



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

GUILHERME PAIVA REBOUÇAS

**MODELO PARA SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS DURANTE A
ELABORAÇÃO DE ORÇAMENTOS**

FORTALEZA

2018

GUILHERME PAIVA REBOUÇAS

MODELO PARA SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS DURANTE A ELABORAÇÃO
DE ORÇAMENTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN), da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R24m Rebouças, Guilherme Paiva.
 Modelo para seleção de motoniveladoras durante a elaboração de orçamentos / Guilherme Paiva Rebouças. –
 2018.
 82 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
 Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Junior.
1. Seleção de Motoniveladoras. 2. Orçamento. 3. Características Técnicas. 4. Produção. 5. Custo Horário.
 I. Título.

CDD 388

GUILHERME PAIVA REBOUÇAS

MÉTODO PARA SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS DURANTE A ELABORAÇÃO
DE ORÇAMENTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN), da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes.

Aprovada em: 13 / 08 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Waldemiro de Aquino Pereira Neto (Examinador Interno)

Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar (Examinador Externo)

Instituto Federal do Ceará – IFCE

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Delma Mary pelo incentivo e carinho em todos os momentos da vida juntos, sempre iluminando meu caminho com muito amor e acreditando em nossos objetivos.

Aos meus filhos, Maria Isabella e João Guilherme, pelos momentos de alegria, por serem fonte de amor, ternura e principalmente aprendizado.

Aos meus pais, Antonio e Francinelda, que sempre tiveram a força necessária para contribuir na minha educação, pelos grandes exemplos de honestidade, cidadania, pelo amor e presença em minha vida e, por sempre acreditarem na minha capacidade.

Ao meu irmão Rafael, pelo apoio incondicional e incentivo na conquista dos meus objetivos.

Aos grandes amigos de colégio Alexandre, André e Eduardo, que sempre demonstraram grande apreço pela amizade ao longo desse tempo.

Ao meu orientador, Prof. Ernesto Nobre, pela grande contribuição dada ao trabalho e, que desde o início depositou confiança e apresentou motivação, além da sua disponibilidade.

Ao amigo Caio Petrônios, pelo incentivo e troca de conhecimentos ao longo de toda a trajetória do Mestrado.

Aos demais colegas de trabalho da CGE-CE, em principal a equipe da COAUD, Mafra, Emiliana, José Fernando, Marcos Abílio, Ana Luiza, José Ananias, Matheus, Carlos, Henrique, Alex, Paulo Rogério, Ítalo, Marília, Elayne, Isabelle, Wladis, Valéria e George, como também ao Daniel e Benevides, pelo incentivo dado no trato do dia-a-dia de trabalho.

E todos àqueles que de alguma forma, direta ou indiretamente, se fizeram presentes na construção desse trabalho.

RESUMO

Uma obra rodoviária tem custos consideráveis na sua concepção e principalmente na sua execução. Uma das principais causas é a larga utilização de equipamentos pesados nessas obras, tanto para serviços de terraplenagem quanto nos de pavimentação. No entanto, apesar dos custos relacionados aos equipamentos representarem um dos itens de maior peso no orçamento, há pequeno número de pesquisas relacionadas à melhoria no processo de seleção de equipamentos. Além disso, existe grande dificuldade em associar as características técnicas fornecidas pelos fabricantes com a produtividade e os custos horários de utilização dos equipamentos. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo que auxilie na seleção de um tipo específico de equipamentos de terraplenagem (as motoniveladoras), durante a elaboração de orçamentos, com base nas características técnicas, levando-se em consideração o peso operacional, potência máxima e largura da lâmina, além de critérios de produtividade e custos. Inicialmente foram determinadas as equações e parâmetros adotados no cálculo da produção e custos horários de uma motoniveladora. Foi realizado um levantamento das motoniveladoras comercializadas no mercado local de Fortaleza/CE, coletando os seus valores de aquisição e suas características técnicas (peso operacional, potência máxima e largura da lâmina) necessárias ao cálculo da produção e custos horários. Aplicando-se as equações determinísticas e parâmetros adotados, foram então calculadas a produção e os custos horários de cada motoniveladora utilizada na amostra. Posteriormente, através da amostra de 17 máquinas de diferentes modelos e marcas, e por meio do método estatístico de análise de regressão e correlação, foram determinadas as equações matemáticas de estimativa de produção e custos horários, que deram origem ao modelo proposto. O resultado obtido para o modelo desenvolvido, com base no método de avaliação utilizado, foi satisfatório e indica que o modelo é adequado e possibilita ao Engenheiro de Custos realizar a seleção de uma motoniveladora de forma direta, recorrendo apenas às especificações do fabricante.

