

## ESTUDO COMPARATIVO DE EQUIPAMENTOS MECANIZADOS UTILIZADOS EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM DO PONTO DE VISTA TÉCNICO-ECONÔMICO

### COMPARATIVE STUDY OF MECHANIZED EQUIPMENT USED IN EARTHWORKS FROM A TECHNICAL-ECONOMIC POINT OF VIEW

125

**ÁLVARO FIRMINO PEREIRA SILVA**

Engenharia Civil/Universidade Federal de Minas Gerais  
alvarofirmino@hotmail.com

**JISELA APARECIDA SANTANNA GRECO**

Doutora/Docente Universidade Federal de Minas Gerais  
jisela@etg.ufmg.br

**Resumo:** Este trabalho aborda a aplicação de equipamentos mecanizados em obras de terraplenagem e tem por objetivo a comparação de diferentes frotas para execução de um mesmo serviço. Definiu-se a metodologia para cálculo da produtividade e do custo horário desses equipamentos, mais precisamente de escavadeiras hidráulicas e caminhões basculantes. Uma vez conhecidos todos os fatores que exercem influência no estudo, efetuaram-se os cálculos de produtividade que deram base para posteriores análises e comparações com o objetivo de escolher a frota mais apropriada para a situação empregada. Com base no estabelecimento do prazo e quantidade de material a ser movimentado, realizou-se um estudo técnico, em conjunto, com o que se mostrou viável economicamente, o que levou à escolha da mais propícia combinação de máquinas para o referido cenário. A ideia principal é mostrar as diversas possibilidades existentes para uso de equipamentos em obras de terraplenagem e a importância de sua adequada seleção.

**Palavras-chave:** *Terraplenagem. Produtividade. Custo horário.*

**Abstract:** This work deals with the application of mechanized equipment in earthworks and aims to compare different fleets to perform the same service. The methodology for calculating the productivity and hourly cost of these machines was defined, more precisely for hydraulic excavators and dump trucks. Once all the factors that influence the study were known, the calculations were performed, which formed the basis for further analysis and comparisons with the aim of choosing the most appropriate fleet for the situation employed. Based on the established deadline and quantity of material to be moved, the technical study was carried out together with what proved to be economically viable, which led to the choice of the most suitable combination of machines for that scenario. The main idea is to show the various existing possibilities for the use of equipment in earthworks and the importance of their proper selection.

**Keywords:** *Earthworks. Productivity. Hourly cost.*

### Introdução

Atualmente, no que tange às obras de infraestrutura e construção pesada no Brasil, à movimentação de terra possui enorme relevância para a viabilidade das mesmas. A essa dá-se o nome de terraplenagem, isto é, o conjunto de operações necessárias para a movimentação de solo.

A terraplenagem objetiva regularizar o terreno natural e disponível para implantação das obras pretendidas, de acordo com as exigências previstas em projetos, peculiares para cada caso. Assim, embora o foco deste trabalho seja em obras de grande porte, faz-se necessário o serviço de movimentação de terra em quaisquer obras de engenharia, para os diversos tipos de solos existentes. Esse serviço contempla um conjunto de operações básicas que podem ser feitas em sequência ou até mesmo de forma simultânea, a saber: escavação, carga, transporte, descarga e espalhamento do material em questão.

Nesse contexto, eis que surge a participação dos equipamentos mecanizados para realizar essas atividades que outrora eram feitas manualmente. Desde o início do processo de mecanização da engenharia civil, das primeiras máquinas desenvolvidas na Revolução Industrial até o advento das mais modernas escavadeiras, retroescavadeiras, carregadeiras, caminhões e tratores, muito se evoluíram. Hoje, na tentativa de se tornarem competitivas no mercado concorrencial, as empresas cada vez mais demandam equipamentos com a máxima produtividade sob o menor custo possível, o que justifica na grande maioria dos casos os altos investimentos feitos na aquisição e manutenção desses.

Dessa maneira, para atender aos diversos requisitos impostos pelas obras e até mesmo pelas condições topográficas e geográficas locais, como prazo de execução, volumes de cortes e aterros, disponibilidade física dos equipamentos, condições do material, interferências nos platôs de trabalho, dentre outros, é preciso estudar a produtividade e o custo horário dos equipamentos para garantir um planejamento físico-financeiro bem feito, além de dimensionar um histograma mensal para o uso deles de forma combinada, visando ao melhor aproveitamento possível dos recursos, bem como uma definição do porte e quantidade de equipamentos mobilizados.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma metodologia de cálculo da produtividade e custo horário de equipamentos mecanizados utilizados em obras de terraplenagem no contexto brasileiro atual.

