

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO HORÁRIA DOS SERVIÇOS DE TERRAPLENAGEM EM UMA SUBESTAÇÃO ELEVADORA DE ENERGIA

[\[ver artigo online\]](#)

Andreia Cardoso Alves ¹

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que analisa a produção horária dos serviços de terraplenagem de uma obra de Subestação. A obra em questão é a Subestação Elevadora Morro do Chapéu Sul II 34,5/500kV (SE MCSII), situada no município de Morro do Chapéu e pertencente ao Complexo Eólico Morro do Chapéu Sul II. O objetivo é apresentar a metodologia de cálculo das produtividades de equipamentos e efetuar cálculo para o caso real da terraplenagem de uma Subestação. O estudo é pautado em bibliografias pertinentes e em dados de levantamento de campo. Os resultados da pesquisa fornecem produções horárias de diferentes tipos de equipamentos e fomentam a importância do estudo das produtividades para elaboração de orçamentos e planejamentos, em obras civis.

Palavras-chave: Terraplenagem. Produção horária. Equipes. Orçamento. Planejamento.

EVALUATION OF HOURLY PRODUCTION OF EARTHWORKING SERVICES IN AN ENERGY ELEVATOR SUBSTATION

ABSTRACT

This article presents the results of a research that analyzes the hourly production of earthmoving services in a substation work. The work in question is the 34.5/500kV Morro do Chapéu Sul II Elevator Substation (SE MCSII), located in the municipality of Morro do Chapéu and belonging to the Morro do Chapéu Sul II Wind Power Complex. The objective is to present the methodology for calculating the productivities of equipment and perform calculation for the real case of earthworks in a Substation. The study is based on relevant bibliographies and field survey data. The research results provide hourly productions of different types of equipment and promote the importance of studying productivities for budgeting and planning in civil works.

Keywords: Earthworks. Hourly production. Teams. Budget. Planning

INTRODUÇÃO

As Subestações Coletoras de Energia exigem, para fins de regularização e nivelamento do terreno onde serão construídas, a execução prévia dos serviços de terraplenagem. Dependendo do projeto, o corpo de aterro pode apresentar elevados volumes a serem movimentados,

¹ Engenheira Civil (UFPI), Especialista em Gerenciamento de Obras e Tecnologia das Construções (UNICID) e em Avaliações e Perícias em Engenharia (UNICID) – (andreiacardoso_eng@hotmail.com)



inclusive com necessidade aquisição e transporte de material de jazida. Este transporte, quando efetuado por frota de caminhões basculantes, implica na utilização de vias de acesso (avenidas, ruas, rodovias, etc.) e possui produção diretamente ligada à fatores como capacidade dos caminhões, distância média de transporte, condições dos acessos, manutenção mecânica, capacidade dos equipamentos de escavação e carga na jazida e fluxo do tráfego nas vias escolhidas.

Em obras situadas em parques eólicos, especificamente, nota-se ainda a influência das baixas velocidades médias desenvolvidas, em razão da interferência dos serviços executados por outras empresas. No que tange ao espalhamento e compactação de material de jazida, fatores como dimensões da área ser trabalhada, tipo de material e escolha dos equipamentos também exercem forte efeito na produção horária. Nesse sentido, as construtoras que trabalham com terraplenagem, em obras de Subestação, costumam esboçar preocupação com as composições e produções horárias utilizadas, na fase de estimativa orçamentária, uma vez que estes dados têm impacto direto sobre o custo e o prazo da obra.

Eventuais reduções na produção horária, por exemplo, geram um custo horário maior para o construtor, reduzindo ou até anulando sua margem de lucro. Além disso, uma baixa produção horária, se não acompanhada por incremento de equipes, engendra também uma duração maior para execução dos serviços; afetando, assim, o prazo da obra e criando também um maior custo com Administração Local.

Sob o prisma acima aludido, este artigo objetiva expor cálculo da produção horária real de equipes de terraplenagem, numa Subestação. Para tanto, far-se-á uso dos dados de levantamento de campo obtido na obra Subestação Elevadora Morro do Chapéu Sul II 34,5/500kV (SE MCSII) e de pesquisa bibliográfica.

1. OBJETIVO GERAL

Este artigo tem como objetivo analisar as produções horárias dos serviços de terraplenagem de uma obra de Subestação.

2. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO HORÁRIA DE EQUIPAMENTOS E EQUIPES DE TERRAPLENAGEM

2.1 Tempo de ciclo

Para RICARDO e CATALANI (2007, p.21), “pode-se definir terraplenagem ou movimento de terras como o conjunto de operações necessárias à remoção do excesso de terra para locais onde esta esteja em falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado”.

“A execução dos serviços de terraplenagem envolve a realização das seguintes operações principais: Escavação, carregamento ou carga, transporte, descarregamentos ou descarga e espalhamento e compactação de aterros.” (BRASIL, 2017a, p.3)

“O trabalho dos equipamentos de terraplenagem se repete através do tempo, de forma cíclica, isto é, terminada uma sequência de operações, inicia-se a seguinte, na mesma ordem anterior.” (RICARDO e CATALANI, 2007, p.123)

“O ciclo é, portanto, o conjunto de operações que o equipamento executa num certo período de tempo, retornando por fim à posição inicial para executá-las novamente” (MATTOS, 2006. P. 148). O conhecimento deste tempo, bem como da quantidade de serviço executada, são fatores fundamentais para cálculo da produtividade dos equipamentos.

