo aplicado nas mais diversas áreas, da indústria à agricultura.

2.2- Planejamento para a seleção

No planejamento para a seleção utiliza a análise operacional, onde foram definidas as operações e as épocas de realização, para o cálculo do número de conjuntos. É necessário estimar o tempo disponível que são as horas que a máquina pode trabalhar em função das condições edafo-climáticas, cultura e do regime de trabalho adotado. O tempo disponível associado a área a ser trabalhada, fornece o ritmo operacional que expressa a quantidade de trabalho a ser realizado na unidade de tempo.

2.2.1- Estimativa do tempo disponível

O tempo disponível para a realização das operações agrícolas depende basicamente do número de dias totais reservados para a operação, dos dias de descanso e impróprios para o trabalho das máquinas e da jornada de trabalho, equação 01, adaptada de Mialhe (1974):

$$TD = \{ [Nt - (Ndf + Nimp)] \times (Jt \times Eg) \} \quad (01)$$

Em que: TD é o tempo disponível para realizar cada operação em horas;

Nt é o número de dias contido no período determinado para a realização da operação;

Ndf é o número de domingos e feriados, quando respeitados, existentes no período;

Nimp é o número de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas;

Jt é a jornada de trabalho adotada em horas;

Eg é a eficiência gerencial ou administrativa.

A jornada de trabalho (Jt) e os dias de descanso remunerados (Ndf) devem estar de acordo com o sistema de trabalho da propriedade, mas não deixando de levar em conta a legislação vigente. É importante ressaltar que a grande dificuldade para o planejamento do número de conjuntos está relacionada com a estimativa do número de dias impróprios - Nimp.

a)- Numero de dias impróprios

O clima e a umidade do solo são os dois fatores que determinam o número de dias disponíveis, e conseqüentemente dos dias impróprios, de trabalho da maquinaria ao longo do ano. A variabilidade climática traz consigo as incertezas para o dimensionamento dos equipamentos necessários. As alternativas encontram-se entre dimensionar a frota para atender as condições mais críticas, o que traz como conseqüências a pouca utilização em anos normais e, conseqüentemente, aumento nos custos ou dimensionar para os anos favoráveis, reduzindo o investimento e aumentando o retorno mas aumentando os riscos de perdas da cultura por não se realizar as operações dentro dos prazos estipulados.

O fator mais considerado para o calculo dos dias disponíveis é aquele que se refere a traficabilidade das máquinas agrícolas e a sua operacionalidade, principalmente para as operações de preparo do solo. Existem outros fatores que influenciam na realização ou não das operações dentre eles os mais importantes referem-se às operações de colheita e pulverização. No caso da colheita, além da umidade do solo, a umidade relativa do ar interfere na realização, como é o caso da colheita de soja. Para a pulverização, a velocidade do vento e a temperatura ambiente podem limitar a aplicação principalmente pela evaporação e deriva do produto. Um outro fator ligado mais a qualidade da operação do que à traficabilidade refere-se à falta de umidade como é o caso das operações de preparo do solo. Se a semeadura for realizada em condições desfavoráveis de ausência de umidade adequada no solo, haverá prejuízo para a germinação da cultura e conseqüentemente para a produtividade.

Para o calculo dos dias impróprios, Mialhe (1974) utilizou-se do critério de seca agrônômica originado da irrigação. O autor discute que quando o solo está em capacidade de campo existe restrição ao trabalho das máquinas e em seca agrônômica, fora da capacidade de campo, o trabalho pode ser realizado. No caso o critério não abordou as restrições referentes à falta de umidade do solo, ventos ou umidade relativa do ar.

Os dias úteis impróprios representam o ponto crucial de todo o processo de modelagem e a importância do tema justifica, segundo a opinião do autor deste trabalho, o desenvolvimento de linhas de pesquisa voltadas para essa área. Poucos trabalhos de pesquisa no país se preocupam com o fato, podendo ser citado o trabalho de De'Carli (1994) que utiliza o balanço hídrico para

estabelecer níveis críticos de armazenamento de água para a traficabilidade de máquinas e colheita de cereais.

b)- Eficiência de gerenciamento

A eficiência de gerenciamento ou administrativa pode ser interpretada como um fator de correção para a jornada de trabalho da empresa. Embora previsto que a jornada deva durar um determinado número de horas as perdas de tempo associadas a falhas administrativas concorrem para a redução dessa jornada. Atrasos na entrega de insumos ou no reparo das máquinas, tempos desperdiçados pelo operador, erros na alocação de máquinas compõe alguns dos fatores associados à eficiência de gerenciamento, não podendo ser atribuídos às máquinas.

2.2.2- Estimativa do ritmo operacional

Definido o tempo disponível a próxima fase é o cálculo do ritmo operacional (RO), que vem a ser a razão entre a quantidade de trabalho a ser realizado dentro do tempo disponível para cada operação e calculado como:

$$RO = \frac{At}{TD} \quad (02)$$

Em que: RO é o Ritmo operacional em ha.h⁻¹;

At é a área a ser trabalhada em hectares (ha).