## **Estimativa da produção de equipamentos**

A estimativa de produção de um equipamento ou de uma patrulha (conjunto de equipamentos trabalhando de forma simultânea) não é um processo preciso, pois além de depender de distintos parâmetros de complexa determinação ainda existem outros fatores aleatórios que influem de maneira decisiva no desempenho das máquinas (RICARDO; CATALANI, 2007).

Assim, o que ocorre na prática é a conciliação das metodologias estabelecidas pela literatura para estimativa de produção com a experiência prévia dos profissionais envolvidos na atividade, culminando em resultados cada vez mais próximos da realidade.

## **Tempo de ciclo**

Ciclo é o conjunto de operações que um equipamento ou uma patrulha executa em um certo tempo, voltando em seguida à posição inicial para recomencá-las. E o tempo de ciclo é o intervalo de tempo decorrido entre duas etapas iguais. Esse tempo pode ser decomposto por duas parcelas:

- Tempo fixo: é o tempo necessário para que o equipamento possa carregar (ou ser carregado), descarregar e manobrar para se iniciar um novo ciclo. Esse tempo é praticamente constante e independe das distâncias percorridas.
- Tempo variável: é o tempo necessário para que o equipamento se locomova do ponto de carga até o ponto de descarga. Esse tempo também pode ser entendido como o tempo de percurso, carregado ou vazio (no retorno), e depende essencialmente das distâncias percorridas.

## **Fator de eficiência (E)**

Este fator está diretamente ligado à produção, e por isso em muitos casos torna-se difícil a sua determinação, o que acarreta em uma análise mais empírica do que

acadêmica. Em suma, o fator de eficiência consiste, basicamente, na relação entre o número de horas efetivamente trabalhadas e o número de horas que o equipamento se encontra disponível para utilização. Portanto, os tempos de parada são preponderantes para um rendimento alto ou baixo. De acordo com Ricardo e Catalani (2007), essas paradas podem ser causadas por diversos fatores, como por exemplo: defeitos mecânicos dos equipamentos, más condições meteorológicas e do solo, mau planejamento ou até mesmo ineficiência ou imperícia dos operadores.

É válido salientar que esse fator deve impreterivelmente ser estimado no momento de planejamento/orçamento da obra, de forma a obter-se maior assertividade no dimensionamento das equipes e equipamentos de trabalho, bem como adequação do cronograma às exigências e/ou marcos contratuais estabelecidos.

### **Custo**

A partir da determinação da frota e do custo horário dos equipamentos, é possível calcular o custo de um serviço de terraplenagem. Esse cálculo é obtido através do quociente do custo horário dos equipamentos utilizados (e mão-de-obra, eventualmente) pela produtividade da equipe mecânica.

Os custos de um equipamento podem ser separados em custos de propriedade e custos de operação. Os custos de propriedade englobam os valores da depreciação e da remuneração de capital, enquanto os custos de operação envolvem os custos com manutenção, mão de obra e material. Além disso, deve-se saber que existe outra divisão quanto aos custos dos equipamentos: custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos envolvem os valores de depreciação, remuneração de capital, seguro, licenciamento, gerenciamento de frota e mão de obra. Já os custos variáveis são os gastos com manutenção, pneus, material rodante, combustível, lubrificantes e materiais de desgaste. A partir de então tem-se os custos de horas produtivas e improdutivas dos equipamentos.

## **Metodologia**

### **\* Premissas estabelecidas**

O serviço a ser considerado neste estudo será o de escavação, carga, transporte e descarga de material de 1ª categoria, para uma distância média de transporte (DMT) de 1 km.

Além disso, o solo empregado será argiloso, possuindo massa específica natural de 1,72 t/m<sup>3</sup>, massa específica aparente seca no estado solto (após escavação) de 1,24 t/m<sup>3</sup>, empolamento de 39% e fator de conversão 0,72 (ABRAM; ROCHA, 2009).

Embora os valores de massa específica natural e massa específica aparente seca no estado solto sejam valores reais característicos do solo em análise, a logística de movimentação dos equipamentos na praça de trabalho é hipotética. Dessa forma algumas condições serão desconsideradas, como por exemplo, a presença de interferências físicas no platô de execução do serviço, isto é, considerar-se-á que os equipamentos serão operados em “praça aberta” e em caminhos retilíneos, sem que possíveis barreiras e demais equipamentos possam prejudicar a produtividade calculada.