2.2 Produtividade

A produtividade de uma equipe, pessoa ou equipamento é definida por MATTOS (2006, p.70) como “a quantidade de unidades de trabalho produzida em um intervalo de tempo especificado, normalmente hora. A produtividade indica a eficiência em transformar energia (e tempo) em produto.” (MATTOS, 2006, p.70).

Contudo, além do tempo e da quantidade de serviço executada em um ciclo, outros fatores podem afetar a produção de um equipamento, como por exemplo tipo de material utilizado, experiência do operador, clima, manutenção mecânica, paradas não programadas da equipe, dimensionamento incorreto da patrulha, etc.. Estas variáveis podem reduzir o rendimento esperado e forçar a máquina a trabalhar menos tempo que o previsto.

Nesse cenário, surge o conceito de eficiência operacional, também conhecida como coeficiente de rendimento ou Fator de eficiência (Fe). Esta grandeza exprime o percentual de

utilização efetiva do equipamento, na execução de uma determinada tarefa. Seu cálculo é feito conforme expressão (1):

$$Fe = \frac{\text{Horas efetivamente trabalhadas}}{\text{Horas efetivamente disponíveis}} \quad (1)$$

“A aplicação deste fator mostra-se necessária para incorporar ao modelo os tempos em alterações de serviço ou deslocamentos do equipamento entre frentes de trabalho, preparação das máquinas e atividades de manutenção, entre outros.” (BRASIL, 2017b, p.26)

É importante destacar que o Fe não incorpora tempos de parada em face de chuvas ou de manutenção pesada. Por outro lado, esta grandeza sobraça tempos de parada para manutenção leve e lubrificação, espera por outras máquinas (nos casos de ciclos conjuntos), paradas provocadas pelo operador, paradas necessárias para movimentação, posicionamento e/ou espera para início dos trabalhos.

2.3 Fatores de correção

O SICRO trabalha com três fatores de correção, no cálculo da produtividade dos equipamentos, a saber:

- Fator de eficiência (Fe);
- Fator de conversão (Fcv);
- Fator de carga (Fca).

a) Fator de Eficiência

O Fator de eficiência, como visto no item 4.2, “trabalha a relação entre a o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento” (BRASIL, 2017b, p.26 Segundo RICARDO e CATALANI (2007, p.136), “constata-se que os fabricantes admitem valor máximo $Fe = 0,83$ ou $Fe = 50/60$, o que corresponde ao trabalho efetivo de 50 min para cada hora (ou 60 min) disponíveis de operação”.

b) Fator de conversão

O Fator de conversão (Fcv), também conhecido como fator de empolamento dos solos, é o parâmetro que relaciona o volume do material, em seu estado natural, com o volume solto. O SICRO adota fator de conversão igual a 0,80, para materiais de 1ª categoria, 0,72 para 2ª categoria e 0,57 para 3ª categoria. Frisa-se, entretanto, que, dependendo do tipo de solo, este

fator pode assumir valores distintos e que os dados do SICRO são apenas referenciais. Solos argilosos, por exemplo, podem atingir $F_{cv}=0,71$ e solos arenosos 0,89.

Tabela 1: Fator de Conversão

Tipos de Solo	Fcv
Solos argilosos	0,71
Terra comum seca (solos argilo-siltosos com areia)	0,80
Terra comum úmida	0,80
Solo arenoso seco	0,89

Fonte: Adaptado de RICARDO e CATALANI (2007, p.34)

c) Fator de Carga

O Fator de carga (F_{ca}) relaciona a capacidade efetiva com a capacidade geométrica do equipamento. O SICRO emprega F_{ca} igual 0,90, 0,80 e 0,70 para materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria, respectivamente. Nos casos de caminhões basculantes, todavia, o SICRO utiliza F_{ca} igual 1,00 para os três tipos de solos. No que concerne as escavadeiras hidráulicas, o F_{ca} é igual 1,00 para materiais de 1ª cat., 0,80 para 2ª cat. e 0,80 para solos moles.

2.4 Metodologia de cálculo da produtividade dos equipamentos de terraplenagem

2.4.1 Escavadeiras

As unidades escavo-carregadoras são equipamentos que fazem a escavação e carga de material. Nos serviços de terraplenagem, normalmente, são utilizadas para efetuar serviços de “corte” de material e/ou escavação e carga de material de jazida. São exemplos de unidades escavo-carregadoras: escavadeiras, carregadeiras de rodas e retroescavadeiras.