Até esse ponto definiu-se o sistema de produção, as operações e épocas de realização de cada uma. A somatória do ritmo operacional mensal, semanal ou diário, estabelece a quantidade total de trabalho a ser realizada no período de tempo adotado para cada operação e conjunto mecanizado.

2.2.3- Número de Conjuntos

A próxima fase é a determinação do número de conjuntos ou máquinas necessárias para atender as operações dentro do tempo disponível que é calculado como:

$$NC = \frac{RO}{CT} \quad (03)$$

Em que: NC é o número de conjuntos;

CT é a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas (ha.h^{-1}).

A capacidade de trabalho é a razão entre a quantidade de trabalho realizada pela máquina ou conjunto na unidade de tempo. A razão entre a quantidade de trabalho a realizar, ritmo operacional, e a capacidade de trabalho determina o número necessário de conjuntos ou máquinas para a realização da operação.

2.3- Seleção e Aquisição de Máquinas.

O processo de seleção e aquisição de máquinas agrícolas pode ser analisado sobre vários aspectos, desde a preferência pessoal passando pela recomendação prática e conceitualmente através do dimensionamento técnico e o econômico. No dimensionamento técnico o que se busca é especificar as características das máquinas que vão atender às necessidades exigidas pelo sistema de produção e o econômico avalia os custos envolvidos, ponto fundamental para o cálculo do retorno da atividade. O dimensionamento técnico envolve basicamente a determinação da capacidade de trabalho e da potência necessária para a realização das operações e o econômico o cálculo do custo por unidade trabalhada, área ou do produto.

2.3.1- Capacidade e eficiência da maquinaria agrícola

O planejamento e o controle adequado dos sistemas mecanizados exigem informações adequadas com relação à capacidade de trabalho o que nem sempre é possível. Enquanto que em outras áreas da engenharia como, por exemplo, na área mecânica, o desempenho dos equipamentos pode ser obtido com razoável grau de precisão, nas atividades agrícolas isso nem sempre é possível. Fatores como topografia, tipo de solo, clima, variações no material a ser trabalhado interferem na capacidade de trabalho e conseqüentemente no planejamento dos sistemas.

Segundo Hunt (1973) a capacidade quando expressa somente como a razão entre a área pelo tempo despendido pode não ser um indicador adequado para avaliar o desempenho de equipamentos agrícolas. No caso das colhedoras as diferenças de produtividade da cultura afetam a capacidade de trabalho. Para as máquinas que operam com a separação de material, como é o caso das beneficiadoras, o interesse é na quantidade de material separado pela unidade de tempo.

A análise da capacidade de trabalho das máquinas agrícolas pode ser realizada de acordo com as características das operações sendo classificadas de acordo com Mialhe (1974) em capacidade: de campo; de produção; de manipulação. A capacidade de campo, é aplicada a máquinas e implementos que, para executarem uma operação agrícola, devem se deslocar cobrindo uma determinada área. A capacidade de produção é relacionada com máquinas cujo trabalho é medido em termos de volume ou massa de produto por unidade de tempo enquanto que a capacidade de manipulação está associada com a separação de materiais. A capacidade de campo é dividida em capacidade de campo teórica, efetiva e operacional sendo que o mesmo conceito pode ser aplicado à capacidade de manipulação e de produção. Segundo o autor a capacidade de campo teórica pode ser calculada como equação 04:

$$CcT = Lc \times vd \quad (04)$$

Em que: CcT= Capacidade de campo teórica;

Lc= Largura de corte teórica da máquina

vd= velocidade de deslocamento teórica da máquina

A capacidade de campo efetiva, é calculada de acordo com a equação 05:

$$CcE = \frac{At}{Tp} \quad (05)$$

Em que: CcE= Capacidade de Campo Efetiva

At= Área trabalhada

Tp= Tempo de produção

A capacidade de campo operacional, é calculada de acordo com a equação 06:

$$CcO = \frac{At}{TM} \quad (06)$$

Em que: CcO= Capacidade de campo operacional

TM=Tempo máquina.

O tempo máquina calculado como a somatória dos tempos de preparação, interrupção e de produção:

$$TM = TP + TI + TPr \quad (07)$$

Em que: TP= Tempo de produção

TI= Tempo de Interrupção

TPr= tempo de preparo

Define-se o tempo de preparo (TPr) como o tempo consumido no preparo da máquina para entrar em operação e para deixá-la em condições de ser armazenada no galpão após a operação e envolvendo os tempos de: acoplamento, desacoplamento, deslocamento para a área de trabalho, regulagens para entrar e limpeza após a operação, controle e manutenção. Já o tempo de interrupção (TI) é aquele gasto em interrupções decorrentes do próprio trabalho da máquina quando em operação em campo, envolvendo: manobras de cabeceira, desembuchamentos, ajustes em operação reabastecimento e descarga de produtos. O tempo de produção (TP) é aquele efetivamente consumido no trabalho para o qual a máquina foi projetada.