Palavras-chave: Seleção de motoniveladoras, orçamento, características técnicas, produção, custo horário.

ABSTRACT

A roadbuilding has considerable costs in its design and especially in its execution. One of the main causes is the extensive use of heavy equipment in these works, both for earthmoving and paving services. However, although the costs related to the equipment represent one of the most relevant items of a roadbuilding budget, there are a small number of research related to the improvement in the equipment selection process. In addition, there is a great difficulty in associating the technical characteristics provided by the manufacturers with productivity and hourly costs of using the equipment. This work aims to develop a model that assists in the selection of a specific type of earthmoving equipment (the motor graders), during the elaboration of budgets, based on the technical characteristics of the operational weight, maximum power and width of the blade, besides of productivity and costs criterias. Initially, the equations and parameters adopted in calculating the production and hourly costs of a motor grader were determined. A survey of motor graders commercialized in the local Fortaleza/CE market was carried out, gathering their acquisition values and their technical characteristics (operational weight, maximum power and blade width) required to calculate production and hourly costs. Applying the deterministic equations and adopted parameters, the production and hourly costs of each motor grader used in the sample were then calculated. Subsequently, through the sample of 17 machines of different models and brands and through the statistical method of regression and correlation analysis were determined the mathematical equations of production estimation and hourly costs, which gave origin to the proposed model. The result obtained for the developed model, based on the used evaluation method, was satisfactory and indicates that the model is adequate and allows the Cost Engineer to perform the selection of a motor grader directly, resorting only to the manufacturer's specifications.

Keywords: Selection of motor graders, budget, technical characteristics, production, hourly cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Motoniveladora e seus componentes.....	19
Figura 2.2 - Posições da lâmina (Motoniveladora)	20
Figura 2.3 - Motoniveladora em atividade de espalhamento	20
Figura 2.4 - Movimentação do material à frente da lâmina	21
Figura 2.5 - Motoniveladora (visão em planta).....	24
Figura 2.6 - Angulação formada pela lâmina durante operação final de espalhamento	26
Figura 3.1 - Orçamento de investimentos da união para o ano de 2018 por função_(mais significativos).....	28
Figura 3.2 - Orçamento de investimentos da união para o ano de 2018 por subfunção (transportes).....	29
Figura 4.1 - Processo do serviço de compactação de aterros	37
Figura 4.2 - Equipamentos na composição unitária do serviço de compactação (SICRO)...	37
Figura 4.3 - Equipamentos na composição unitária do serviço_de compactação (SEINFRA).....	38
Figura 6.1 - Potência Máxima x Custo horário produtivo.....	62
Figura 6.2 - Potência Máxima x Custo horário improdutivo.	62
Figura 6.3 - Peso Operacional x Custo horário produtivo.....	63
Figura 6.4 - Peso Operacional x Custo horário improdutivo.	63
Figura 6.5 - Largura da Lâmina x Custo horário produtivo.	64
Figura 6.6 - Largura da Lâmina x Custo horário improdutivo.....	64
Figura 6.7 - Reprodução da Composição de Custo Unitário – SICRO.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Parâmetros da motoniveladora Caterpillar 120 K – SICRO.....	41
Tabela 4.2 - Parâmetros da motoniveladora utilizada pela SEINFRA (140 HP).....	43
Tabela 5.1 - Parâmetros da motoniveladora Caterpillar 120 K - SICRO.....	53
Tabela 5.2 - Parâmetros da motoniveladora utilizada pela SEINFRA (140 HP).....	54
Tabela 6.1 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custo horário calculados	57
Tabela 6.2 - Correlações da amostra – Custo horário produtivo.....	59
Tabela 6.3 - Correlações da amostra – Custo horário improdutivo	59
Tabela 6.4 - Coeficientes de determinação RLM.....	65
Tabela 6.5 - Sumário da RLM para Custo horário produtivo	65
Tabela 6.6 - Sumário da RLM para Custo horário improdutivo	65
Tabela 6.7 - Teste F para Chp e Chi.....	66
Tabela 6.8 - Correlações da amostra – Produção	67
Tabela 6.9 - Valores de TMEA para o Chp e Chi para os métodos RLS e RLM	70
Tabela 6.10 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custos calculados através do modelo desenvolvido	73
Tabela 6.11 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custos calculados através das equações determinísticas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Comparação da motoniveladora utilizada nas referências SICRO e SEINFRA. 33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CNTO	Célula de Normatização e Custos de Transportes e Obras - SEINFRA
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBEC	Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos
IE	Instituto de Engenharia
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
IPVA	Imposto de Propriedade de Veículos Automotores
OT	Orientação Técnica
PIB	Produto Interno Bruto
RLM	Regressão Linear Múltipla
RLS	Regressão Linear Simples
SADPATROL	Sistema de Apoio à Decisão de Motoniveladoras
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SIGA Brasil	Sistema de Informações sobre o Orçamento Público Federal
SIPROCE	Sistema de Preços, Serviços de Engenharia e Orçamento da SEINFRA
SOBRATEMA	Associação Brasileira de Tecnologia para Construção e Mineração
TCU	Tribunal de Contas da União
TMER	Taxa Média de Erro Relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Apresentação e Motivação da Pesquisa	14
1.2	Problema da Pesquisa.....	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	16
1.4	Materiais e Métodos.....	16
1.5	Etapas da Pesquisa.....	17
1.6	Estrutura do Trabalho	17
2	SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS.....	19
2.1	Importância das Motoniveladoras.....	19
2.2	Alguns estudos na Seleção das Motoniveladoras	22
2.3	Características técnicas da Motoniveladora avaliadas no estudo	24
2.3.1	<i>Largura da Lâmina</i>	24
2.3.2	<i>Peso Operacional</i>	26
2.3.3	<i>Potência</i>	27
3	ORÇAMENTO EM OBRAS PÚBLICAS RODOVIÁRIAS	28
3.1	Investimentos em Obras Públicas Rodoviárias.....	28
3.2	Especificidades na Elaboração de Orçamentos.....	30
3.3	Sistemática na Elaboração de Orçamentos	31
4	PARÂMETROS DE PRODUÇÃO	35
4.1	Produção das Equipes Mecânicas.....	35
4.2	Motoniveladoras na execução de Aterros	36
4.3	O Cálculo da Produção para Motoniveladoras no Brasil	39
4.4	Parâmetros para o Cálculo da Produção de Motoniveladoras.....	41