No caso da escavadeira, “como acontece com qualquer outro equipamento de manipulação de materiais, a produção (..) depende da carga útil média da caçamba, do tempo médio do ciclo e da eficiência do trabalho”. (CATERPILLAR, 2000, p.5-157)

De acordo com BRASIL (2017a, p. 24), a produção horária das escavadeiras pode ser calculada pela fórmula abaixo:

$$P = \frac{60 \times C \times F_{ca} \times F_{cv} \times F_e}{T_c} \quad (2)$$

Onde: C é a capacidade da caçamba em m^3 ;

F_{ca} é o fator de carga;

Fcv é fator de conversão;

Fe é o fator de eficiência

Tc é tempo total de ciclo em min.

2.4.2 Caminhões basculantes

2.4.2.1 Dimensionamento da frota de veículo

“As unidades transportadoras são utilizadas em operação conjunta com as escavocarregadoras, realizando as operações básicas de transporte e de descarga” (RICARDO e CATALANI, 2007, p.190). O dimensionamento da quantidade de unidades de transporte é definido pela relação entre o tempo de ciclo de transporte e do tempo de ciclo de carga do veículo, conforme se verifica em (3). Esta relação visa maximizar a produção das unidades escavocarregadoras, reduzir tempos de espera e garantir um quantitativo de veículos de transporte compatível com a capacidade de escavação e carga.

$$N = \frac{T_c}{T_{carga}} \quad (3)$$

Onde: Tc é o tempo de ciclo total de transporte;

T_{carga} é o tempo de carga do veículo;

N é o número de unidades de transporte.

2.4.2.2 Tempo de carga das unidades de transporte

O tempo de carga do veículo pode ser calculado em função do tempo de ciclo da unidade escavocarregadora e do número de ciclos que esta precisa efetuar para carregar completamente o caminhão basculante, consoante se vê em (4).

$$n = \frac{T_{cv}}{T_{ce}} \quad (4)$$

Onde: T_{ce} é tempo de ciclo da unidade escavocarregadora;

T_{cv} é o tempo de carga do veículo;

n é o número de ciclos que a unidade escavocarregadora executa.

2.4.2.3 Tempo de ida carregado e tempo de retorno carregado

Para cálculo do tempo de ciclo total de transporte é necessário obter, além do tempo de carga do veículo, os tempos de ida carregado, manobra, posicionamento, descarga e retorno

vazio. O cálculo dos tempos de ida carregado e retorno vazio pressupõe o conhecimento de duas variáveis, a saber: velocidade média e distância percorrida. BRASIL (2017a, p. 20) propõe o seguinte modelo estatístico para definição da velocidade:

$$v = v_m \sqrt{1 - \left(\frac{x - x_m}{x_m}\right)^2} \quad (5)$$

Onde: v é a velocidade média;

v_m é a velocidade média máxima (km/h);

x_m é a distância onde ocorre a velocidade média máxima (m);

x é a distância total percorrida (m).

De posse de v e de x , calcula-se os tempos de ida carregado e retorno vazio pelas fórmulas (6) e (7).

$$T_{ic} = \frac{0,06x}{v_{ida}} \quad (6)$$

$$T_{rv} = \frac{0,06x}{v_{retorno}} \quad (7)$$

Onde: v_{ida} é a velocidade média de ida carregado (km/h);

$v_{retorno}$ é a velocidade média de retorno vazio (km/h);

x é a distância total percorrida (m);

T_{ic} é o tempo de ida carregado (min);

T_{rv} é o tempo de retorno vazio (min).

2.4.2.4 Tempos de manobra, posicionamento e descarga

No que tange aos tempos de manobra, descarga e posicionamento, salienta-se que inexistem expressões de cálculo e que, geralmente, estes tempos são estimados a partir de bibliografias ou de dados apropriados de campo. BRASIL (2017a, p. 24) sugere tempo fixo de 5,11 min para caminhões basculantes de 14m³ e que estejam transportando material de 1ª categoria.

2.4.2.5 Tempo de ciclo total

Calcula-se o tempo total de ciclo da unidade de transporte somando as parcelas decorrentes dos tempos de manobra, posicionamento, carga, transporte carregado, descarga e retorno vazio.

$$T_{c\ total} = T_{cv} + T_{mdp} + T_{ic} + T_{rv} \quad (8)$$

Onde: T_{cv} representa o tempo de carga do veículo;

T_{mdp} representa o tempo de manobra, descarga e posicionamento;

T_{ic} é o tempo de ida carregado (min);

T_{rv} é o tempo de retorno vazio (min).

2.4.2.6 Produção horária

A produtividade (P) das unidades de transporte, conforme se vê em (9), é estimada mediante conhecimento da capacidade de transporte do caminhão (volume transportado), do tempo de ciclo total e dos fatores de correção (fator de carga, fator de conversão e eficiência).

$$P = \frac{60CF_{ca}F_eF_{cv}}{T_{c\ total}} \quad (9)$$

2.4.3 Caminhão irrigadeira

Os caminhões irrigadeira são veículos equipados com tanque e cuja finalidade é promover o umedecimento do material a ser compactado. Calcula-se a produção horária de um caminhão irrigadeira por meio da expressão (10).

$$P = \frac{60CF_e}{cT} \quad (10)$$

Onde: P é a produtividade em l/h do caminhão;

C representa a capacidade do tanque do caminhão em l;

F_e é o fator de eficiência;

c é o consumo de água por unidade de serviço;

T é o tempo de ciclo total do caminhão, ou seja, é o somatório do tempo de carga, ida abastecido e retorno vazio.