A ASAE (1998a) define como capacidade teórica de campo quando uma máquina está desenvolvendo a função para a qual foi projetada, a uma dada velocidade e usando toda a sua largura teórica. Já a capacidade de campo efetiva é calculada como a razão entre a área ou cultura processada pela unidade de tempo. A eficiência de campo é definida como a razão entre a capacidade efetiva e a teórica. Balastreire (1987) adota o mesmo critério da ASAE para definir a capacidade de trabalho das máquinas agrícolas

Witney (1988) define a capacidade das máquinas em termos muito semelhantes aos apresentados por Mialhe (1974) e pela ASAE (1998a): “área capacity”; “throughput capacity” e “total throughput capacity”. A primeira relacionada com área, a segunda ligada ao produto e a terceira em termos do fluxo de material que passa pela máquina respectivamente.

As definições apresentadas têm como foco principal a análise do desempenho da máquina mas, para o planejamento, muitas vezes é interessante avaliar as capacidades / eficiências envolvidas que incluam os aspectos administrativos / gerenciais e climáticos como é o caso da proposta apresentada na Figura 4 por Witney (1998).

A capacidade instantânea refere-se ao tempo em que a máquina está realizando a operação para a qual foi projetada. A capacidade total seria aquela em que o tempo considerado leva em conta as manobras, abastecimentos e regulagens que embora não façam parte da operação, são necessárias para que a máquina opere. Já a capacidade safra é aquela em que estão incluídos outros tempos que não dependem da operação em si, mas mais voltados a administração e gerenciamento do sistema. A de calendário inclui os tempos referentes às condições climáticas, de solo e da cultura e que em geral não podem ser controladas.

O trabalho de Gonçalves et al (1993) discute, de uma forma muito apropriada, uma metodologia para análise de tempos e eficiências das máquinas agrícolas sob um enfoque sistêmico e gerencial. Os autores definem os tempos em produtivos, acessórios, auxiliares, inatividade e perdidos. O tempo produtivo é aquele associado à máquina quando ela está efetivamente realizando a operação para a qual foi projetada. O tempo acessório corresponde aos tempos ativos da máquina despendidos com funções auxiliares obrigatoriamente exigidas pelas operações, ex. manobras, e o auxiliares relacionado com tempos obrigatórios mas não ativos, ex. abastecimento de insumos. O tempo inativo é aquele associado às condições ambientais que impedem o trabalho da máquina e os perdidos são associados à administração e gerenciamento. Com esses tempos é possível avaliar as eficiências das máquinas, desde àquelas referentes somente ao trabalho até as que definem o aproveitamento da máquina ao longo das 24 horas do dia.

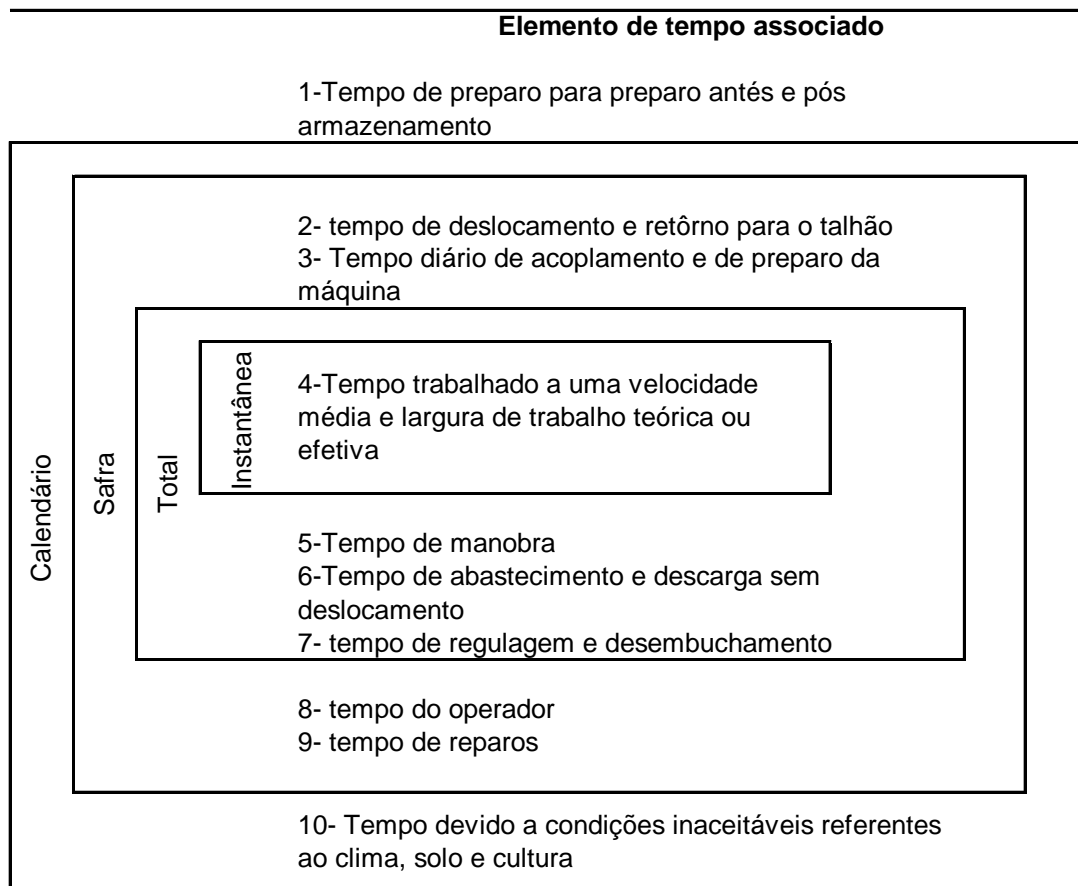


Figura 4- Tempos associados às diferentes capacidades de trabalho. Adaptado de Witney (1988)