Ainda, de maneira similar às exigências de uma situação real, será estipulado um prazo de 3 meses e uma quantidade de 75.000 m<sup>3</sup> de material a ser escavado na execução da obra.

## **Equipamentos utilizados**

O foco deste trabalho está na comparação de escavadeiras hidráulicas, equipamento predominante no mercado atual para a atividade de escavação e carga de materiais de superfície, além de caminhões basculantes, no que se refere ao transporte e descarga.

Dessa forma, este estudo propõe a utilização de três diferentes portes de escavadeiras associadas a dois tipos de caminhões basculantes, com base no que mais se

prática pelas empreiteiras atualmente, resultando em seis possíveis combinações a serem comparadas, a saber:

- Combinação 1: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 20 toneladas, com capacidade da caçamba de 1,19 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 6x4, com balsa de capacidade 16 m<sup>3</sup>;
- Combinação 2: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 20 toneladas, com capacidade da caçamba de 1,19 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 8x4, com balsa de capacidade 22 m<sup>3</sup>;
- Combinação 3: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 36 toneladas, com capacidade da caçamba de 1,88 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 6x4, com balsa de capacidade 16 m<sup>3</sup>;
- Combinação 4: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 36 toneladas, com capacidade da caçamba de 1,88 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 8x4, com balsa de capacidade 22 m<sup>3</sup>;
- Combinação 5: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 49 toneladas, com capacidade da caçamba de 2,41 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 6x4, com balsa de capacidade 16 m<sup>3</sup>;
- Combinação 6: Escavadeira hidráulica de esteiras, peso operacional de 49 toneladas, com capacidade da caçamba de 2,41 m<sup>3</sup>, em conjunto com caminhão basculante 8x4, com balsa de capacidade 22 m<sup>3</sup>.

### **Cálculo da produção efetiva das escavadeiras**

A produção das escavadeiras pode ser expressa (em m<sup>3</sup>/h) a partir da seguinte equação definida por Ricardo e Catalani (2007):

$$Q_{ef} = C * f * \phi_1 * \frac{60}{tc} * E$$

Em que:

C = volume da caçamba

f = fator de carga da caçamba

$\phi_1$  = fator de empolamento do solo

tc = tempo de ciclo

E = fator de eficiência

### **Cálculo da produção efetiva dos caminhões basculantes**

De maneira muito similar ao que ocorre para as escavadeiras, a produtividade dos caminhões basculantes pode ser obtida através da fórmula básica de produção de um equipamento de terraplenagem, definida por Ricardo e Catalani (2007):

$$Q_{ef} = C * \phi_1 * \frac{60}{tc} * E$$

### **Custo horário produtivo e improdutivo**

Na prática de campo em obras de terraplenagem, sabe-se que em determinados momentos as máquinas ficam à disposição mesmo não sendo efetivamente operadas. Nesses casos, não se deve cobrar os custos variáveis. É o que se denomina hora improdutivo do equipamento e seu custo é formado a partir da soma das parcelas de propriedade e mão-de-obra operacional.

Já para o cálculo do custo horário produtivo, além desses custos fixos, consideram-se também os custos variáveis, isto é, aqueles referentes e proporcionais à operação dos equipamentos (combustíveis e lubrificantes, manutenção e material rodante).

A Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração (SOBRATEMA) define, para os equipamentos empregados neste trabalho, valores de referência das parcelas citadas, e, por conseguinte, do custo horário produtivo e improdutivo. Esses valores, com data base de agosto/2021, são expressos na tabela 1.

Tabela 1. Parcelas componentes do custo horário dos equipamentos estudados.

EQUIPAMENTO S	PARCELAS (R\$/h)					
	Depreciação	Juros	Mão-de-obra	Comb. e Lubrif.	Manutenção	Mat. Rodante
Escav. 20 ton	50,10	20,23	36,72	65,81	86,94	11,10
Escav. 36 ton	88,00	28,88	42,72	134,03	118,54	15,84
Escav. 49 ton	103,20	37,80	42,72	168,64	128,14	21,12
Cam. Basc. 6x4	48,98	9,88	33,60	69,59	54,51	7,82
Cam. Basc. 8x4	74,86	16,46	33,60	88,37	76,19	11,72

Fonte: Sobratema (2021)

## Resultado e discussão

A partir da metodologia de cálculo exposta, calcularam-se a produtividade horária dos equipamentos e de cada uma das combinações listadas no trabalho, exibidas na tabela 2.

Tabela 2. Produção horária para cada uma das combinações.