2.4.4 Motoniveladora

As motoniveladoras são “máquinas para acabamento da terraplenagem, sendo seu emprego muito diversificado. Por isso, é impraticável a determinação da estimativa de produção, a não ser para algumas tarefas simples, como o espalhamento e regula-

rização de camadas de terra para a compactação, através de muitas passadas de ida e retorno da lâmina do equipamento”. (RICARDO e CATALANI, 2007, p.199)

Para BRASIL (2017c, p. 96), nas atividades de regularização de subleito², a produtividade das motoniveladoras é calculada conforme (11).

$$P = \frac{60dLF_e}{nT} \quad (11)$$

Onde: P é a produtividade em m²/h;

d é o comprimento da área trabalhada pelo equipamento;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

Fe é o fator de eficiência;

T é o tempo de ciclo;

n representa o número de passadas.

Em contrapartida, nos serviços de compactação de aterro a 100% do Proctor normal, BRASIL (2017d, p. 29) propõe a formulação (12) para cálculo da produção horária.

$$P = \frac{60eF_eLv}{n} \quad (12)$$

Onde: P é a produtividade em m³/h;

e é a espessura da área trabalhada pelo equipamento;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

Fe é o fator de eficiência;

v representa a velocidade de ida da unidade aplainadora;

n representa o número de passadas.

2.4.5 Trator de pneus

Os tratores de pneus equipados com grade de disco são máquinas que trabalham em conjunto com as unidades aplainadoras e com os caminhões irrigadeira. Através de sucessivas passadas, promovem, juntamente com as motoniveladoras, a homogeneização do material de subleito (nas operações de regularização do subleito) e a homogeneização das camadas de material para aterro.

² Segundo o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (2010, p.2), regularização de subleito é a “operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros até 20 cm de espessura.”

A produtividade dos tratores de pneus, nos serviços de regularização de subleito, pode ser calculada por (13).

$$P = \frac{60F_eLv}{n} \quad (13)$$

Onde: P é a produtividade em m²/h;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

Fe é o fator de eficiência;

v representa a velocidade de ida da unidade aplainadora;

n representa o número de passadas.

Para as atividades de compactação de aterro a 100% do Proctor normal, a produção horária destas unidades é obtida por (14).

$$P = \frac{60eF_eLv}{n} \quad (14)$$

Onde: P é a produtividade em m²/h;

e é a espessura da área trabalhada pelo equipamento;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

Fe é o fator de eficiência;

v representa a velocidade de ida da unidade aplainadora.

n representa o número de passadas.

2.4.6 Rolo compactador

“A compactação de um solo é a sua densificação por meio de equipamento mecânico, geralmente um rolo compactador” (PINTO, 2006, p.77). Os rolos compactadores utilizados nos serviços de terraplenagem, geralmente, são do tipo pé de carneiro. Analogamente aos tratores de pneus, a produção horária das unidades compactadoras pode ser estimada por (14) para os serviços de compactação de aterro e por (13) para as atividades de regularização de subleito.

2.5 Metodologia de cálculo da Produção Horária das Equipes

Os serviços de terraplenagem podem ser executados por um ou mais equipamentos e veículos previamente selecionados e dimensionados. Quando existe apenas um equipamento,

a produção horária da unidade confunde-se com a produção horária da equipe. Por outro lado, quando se tem “n” unidades trabalhando e cada uma exibindo uma produção horária distinta, a produção horária da equipe ou patrulha será igual a produtividade do equipamento com menor performance. Diz-se, nestes casos, que o equipamento de menor produção é o líder da equipe e que sua utilização operativa é igual a 1,00 (100%), não havendo improdutividade ou espera, durante a execução do seu ciclo. Os demais equipamentos, não obstante, terão utilização operativa inferior à 100%, conforme se observa em (15).

$$\text{Utilização Operativa} = \frac{Ph \text{ líder}}{Ph \text{ equip}} \quad (15)$$

Onde: Ph líder é a produtividade do equipamento que comanda a equipe;

Ph equip é a produção horária dos demais equipamentos da patrulha

Da expressão acima, conclui-se que “os demais equipamentos, com velocidade de produção distinta, precisam esperar por tempo determinado, a cada ciclo, para também produzir. Com isso, esses equipamentos apresentam parcela do tempo improdutivo.” Esta utilização improdutiva pode ser calculada pela expressão:

$$\text{Utilização improdutiva} = 1 - \text{Utilização Operativa} \quad (16)$$

2.6 Planejamento e Orçamento

Para cálculo de custos, cabe ao profissional de engenharia verificar o custo horário produtivo e improdutivo de suas máquinas. Na sequência, multiplica-se estes valores pelas utilizações operativas e improdutivas, respectivamente. Finalmente, para extração do custo unitário do serviço, divide-se o custo horário da equipe pela sua produção horária.