O número de conjuntos necessários para cada operação e época é calculado através da equação 08:

$$NC = \frac{RO}{CcO} \quad (8)$$

Em que: NC é o número de conjuntos

Nesse ponto é interessante se estabelecer uma analogia entre a Figura 4 e a equação (8). Na equação, no cálculo do ritmo operacional, razão entre a área a ser trabalhada e o tempo disponível, está incluído a influência do clima através do número de dias úteis impróprios (Nimp) e as perdas referentes aos problemas administrativos, através da eficiência de gerenciamento

(Eg). No cálculo da capacidade de campo operacional incluem-se os fatores de tempo associados à máquina. Na Figura 4, o tempo disponível está representado no tempo associado ao calendário, o administrativo no referente à safra e os tempos da máquina nos tempos associados ao total e instantâneo.

A capacidade de campo operacional de um conjunto trator implemento / máquina está intrinsecamente relacionado com a potência disponível pelo trator. Basicamente é a potência quem vai determinar as características como, por exemplo, a velocidade e profundidade de trabalho e a largura ou número de hastes do implemento/máquina, Como a profundidade de trabalho está associada às necessidades da cultura e a velocidade de trabalho à qualidade da operação, a seleção do conjunto, de um modo simplificado, deve definir as características do implemento a partir da potência do motor ou ao contrário, das características do implemento obter-se a necessidade de potência

2.3.2- *Potência Disponível (PDBT) e Requerida (PRBT) na Barra de Tração*

Um dos pontos fundamentais do planejamento refere-se ao cálculo da potência fornecida pelo trator agrícola na barra de tração (PDBT) e a potência exigida na barra de tração pelo implemento (PRBT), com o objetivo de obter o conjunto mais adequado para a realização das operações. Segundo Molin e Milan (2002) existe uma grande quantidade de fatores que interferem na capacidade de tração de um veículo e considerando-se que o trator que opera sobre o solo agrícola, esse número de variáveis aumenta. De acordo com os autores, dos modelos utilizados para a determinação da potência disponível na barra de tração de tratores o mais simplificado pode ser considerado o proposto pela ASAE (1998a). Esse modelo tem origem na regra do .86 (“thumb rule”) proposta por Bowers (1978), Figura 5.

Na Figura 5 observa-se que a partir da potência bruta do motor obtém-se a potência disponível na tomada de potência (TDP) computando-se as perdas relativas aos órgãos internos. A partir da TDP as perdas são computadas com base no dispositivo de tração (pneu ou esteira) e suas características - 4X2, 4x2 TDA, 4x4 - e de acordo com a condição da superfície. A discussão e análises referentes à realização de ensaios oficiais e em solo agrícola podem ser obtidas em Mialhe (1996).

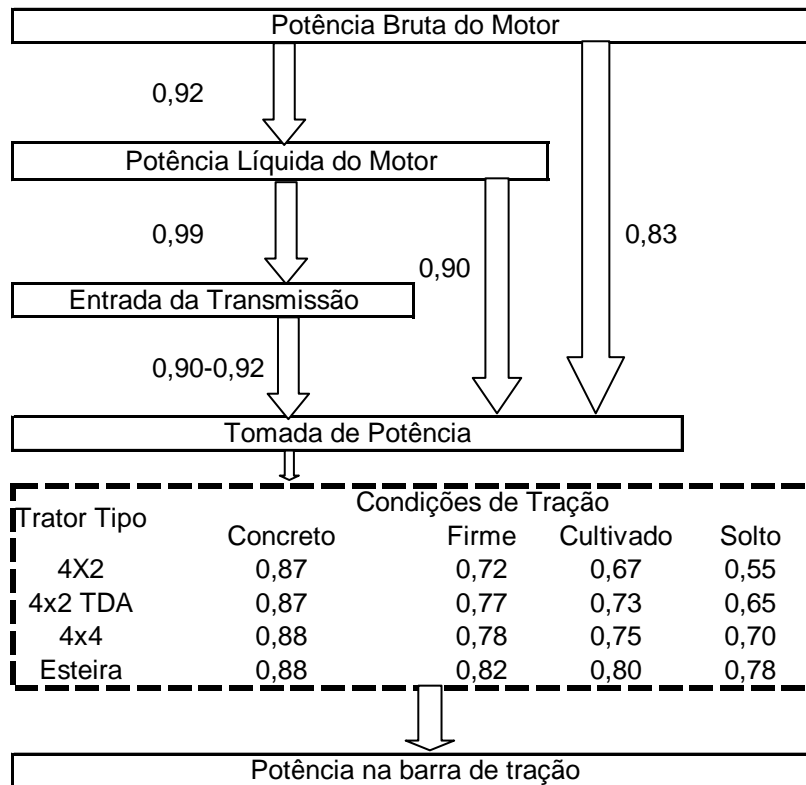


Figura 5- Esquema para determinação da potência disponível na barra de tração. Fonte ASAE (1998b)