COMBINAÇÕES	PRODUTIVIDADE (m <sup>3</sup> /h)	UTILIZAÇÃO DOS CAMINHÕES	
		PRODUTIVA	IMPRODUTIVA
1	116,00	0,82	0,18
2	116,00	0,70	0,30
3	145,00	0,93	0,07
4	145,00	0,78	0,22
5	156,00	0,97	0,03
6	156,00	0,81	0,19

Fonte: Autores, 2022

Observa-se que a escavadeira de 49 toneladas apresenta a maior produção (156 m<sup>3</sup>/h), como já se esperava. Esse valor é 7,6% superior à produção da escavadeira de 36 toneladas (145 m<sup>3</sup>/h) e quase 35% superior à produção da escavadeira de 20 toneladas (116 m<sup>3</sup>/h).

Nota-se ainda que, do ponto de vista produtivo, as combinações 5 e 3 apresentam as melhores performances, respectivamente. Isso porque nesses casos as unidades de transporte, representadas pelo caminhão basculante 6x4, quase não possuem improdutividade, com índices de 3% e 7%, por essa ordem. Enquanto a combinação 2, formada pela escavadeira de 20 toneladas e pelo caminhão basculante 8x4, apresenta 30% de improdutividade, valor consideravelmente alto. Pode-se dizer que tamanha improdutividade é indesejável, pois como visto previamente, mesmo nestes momentos improdutivos o equipamento está exposto aos custos de propriedade e mão-de-obra operacional, de forma fixa.

Calculou-se também, através das parcelas de custo apresentadas e do conceito de custo horário produtivo e improdutivo, o custo de um metro cúbico do serviço de escavação, carga, transporte e descarga de material de 1ª categoria (DMT de 1km) para cada uma das combinações empregadas no estudo. Esse cálculo é feito dividindo-se a soma dos custos horários produtivos e improdutivos (ponderados pela utilização horária produtiva ou improdutivo determinada) da frota pela sua respectiva produtividade calculada, e seu resultado é apresentado na tabela 3.

É interessante observar que, mesmo a escavadeira de 20 toneladas possuindo o menor custo horário dentre as três utilizadas, seu uso não se viabiliza para este caso, uma vez que o custo unitário do serviço se mostrou superior ao custo unitário quando utilizadas as outras duas escavadeiras. Isso ocorre devido à grande diferença de produção horária notada em comparação às demais.

Tabela 3. Custo unitário do serviço especificado para cada uma das combinações.

COMBINAÇÕES	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO (R\$)
1 (Escav. 20 ton + Cam. Basc. 6x4)	7,52
2 (Escav. 20 ton + Cam. Basc. 8x4)	8,75
3 (Escav. 36 ton + Cam. Basc. 6x4)	7,40
4 (Escav. 36 ton + Cam. Basc. 8x4)	8,38
5 (Escav. 49 ton + Cam. Basc. 6x4)	7,45
6 (Escav. 49 ton + Cam. Basc. 8x4)	8,36

Fonte: Autores, 2022

Além disso, pode-se constatar que, financeiramente, a diferença de produção horária da escavadeira de 36 toneladas para a de 49 foi compensada pelo custo horário de utilização. Isto é, embora ela produza menos em valores absolutos, o quociente dos custos horários produtivos e improdutivos da sua frota pela sua produção resultou em um valor menor que o calculado para a frota da escavadeira de 49 toneladas, mostrando sua viabilidade. É o oposto do que ocorreu com a escavadeira de 20 toneladas.

Dessa forma, para atender ao prazo e quantidade de material a ser escavado estabelecidos (75.000 m<sup>3</sup> em 3 meses), simulando uma imposição previamente estabelecida, e considerando o turno de trabalho em regime administrativo, ou seja, operando 44 horas semanais e aproximadamente 188 horas mensais, deve-se optar pelo uso da escavadeira de 36 ou de 49 toneladas. Isso em razão de que o volume máximo que a escavadeira de 20 toneladas pode escavar neste período é cerca de 65.424 m<sup>3</sup> (116 m<sup>3</sup>/h x 188 hs x 3 meses). Enquanto as escavadeiras de 36 e 49 toneladas podem escavar até 81.780 e 87.984 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Assim, uma vez que se tem quatro possíveis combinações elegíveis para seleção do ponto de vista produtivo (combinações 3, 4, 5 e 6), a escolhida será aquela que apresentar o menor custo total ao longo dos 3 meses, que é a combinação 3, formada

pela escavadeira hidráulica de 36 toneladas associada ao caminhão basculante 6x4. Essa combinação tem um custo final de R\$ 555.000, multiplicando-se a quantidade de 75.000 m<sup>3</sup> pelo custo unitário de R\$ 7,40.