No que concerna a prazo, a duração das tarefas pode ser obtida com uso da expressão (35).

$$\text{Duração} = \frac{Qtde \text{ de serviço}}{Ph \times n \times d} \quad (17)$$

Onde: Duração representa a quantidade de dias para execução da tarefa;

Qtde de serviço indica a quantidade de serviço a ser executada;

Ph é a produção horária da equipe;

n é a quantidade de equipes;

d é a quantidade de horas trabalhadas por dia.

3. ESTUDO DE CASO DA OBRA DE TERRAPLANAGEM DA SE MCSII

Os serviços de terraplenagem analisados, na SE MCSII, para efeito desta pesquisa, foram: escavação, carga e transporte de material de jazida, regularização de Subleito e compactação de aterro à 100% do Proctor Normal.

3.1 Escavação e carga de material de jazida com escavadeira hidráulica

3.1.1 Equipamentos empregados

Para os trabalhos de escavação e carga de material de jazida, na SE MCSII, foram alocadas três escavadeiras hidráulicas. Os tempos de ciclos de cada unidade foram aferidos em dias diferentes, tomando-se a média dos valores encontrados para cálculo da produção horária. Nas alíneas abaixo, lista-se os equipamentos empregados e os parâmetros utilizados para cálculo da produção horária.

Figura 1: Escavação, carga e transporte de material de jazida



Fonte: Própria (2021)

a) Escavadeira hidráulica Jeere 210LC

Parâmetros de cálculo adotados para o equipamento:

- Capacidade da caçamba: 1,36m³;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83.
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,22 min.

Figura 2: Escavação e carga com escavadeira hidráulica Jeere 210LC



Fonte: Própria (2021)

Substituindo os dados acima em (2), obteve-se a seguinte produção horária para esta unidade:

$$P = 246,30m^3/h \quad (18)$$

b) Escavadeira hidráulica komatsu PC200

Parâmetros de cálculo adotados para o equipamento:

- Capacidade da caçamba: 1,20m³;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,17 min.

Figura 3: Escavação e carga com escavadeira hidráulica Komatsu PC200



Fonte: Própria (2021)

Substituindo os dados acima em (2), chegou-se a seguinte produtividade:

$$P = 281,22m^3/h \quad (19)$$

c) Escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07

Dados do Equipamento e fatores de correção adotados:

- Capacidade da caçamba: 0,92m³;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,23 min.

Figura 4: Escavação e carga com escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07



Fonte: Própria (2021)

Substituindo os dados acima em (2), extraiu-se a produção horária de:

$$P = 159,36m^3/h \quad (20)$$

3.2 Transporte de material de jazida

3.2.1 Tempo de ciclo

O transporte do material de jazida foi efetuado, na SE MCSII, por frota de caminhões basculantes com capacidade média de 14m³ e que percorreram 13,5km de DMT³ da jazida até o platô da Subestação. O percurso das unidades foi executado em dois tipos de caminho de serviço, a saber:

- 6,50 km em via pavimentada;
- 7 km em via com revestimento primário.

a) Tempo de manobra, descarga e posicionamento

Para os tempos de manobra, descarga e posicionamento, os dados de campo chegaram aos seguintes valores para escavação e carga usando a escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07 e caminhões basculantes de 14m³:

³ Distância Média de Transporte

Tabela 2: Tempo de carga, manobra e posicionamento

Tempos apropriados	Total (min)
Tempo de manobra e posicionamento na jazida da unidade de transporte	1,25 min
Tempo de carga médio do basculante	3,45 min
Tempo de “enlonamento” da unidade de transporte	1,47 min
Tempo de posicionamento e retirada da lona	0,67 min
Tempo de posicionamento e descarga no platô	1,0 min

Fonte: Própria (2021)

A soma destes tempos resultou em:

$$T_{mdp} + T_{cv} = 7,84 \text{ min} \quad (21)$$

Do exposto, nota-se que o tempo total de permanência para manobra, posicionamento e carga, na jazida, foi de 4,70min.

b) Tempo de ida carregado

O tempo de ida carregado foi calculado empregando-se (5) e (6). Para tanto, tomou-se os seguintes parâmetros:

- Via pavimentada
 - v_m igual a 60 km/h;
 - x igual a 6500m;
 - x_m igual a 4500m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (6), chegou-se à:

$$T_{ic} = 7,26 \text{ min} \quad (22)$$

- Via com revestimento primário
 - v_m igual a 30 km/h;
 - x igual a 7000m;
 - x_m igual a 5000m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (6), obteve-se:

$$T_{ic} = 15,28 \text{ min} \quad (23)$$

c) Tempo de retorno vazio

O cálculo do tempo de retorno foi efetuado com auxílio de (5) e (7). Analogamente ao item anterior, os parâmetros utilizados foram:

- Via pavimentada
 - v_m igual a 80 km/h;
 - x igual a 4500m;
 - x_m igual a 3500m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (7), alcançou-se:

$$T_{rv} = 5,44 \text{ min} \quad (24)$$

- Via com revestimento primário
 - v_m igual a 40 km/h;
 - x igual a 7000m;
 - x_m igual a 5000m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (7), chegou-se à:

$$T_{rv} = 11,46 \text{ min} \quad (25)$$

d) Tempo de ciclo total de transporte

O tempo de ciclo total foi calculado pela soma (20), (21), (22), (23) e (24):

$$T_{c \text{ total}} = 47,28 \text{ min} \quad (26)$$

3.2.2 Produção Horária

Para cálculo da produção horária dos caminhões, assumiu-se os parâmetros listados abaixo:

- Capacidade da caçamba: 14m³;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo total: 47,28 min.