Determinada a potência disponível na barra de tração (PDBT) torna-se necessário o cálculo o da potência requerida na barra de tração (PRBT) pela máquina ou implemento para a verificação da possibilidade de acoplamento. A potência requerida (PRBT) pode ser obtida através das relações propostas pela ASAE (1998b), apresentadas na integra no Anexo A, através de um modelo genérico, equação 9.

$$Ft = \{Si \times [A + B \times v + C \times ve^2] \times L \times h\} \quad (09)$$

Em que: Ft é a força de tração requerida para tracionar a máquina ou implemento (N);

Si é um fator adimensional referente a textura do solo;

A,B,C, são parâmetros específicos para cada grupo de máquinas agrícolas;

ve é a velocidade efetiva (real) da operação em km h⁻¹;

L é a largura de trabalho (m ou número de hastes);

h é a profundidade de trabalho (cm).

A potência exigida é calculada através da equação 10:

$$P = Ft \times ve \quad (10)$$

Em que: P é a potência requerida em watts (W);

Ft é a força de tração obtida na equação 9.

Portanto a seleção do trator e implemento tem de atender a relação apresentada na Figura 6. A associação entre a potência disponível e a requerida permite o dimensionamento teórico do conjunto trator e implemento. O dimensionamento pode se iniciar da potência disponível do motor, calculando-se a largura de corte e/ou profundidade de trabalho da máquina / implemento para dadas condições operacionais, ou a partir das características da operação determinar-se a potência requerida no motor para as condições da operação.

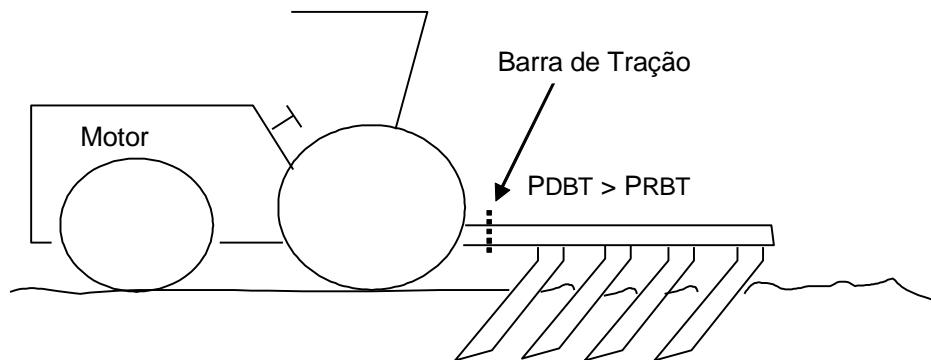


Figura 6- Potência disponível (PDBT) e requerida (PRBT) na barra de tração de um trator agrícola.

Naturalmente esses modelos devem ser aplicados com certo cuidado, desde que podem existir diferenças entre as condições de trabalho, e também que as relações foram desenvolvidas com base nas condições americanas. Uma das formas de dimensionamento ou de aferição dos resultados emitidos por essas relações é compará-los com os fornecidos por empresas fabricantes de equipamentos, Tabela 1.

Tabela 1 - Potência requerida de alguns implementos agrícolas. Adaptado de Marchesan²

Descrição	Modelo	Número de discos/aivecas / hastes	Largura de corte (mm) máxima	Potência máxima requerida no motor do trator.	
				kW	cv
Arado Reversível	AR-PR	3	900	44	60
Arado de Aivecas	AARP	5	2400	162	220
Arado de Aivecas	AARP	6	2880	176	240
Grade	GAI	20	2570	96	130
Escarificador	AST/MATIC550	5	3000	176	240

Uma outra forma seria a de desenvolver os parâmetros da equação para as condições do país mas existe uma carência grande de dados que inviabiliza no presente momento a tentativa. Essa seria uma área, na opinião do autor deste trabalho, em que a pesquisa poderia se desenvolver, melhorando as perspectivas do planejamento.

2.4 - Desempenho econômico da maquinaria agrícola

O desempenho econômico da maquinaria agrícola envolve o cálculo do custo direto e indireto e o operacional. Os custos diretos são aqueles associados à posse e ao uso, os indiretos são aqueles devidos a um dimensionamento inadequado e o operacional está associado à capacidade de trabalho do conjunto ou máquina. A mão de obra do operador pode ser acrescentada ao custo direto de duas formas. A primeira, se o operador tem como função exclusiva a operação do conjunto/máquina, o custo incide totalmente para a máquina; a segunda, se ele exerce outras atividades a divisão poderá ser proporcional ao tempo que ele despense na máquina e na outra atividade. No presente caso será abordado somente o custo referente ao maquinário agrícola.