## **Conclusão**

Constata-se que os prazos e quantidades determinados em função de demandas próprias previamente estabelecidas são fundamentais para o direcionamento da escolha da frota a ser utilizada para os serviços em questão. Ou seja, depois de calculado o custo de cada combinação possível, de nada adianta selecionar o conjunto mais barato se ele não atende aos requisitos preestabelecidos, que devem ser atendidos em sua íntegra. Em alguns casos, a solução adotada pode não ser a mais viável economicamente, e sim a mais produtiva. É primordial o entendimento que a análise realizada não é somente técnica ou somente econômica, de forma individual. Esses dois pilares trabalham em consonância e jamais de forma desassociada.

Em trabalhos futuros de assuntos correlatos ao presente estudo, sugere-se a variação de alguns parâmetros que aqui foram fixados, como por exemplo as características geológicas do material de superfície, além da DMT, que pode assumir diversos valores a depender da localização das jazidas utilizadas.

Para este caso de estudo, a opção foi pela escavadeira de 36 toneladas, mas isso não quer dizer que ela deve sempre ser a escolhida. Pode haver situações que, em função do prazo estabelecido, por exemplo, somente a escavadeira de 49 toneladas atenderia às exigências.

Da mesma forma, podem existir contextos em que a opção seja a escavadeira de 20 toneladas, quando os serviços a serem executados são de menores dimensões e/ou com interferências e barreiras físicas que inviabilizem a operação das outras duas escavadeiras, por exemplo, em situação adversa à estabelecida no escopo deste trabalho.

Conclui-se, portanto, que não existe uma verdade absoluta ou um conjunto específico de equipamentos que levará sempre ao melhor retorno para as obras de terraplenagem. É preciso, aliás, profundo conhecimento e estudo dos equipamentos e

condições de contorno para que se garanta a melhor tomada de decisão de fatores que podem definir o sucesso ou o fracasso de uma obra.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo apoio recebido.

### **Referências**

ABRAM, I.; ROCHA, A. V. **Manual Prático de Terraplenagem**. Bahia: Editora Salvador, 2000.

ABRAM, I.; ROCHA, A. V. **Manual Prático de Terraplenagem**. Bahia: Editora ANEOR, 2009.

CATERPILLAR. **Especificações Técnicas Escavadeira Hidráulica 320**. Brasil, 2022. Disponível em:  
[https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/excavators/medium-excavators/1000032620.html#](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/excavators/medium-excavators/1000032620.html#). Acesso em: jan. de 2022.

CATERPILLAR. **Especificações Técnicas Escavadeira Hidráulica 336**. Brasil, 2022. Disponível em:  
[https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/excavators/large-excavators/15970533.html#](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/excavators/large-excavators/15970533.html#). Acesso em: jan. de 2022.

CATERPILLAR. **Especificações Técnicas Escavadeira Hidráulica 349**. Brasil, 2022. Disponível em:  
[https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/excavators/large-excavators/15970439.html#](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/excavators/large-excavators/15970439.html#). Acesso em: jan. de 2022.

MERCEDES BENZ. **Especificações Técnicas Caminhão Basculante 6x4 Axor 4144**. Brasil, 2022. Disponível em:  
<[https://m.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Actros%204844%208x4%20Basculante%20-%20V1\\_19\\_site.pdf](https://m.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Actros%204844%208x4%20Basculante%20-%20V1_19_site.pdf)>  
Acesso em: Janeiro de 2022.

MERCEDES BENZ. **Especificações Técnicas Caminhão Basculante 8x4 Actros 4844.** Brasil, 2022. Disponível em:

<[https://www.mercedes-](https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Axor%204144%206x4%20Basculante%20-%20V1_19_site.pdf)

[benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-](https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Axor%204144%206x4%20Basculante%20-%20V1_19_site.pdf)

[tecnicos/2019/Axor%204144%206x4%20Basculante%20-%20V1\\_19\\_site.pdf](https://www.mercedes-benz.com.br/resources/files/documentos/caminhoes/axor/dados-tecnicos/2019/Axor%204144%206x4%20Basculante%20-%20V1_19_site.pdf)>

Acesso em: Janeiro de 2022.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação em Rocha.** Rio de Janeiro: Pini, 2007.

SOBRATEMA. Sobratema. **Tabela Custo Horário de Equipamentos.** Brasil, 2022.

Disponível em: <https://www.sobratema.org.br/CustoHorario/Tabela#TD175>. Acesso em: jan. 2022.