Substituindo os dados acima em (9), esta pesquisa chegou a produção horária de:

$$P = 11,80 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (27)$$

3.2.3 Número de unidades de transporte

O cálculo do número de unidades de transporte foi extraído com auxílio do tempo de ciclo total (26) e do tempo de carga (obtido por meio da tabela 2). Substituindo-se estes valores em (3), alcançou-se o seguinte número de unidades de transporte para a escavadeira:

$$N = \frac{47,28}{4,70}$$

$$N = 10 \text{ unid. de transporte Escavadeira Hyundai 210LC} - 07 \quad (28)$$

Cálculo análogo deve ser feito considerando as outras duas unidades de escavação. Para efeito, desta pesquisa, todavia, será apresentado somente o cálculo para a Hyundai 210 LC-07.

3.3 Regularização de subleito

Na SE MCSII, empregou-se uma patrulha composta de uma motoniveladora, um trator de pneus com grade de disco, dois caminhões irrigadeira e um rolo compactador. Nas aléias abaixo, detalhar-se-á os parâmetros de cálculo aplicados para cada equipamento citado, bem como suas respectivas produções horárias.

Figura 5: Regularização de Subleito



Fonte: Própria (2021)

a) Motoniveladora 12k Caterpillar

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 3,90m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,69min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 5;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 6: Motoniveladora 12k



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (11), chegou-se a produtividade de:

$$P = 1.263,22m^2/h \quad (29)$$

b) Trator de Pneus valtra BH165 com grade de disco

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 2,72m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,30min;
- Velocidade de ida ($v=d/T/2$): 72,73m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 4;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 7: Trator de pneus com grade de disco



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (13), chegou-se à:

$$P = 2.462,93m^2/h \quad (30)$$

c) Caminhão Irrigadeira

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Capacidade (C): 20.000L;
- Consumo (c): 9,64L/m³;
- Tempo de ciclo total (T) apropriado em campo: 171,11min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 8;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 8: Caminhão irrigadeira



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (10), obteve-se:

$$P = 603,82m^2/h \quad (31)$$

Como a obra possuía dois caminhões, a produção horária destas unidades foi de 1.207,64m²/h.

d) Rolo Compactador Bomag BW 212

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 1,93m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,28min;
- Velocidade de ida ($v=d/T/2$): 73,17m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 6;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 9: Rolo compactador



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (13), extraiu-se a produtividade de:

$$P = 1.172,11m^2/h \quad (32)$$

3.4 Compactação de Aterro

No que tange aos serviços de compactação, a obra de terraplenagem da SE MCSII utilizou duas patrulhas. Cada patrulha era composta por uma motoniveladora, um trator de pneus com grade de disco, três caminhões irrigadeira e um rolo compactador tipo pé de carneiro. O material de empréstimo, trabalhado por estas equipes, foi classificado, de acordo com sistema HBR, como A-4, apresentando acentuada predominância de finos, sobretudo argila. Além disso, o material exibiu umidade ótima de 12% e demandou consumo de água da ordem de 97,90L/m³.

Cumprir destacar que, durante a homogeneização do material, observou-se um elevado número de passadas da motoniveladora e do trator de pneus, de modo a deixar o material na umidade ótima e em condições de compactação. Tal cenário gerou uma situação produtiva onde a motoniveladora comandou a produção da equipe e não o rolo compactador, como é usual nas composições do SICRO, por exemplo.

Nas alíneas abaixo, serão listados, à guisa do item 5.3, os equipamentos utilizados, tempos de ciclo, número de passadas e as produções alcançadas para cada máquina.

a) Motoniveladora 120k, potência 108kW

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Espessura (e) da área trabalhada: 0,20m;

- Largura de útil de operação (L): 3,40m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 2,12min;
- Velocidade de ida ($v=d/T/2$): 75,47m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 15;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 10: Motoniveladora 120K



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (12), chegou-se à:

$$P = 170,38 \text{ m}^3/\text{h} \quad (33)$$

b) Trator de Pneus Massey Ferguson 7140 com grade de disco

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Espessura (e) da área trabalhada: 0,20m;
- Largura de útil de operação (L): 2,72m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 1,62min;
- Velocidade de ida ($v=d/T/2$): 98,77m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 14;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 11: Trator de pneus