² Marchesan Implementos e Máquinas Agrícolas Tatu S/A. www.marchesan.com.br

(Obs: a apresentação do catálogo é para efeito informativo, não se tratando de recomendação ou indicação pelo autor desse trabalho)

2.4.1- Custo Direto

O custo direto ou horário, é classicamente dividido em custos fixos e variáveis. Os custos fixos independem do uso da máquina, englobando a depreciação, juros o alojamento seguro e taxas. O custo variável, depende do uso, e reflete os gastos com o combustível e o reparo e manutenção. Para o cálculo do custo fixo anual a ASAE (1998a) propõe a metodologia de calculo de acordo com a Equação 11:

$$CFa = VI \times \left\{ \left[\frac{(1-Vf)}{Vu} \right] + \left[\frac{(1+Vf)}{2} \right] \times i \right\} + Ast \quad (11)$$

Em que: CFa o custo fixo anual (R\$);

VI é o valor inicial da máquina ou implemento em R\$;

Vu é a vida útil em anos;

Vf é o valor final da máquina ou implemento em decimal (porcentagem do valor inicial após a vida útil VU);

i é a taxa de juro aplicado ao capital médio;

Ast é o custo do alojamento em decimal.

Na Equação 7 o termo $\frac{(1-Vf)}{Vu}$ representa a depreciação do bem ao longo do tempo. A depreciação ocorre pela idade, desgaste e a obsolescência da máquina. É interessante notar que embora a depreciação seja classificada como custo fixo, ela pode sofrer influência do uso no item referente ao desgaste, o que altera o valor final do bem. No caso a depreciação está sendo calculada pelo método linear embora outros métodos possam ser utilizados, como é o caso do saldo decrescente. O método do saldo decrescente permite obter uma maior depreciação nos primeiros anos de vida do equipamento o que não é possível com a aplicação do método linear.

Quando da utilização do método linear, o calculo dos juros anuais são realizados sobre o capital médio através do segundo termo $\left[\frac{(Vi + Vf)}{2} \right] \times i$. As despesas com alojamento, seguro e taxas são expressas em decimal no terceiro termo da equação: Ast. A multiplicação do valor inicial – VI- pela soma da depreciação, juros e alojamento seguro e taxas, fornece o custo fixo

anual do equipamento e dividindo-se o custo anual pelo número de horas de utilização anual obtém-se o custo fixo horário (específico).

Em termos anuais o custo é considerado como fixo mas a medida em que as horas de utilização varia, o custo fixo horário, custo específico, passa a depender do número de horas de utilização ao ano. É devido a esse fato que existe a importância de se planejar adequadamente não só o número de equipamentos, mas também o seu porte, pois uma máquina mal utilizada em termos de horas por ano pode se transformar em um pesado ônus financeiro para a atividade.

O custo variável é calculado levando-se em conta o gasto com combustível e aqueles referentes aos reparos e manutenção. Eles são contabilizados quando a máquina encontra-se em uso, embora mesmo uma máquina parada, como o caso de um trator colocado sobre um cavalete, deva sofrer alguma espécie de manutenção. Os custos variáveis podem ser influenciados pelo local de trabalho, habilidade do operador manutenção e regulagem da máquina entre outros.

a) Estimativa do custo com combustível.

O cálculo do custo variável referente ao combustível é realizado de acordo com o apresentado na Equação 12:

$$CCb = Cc \times Pl \quad (12)$$

Em que: CCb é o custo do combustível (R\$.h⁻¹);

Cc é o consumo de combustível (L.h⁻¹);

Pl é o preço do litro de combustível (R\$.L⁻¹).

Para se obter o custo despendido com o combustível é necessário estimar o consumo horário da máquina. O consumo varia de acordo com as condições de trabalho, característica e estado da máquina, habilidade do operador, podendo ser determinado através de dados já existentes ou por estimativas. Os dados coletados a campo são, inquestionavelmente, a melhor maneira porém exigem uma anotação contínua e precisa dos serviços realizados. A alteração do tipo de máquina ou do local pode inviabilizar a aplicação dos dados coletados para uma outra situação. Por um outro lado, existem algumas maneiras de se estimar o consumo desde as mais simples, representadas por um coeficiente, a equações que levam em conta a utilização da

potência do motor. O método mais simples consiste na multiplicação da potência do motor por um fator de consumo para estimar o consumo médio anual para todas as operações, equação 13:

$$Q_{avg} = 0,305 \times P_{tdp} \quad (13)$$

Em que: QAVG é o consumo de gasolina estimado (L.h⁻¹);

PTDP é a potência máxima na Tomada de Potência –TDP (kW).

A equação 13, fornecida pela ASAE (1998a), permite o cálculo do consumo horário médio anual para um motor de trator do ciclo Otto que utiliza como combustível a gasolina. Para um motor do ciclo Diesel estima-se que esse tipo de motor deve consumir ao redor de 73% do consumo estimado para o motor do ciclo Otto.

Witney (1988) discute que o consumo de combustível de um trator varia não só entre as operações mas, também dentro da operação como é o caso da diferença de consumo entre a máquina em operação e em manobra. A eficiência de um motor no aproveitamento varia com a carga imposta e atinge a um máximo com aproximadamente 90% da carga.