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (14), obteve-se uma produtividade de:

$$P = 191,13 \text{ m}^3/\text{h} \quad (34)$$

c) Caminhão irrigadeira

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Capacidade (C): 20.000L;
- Consumo (c): 97,90L/m³;
- Tempo de ciclo total (T) apropriado em campo: 160min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 12;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Substituindo os dados acima em (10), obteve-se a seguinte produção:

$$P = 63,59 \text{ m}^3/\text{h} \quad (35)$$

Como a obra possuía três caminhões, a produção horária destas unidades era de 190,75m³/h.

d) Rolo Compactador Atlas Copco CA250

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Largura de útil de operação (L): 1,93m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 2,08min;
- Velocidade de ida ($v=d/T/2$): 76,92m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 3;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Figura 12: Rolo Compactador Atlas Copco CA250



Fonte: Própria (2020)

Substituindo os dados acima em (14), chegou-se à produtividade de:

$$P = 492,87m^3/h \quad (36)$$

4. RESULTADOS

A produtividade das unidades de escavação, conforme demonstrado em 4.1, foi de 246,30m³/h, 281,22m³/h e 159,36m³/h. Nos dois primeiros resultados, frisa-se que os equipamentos possuíam maior capacidade de carga (*vide* alínea “a” e “b” do item 4.1.1). Ademais, num paralelo com as composições de referência rodoviária, nota-se que a produtividade das duas primeiras unidades foi superior à indicada na composição 4016096⁴ do SICRO, na qual uma escavadeira com capacidade de carga de 1,56m³ produz 230,19m³/h.

Com relação ao transporte, viu-se em 4.2.2 que a obra alcançou uma produção de 11,80m³/h ou 159,3m³xkm/h. Confrontando este resultado com a composição 93592 do SINAPI, que exibe um valor de 153,85m³xkm/h, tem-se uma produtividade superior à de referência orçamentária da CAIXA.

No que concerne à regularização de subleito, nota-se que o rolo compactador apresentou a menor produção horária; sendo, com efeito, o líder da equipe. Nesse contexto, sua utilização operativa foi igual a 1,00 (100%), ao passo que os demais equipamentos apresentaram, por consequência, utilização produtiva inferior a 1.

⁴ Código da Composição constante no Relatório Analítico de Composições de Custo do SICRO para o estado da Bahia (Data base: julho de 2020).

Tabela 3: Produção horária da Equipe

Variáveis Intervinentes	Unidade	Serviço:	Regularização do subleito		
		Prod. Hor.:	1.172,11	Unid:	m2
		Caminhão irrigadeira	Motoniveladora, Modelo 12k, Pot. 108kW	Trator com grade de disco valtra bh 165	Rolo Pé de Carneiro Bomag bw 212
Capacidade	l	20.000,00			
Consumo	l/m3	9,64			
Distância	m		120,00	120,00	120,00
Fator de eficiência		0,83	0,83	0,83	0,83
Largura de Operação	m		4,20		2,13
Largura de Superposição	m				0,20
Largura Útil	m		3,90	2,72	1,93
Número de fechadas		8,00	5,00	4,00	6,00
Tempo fixo	min	111,11			
Tempo de ida	min	50,00			
Tempo de retorno	min	10,00			
Tempo total de ciclo	min	171,11	3,69	3,30	3,28
Velocidade de ida	m/min			72,73	73,17
Produção horária		1.207,64	1.263,22	2.462,93	1.172,11
Número de Unidades		2,00	1,00	1,00	1,00
Utilização Operativa		0,97	0,93	0,48	1,00
Utilização Improdutiva		0,03	0,07	0,52	0,00
Produção da Equipe		1.172,11	1.172,11	1.172,11	1.172,11

Fonte: Própria (2021)

Observa-se ainda que a produtividade real de 1.172,11m²/h (ver item 4.3) foi muito semelhante à da composição 4011209 do SICRO/DNIT, cujo valor é de 1.121,33m³/h. Salienta-se, contudo, que a patrulha listada pelo SICRO possui dois rolos compactadores e dois caminhões irrigadeira com capacidade de 10.000L. A equipe da SE MCSII, por outro lado, possuía apenas um rolo compactador e dois caminhões irrigadeira de 20.000 L. Apesar da maior capacidade dos caminhões irrigadeira, é possível afirmar que a equipe conseguiu perfomar, com menos recursos de compactação, índices quase idênticos aos do SICRO.

Finalmente, no que toca ao serviço de compactação, nota-se que a motoniveladora apresentou a menor produção horária (170,38m³/h) e foi, por conseguinte, a líder do serviço de compactação. Isto se deve sobretudo ao material de jazida que foi utilizado, cujo alto consumo de água (97,90m³/h) demandou mais passadas do caminhão irrigadeira e mais passadas, consequentemente, da motoniveladora e do trator de pneus. A título de ilustração, no SICRO,

o consumo de água é de somente 53,00L/m³ e o número de passadas da motoniveladora para tombamento e homogeneização do material é de apenas 6. (BRASIL (2017d, p. 29)

Tabela 4: Produção horária da equipe de compactação

Variáveis Intervinentes	Unidade	Serviço:	Compactação de aterro a 100% do Proctor Normal		
		Prod. Hor.:	Unid:		m ³
		Caminhão irrigadeira	Motoniveladora, Modelo 120k, Pot. 108kW	Trator com grade de disco	Rolo Pé de Carneiro
Capacidade	l	20.000,00			
Consumo	l/m ³	97,90			
Distância	m		80,00	80,00	80,00
Espessura	m		0,20	0,20	0,20
Fator de eficiência		0,83	0,83	0,83	0,83
Largura de Operação	m		3,70		2,13
Largura de Superposição	m				0,20
Largura Útil	m		3,40	2,72	1,93
Número de passadas		12,00	15,00	14,00	3,00
Tempo fixo	min	100,00			
Tempo de ida	min	50,00			
Tempo de retorno	min	10,00			
Tempo total de ciclo	min	160,00	2,12	1,62	2,08
Velocidade de ida	m/min		75,47	98,77	76,92
Produção horária		190,75	170,38	191,13	492,87
Número de Unidades		3,00	1,00	1,00	1,00
Utilização Operativa		0,89	1,00	0,89	0,35
Utilização Improdutiva		0,11	0,00	0,11	0,65
Produção da Equipe		170,38	170,38	170,38	170,38

Fonte: Própria (2021)

Além disso, percebe-se novamente uma produção bastante parecida com do SICRO (que é de 168,20m³/h (BRASIL (2017d, p. 29). Esta similaridade, entretanto, disfarça uma performance acima do esperado, pois este aterro foi executado em área confinada (platô de uma subestação), ao passo que, em obras rodoviárias, tem-se um espaço maior para movimentação das máquinas.

CONCLUSÃO

Este artigo objetivou apresentar a metodologia de cálculo de produtividades e sua aplicação, num caso real de uma Subestação. Nesse sentido, apresentou contribuição para profissionais de engenharia, na medida em que forneceu resultados de produtividade de diferentes

serviços; mostrando, inclusive, suas diferenças e similaridades com relação aos dados de referência rodoviária.

Por oportuno, salienta-se que os resultados encontrados neste estudo de caso não podem ser generalizados e que cada Projeto possui suas vicissitudes. Por outro lado, os resultados obtidos podem servir para fomentar a discussão sobre o tema da produtividade em obras de terraplenagem e para, eventualmente, incentivar a análise de outros projetos similares.

Nesse contexto, esta pesquisa pode moldar-se como base para outros estudos e, nestes casos, sugere-se a análise dos dados sob outros pontos de vista, de modo a expor diferentes problemáticas e respectivas soluções. Afim de melhor descortinar o tema, sugere-se, inclusive, a análise de empreendimentos de Galpões, Supermercados e outros que demandem serviços de terraplenagem nas áreas onde serão construídos. Estes trabalhos poderão ter como foco o cálculo da eficiência dos equipamentos. Outro estudo que também pode ser efetuado diz respeito aos efeitos das chuvas nas obras de terraplenagem. Para este último caso, sugere-se um exame das consequências climáticas sobre o orçamento e cronograma das obras. Naturalmente, os resultados encontrados poderão ser cotejados, em pesquisas futuras, e isto aumentará o arcabouço de conhecimento sobre produção horária dos equipamentos de terraplenagem.

Ademais, o estudo continuado da produção horária de equipamentos permitirá um melhor entendimento acerca do dimensionamento para diferentes obras. Outro ponto é que proporcionará a construção de uma base de conhecimento mais sólida e mais ampla sobre a produtividade das máquinas, fomentando discussões e busca de soluções e criando profissionais cada vez mais preparados para o estudo e dimensionamento dos equipamentos.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. 1. ed: Brasília, 2017a. v.10

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. 1. ed: Brasília, 2017b. v.1

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. 1. ed: Brasília, 2017c. v.12. Tomo 4.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. 1. ed: Brasília, 2017d. v.12. Tomo 5.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **BA 07-2020 Relatório Analítico de Composições de Custo**. Brasília, 2020.

CATERPILLAR. Manual de produção Caterpillar. Edição 31. Peoria, EUA, 2000.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE LICITAÇÕES E OBRAS PÚBLICAS. **Composição de Preço de Serviço**. 2021. Disponível em: http://orse.cehop.se.gov.br/composicao.asp?font_sg_fonte=SINAPI&serv_nr_codigo=93592&peri_nr_ano=2020&peri_nr_mes=11&peri_nr_ordem=1. Acesso em: 14 de fevereiro de 2021, às 16:55.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIA. Norma DNIT 137/2010 ES. Rio de Janeiro, p.2, 210.

MATTOS, Aldo Doréa. **Como preparar orçamentos de obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.

MAIA, Victor. **Engenharia: Obras Rodoviárias – SICRO**. 2019. Disponível em: [https://eduqc.com.br/concursos/engenharia/obras-rodoviaras-sicro/#d\)TempoOperativovsTempoImprodutivo](https://eduqc.com.br/concursos/engenharia/obras-rodoviaras-sicro/#d)TempoOperativovsTempoImprodutivo). Acesso em: 08 de fevereiro de 2021, às 14:37.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

RICARDO, Hélio de Sousa; CATALANI, Guilherme. **Manual Prático de Escavação, Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3. Ed: São Paulo, 2007.