O consumo específico a diferentes cargas pode ser obtido através da razão entre a potência requerida e a potência máxima na TDP. O calculo o consumo para diferentes operações pode ser realizado através das relações propostas no item 2.1.3.2, calculando-se a razão entre a potência disponível (PDTDT) e a requerida (PRTDP). Essa a metodologia foi utilizada por Milan (1992) no desenvolvimento da equação 14:

$$S_{fct} = 0,288 + \frac{0,0847}{Pr} \quad (14)$$

$$R^2 = 0,913$$

Em que: SFCt= consumo específico de combustível (L.kW.h⁻¹);

Pr= Razão entre a potencia requerida (PRTDP) / potencia disponível (máxima) (PDTDP).

A equação 14 foi obtida através de um modelo de regressão com base nos resultados apresentados pelo ensaio da TDP de tratores agrícolas realizados no Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA). A metodologia de ensaio consiste em impor seis cargas diferentes, correspondendo a 85%, 42,5%, 100%, 21,25% e 63,5% do momento de força obtido

no ensaio de potência máxima disponível a velocidade angular do motor, para simular as diferentes condições de trabalho a que é submetido um trator agrícola. Bernardes et al (1998) e Corrêa et al (1999), utilizaram-se do mesmo princípio para prever o consumo de tratores agrícolas com base nos ensaios da TDP. O de Bernardes et al (1998) utilizou-se de 46 relatórios de ensaios realizados no CENEA, enquanto que o desenvolvido por Corrêa et al (1999), além de dados do CENEA, utilizou-se também os referentes ao Centro de Mecanização e Automação Agrícola do Instituto Agrônomo de Campinas (CMMA/IAC) comparando-os com os resultados fornecidos pelos ensaios de Nebraska, localizado nos Estados Unidos da América- EUA.

b)- Reparo e Manutenção

Os reparos e as manutenções são essenciais para garantir o desempenho e a confiabilidade de uma máquina ou implemento agrícola. O cálculo desse item envolve o custo referente às peças e a mão de obra necessária ao longo da vida útil. Quanto aos reparos e manutenção a ASAE propõe uma porcentagem em relação ao valor inicial que a máquina ou implemento vai despende ao longo da vida útil, equação 15:

$$C_{rm} = \frac{VI \times Fr}{V_{uh}} \quad (15)$$

Em que: C_{rm} é o custo de reparo e manutenção por hora (R\$/h-1);

Fr é o fator de reparos e manutenção em decimal;

V_{uh} é a vida útil estimada em horas do equipamento.

A lógica é que quanto maior o valor inicial da máquina maior será o custo da manutenção e os valores calculados são constantes ao longo da vida útil. O valor constante, referente ao reparo e manutenção, não expressa a realidade, pois no início da vida útil da máquina esses valores são pequenos e tendem a aumentar com as horas de utilização. Caso for necessário estimar ao valor acumulado de acordo com as horas de uso, a ASAE (1998a) propõe a utilização da equação 16:

$$C_{rma} = Rf1 \times \left(\frac{x}{1000}\right)^{Rf2} \quad (16)$$

Em que: C_{rma} é o custo de reparos e manutenção acumulado até a hora x , em decimal

R_{f1} e R_{f2} são os fatores de reparos e manutenção fornecidos para cada equipamento
 x é o número de horas de uso acumulado.

É importante ressaltar que o valor exato dos reparos e manutenção só pode ser obtido ao final da vida útil da máquina. Os coeficientes propostos pela ASAE (1998b) são apresentados no Anexo B.

2.4.2- *Custo indireto*

O custo indireto, também denominado de pontualidade, é definido como as perdas financeiras devido ao planejamento inadequado da maquinaria agrícola, causando uma redução na produtividade da cultura e/ou na sua qualidade. Dentre as operações as mais críticas são aquelas ligadas à semeadura / plantio, a aplicação de defensivos e a colheita. Segundo Witney (1988) a semeadura tardia de uma cultura diminui o período favorável para o desenvolvimento e introduz um risco para a colheita em épocas desfavoráveis; atrasos na aplicação de defensivo pode resultar em uma infestação de doenças ou pragas; atrasos na colheita de forragem podem acarretar em uma menor digestibilidade do material. Portanto é de importância vital a adequação da capacidade dos sistemas mecanizados as condições impostas pela cultura e clima tendo-se como princípio que um número de máquinas superdimensionado acarreta em prejuízos devido ao custo fixo e subdimensionado aumenta os riscos de perdas. A Figura 8 apresenta a forma geral de uma curva de perdas que em relação ao tempo ideal (T_0) da realização da operação para se obter a perda mínima, observando-se que existem diferenças se o evento ocorrer cedo ou tarde.

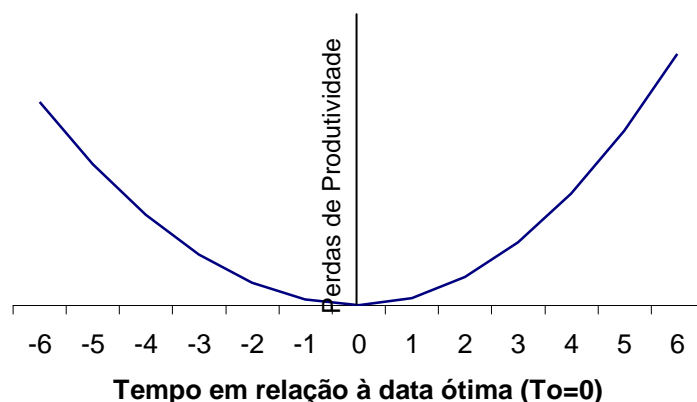


Figura 8- Forma geral da curva de perda de produtividade em função da data ótima (T_o) de realização da operação agrícola.

O trabalho de Veiga et al. (1999) descreve que os custos diretos referentes ao uso de máquinas agrícolas para a cultura são estimados em 27% dos custos de produção e que os indiretos são pouco conhecidos no Brasil. Os autores desenvolveram um trabalho para quantificar as perdas associadas à pontualidade na operação de semeadura da cultura de soja na região de Piracicaba (SP), estabelecendo um modelo de previsão da produtividade em função das épocas de semeadura, equação (17) :

$$y = (-0,613x^2 + 59,17x + 1763,6) \quad (17)$$

$$R^2 = 0,80$$

Em que: y = produtividade em quilos por hectare (kg/ha)

x = dias após a data da primeira semeadura.

Borges et al (2004) aplicaram o conceito da pontualidade na seleção de colhedoras de cereais, mais especificamente para a cultura da soja. Os autores determinaram os modelos de perdas associados à data de colheita para a região de Ponta Grossa (PR) e a partir deles dimensionaram a frota com base na renda líquida obtida.

Os dois trabalhos, Veiga et al. (1999) e Borges et al. (2004) demonstram a importância da pontualidade no dimensionamento de máquinas e ressalta-se aqui a ausência de mais trabalhos associados a esse conceito no país. No dimensionamento e seleção das máquinas, duas

alternativas podem ser adotadas. A primeira delas é considerar somente o custo direto e para esse caso a metodologia determina que as operações iniciem e terminem nos prazos estipulados. Considerando-se o custo indireto, o objetivo é ajustar o custo direto às perdas advindas da pontualidade encontrando-se o ponto que cause o maior retorno.

2.4.3 - Custo Operacional

O custo operacional reflete a relação entre o custo horário do equipamento ou conjunto e a sua capacidade de trabalho. É através dele, custo operacional, que comparações entre os diferentes sistemas mecanizados podem ser efetuadas. O custo operacional é fornecido pela equação 18:

$$COp = \frac{CHc}{CcO} \quad (18)$$

Em que: COp = custo operacional (R\$ ha⁻¹)

CHc = custo horário do conjunto em (R\$ h⁻¹)

CcO = capacidade operacional da máquina / conjunto trator-implemento (ha.h⁻¹)

O custo horário de um conjunto trator – implemento é fornecido pela somatória do custo horário do trator e do implemento. Já a capacidade de trabalho, capacidade de campo operacional, depende da largura e velocidade de trabalho e da eficiência.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERIG. **ASAE Standards**. St. Joseph, Agricultural management data ASAE EP496.2.1998a, p.354-359.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERIG. **ASAE Standards**. St. Joseph, Agricultural management data ASAE D497.4. 1998b, p.360-367.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307p. (1987)

BERNARDES, R.C.; BALASTREIRE, L.A.; MILAN, M. Análise do consumo de tratores agrícolas variando-se a potência na TDP. **Engenharia Rural**, v.9, n.2, p.76-87, 1998.

BORGES, I.O.; MACIEL, A.J.S.; MILAN, M. Sem perder tempo. Cultivar máquinas, v.3, n.29, p.28-30, Abr., 2004.

BOWERS, W. matching equipment to big tractors for efficient field operations. **ASAE paper** 78-1031. ASAE, St. Joseph, MI 49085, 1978.

CORRÊA, I.M.; MAZIERO, J.V.G.; MILAN, M.; GADANHA JUNIOR, C.D.; PECHE FILHO MENEZES, J.F. Estimativa do consumo de combustível de tratores agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., Pelotas, 1999. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, - Comunicação Técnica. Pelotas, 1999, 3p.

DE'CARLI, V.H. Adequação das épocas de cultivo na região de Manaus-AM, através do balanço hídrico seriado. Piracicaba 1994. 73p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, N.G.; LIMA, E.B. BANCHI, A.D.; PINTO, R.S.A.; LOPES, J.R. Eficiência de uso de máquina agrícola. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., Águas de São Pedro. 1993, **Anais**. Piracicaba: STAB, 1993, p. 165-168.

HUNT, D.R. **Farm power and machinery management**. 6.ed. Iowa: The Iowa State University Press, 1973. 315p. (1973).

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. trator e implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p.409-436.

VEIGA, C.M.; NERY, M.S.; MILAN, M.; MARCHIORI, L.F.S. Deteminação do custo indireto para máquinas agrícolas na cultura da soja, considerando o custo da pontualidade na semeadura. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL SUL DO BRASIL, 21^o, Dourados, 1999. Resumos. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.49.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1998. 411p.