5	PARÂMETROS DO CUSTO HORÁRIO.....	44
5.1	Custo Horário.....	44
5.2	Parcelas do Custo Horário	46
5.2.1	<i>Custo de Propriedade (C_{prop}).....</i>	46
5.2.1.1	<i>Depreciação.....</i>	46
5.2.1.2	<i>Custo de Oportunidade.....</i>	49
5.2.1.3	<i>Seguros e Impostos</i>	50
5.2.2	<i>Custos de Manutenção (C_{man})</i>	51
5.2.3	<i>Custos de Operação (C_{op}).....</i>	52
5.2.3.1	<i>Combustível</i>	52
5.2.3.2	<i>Lubrificantes</i>	52
5.2.3.3	<i>Mão de obra.....</i>	53
5.3	Parâmetros adotados pelo SICRO e SEINFRA para o cálculo do Custo Horário	53
6	O MODELO DE SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS.....	55
6.1	Apresentação do Modelo	55
6.2	Premissas adotadas para a construção do Modelo	55
6.3	Considerações sobre o Modelo elaborado e suas variáveis.....	56
6.3.1	<i>Amostra utilizada na pesquisa.....</i>	57
6.3.2	<i>Variáveis utilizadas</i>	57
6.3.3	<i>Parâmetros adotados na determinação dos valores de variáveis dependentes.....</i>	58
6.4	Estimativas de Custos Horários.....	58
6.4.1	<i>Análise da correlação existente entre as variáveis estudadas e o Custo Horário.....</i>	58
6.4.2	<i>Análise de Regressão Linear Simples (RLS)</i>	60
6.4.3	<i>Análise de Regressão Linear Múltipla (RLM).....</i>	64
6.5	Estimativa de Produção.....	67
6.5.1	<i>Análise da correlação existente entre as Variáveis estudadas e a Produção.....</i>	67
6.5.2	<i>Determinação da Constante para o cálculo da Produção</i>	68

6.6	Análise dos Resultados e Validação do Modelo	69
6.7	Aplicação do Modelo.....	70
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	75
7.1	Conclusões	75
7.2	Limitações do Modelo.....	76
7.3	Recomendações para Pesquisas Futuras	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A – AMOSTRA UTILIZADA NO ESTUDO DO MODELO.....	82

1 INTRODUÇÃO

Na introdução, é apresentada a motivação desta pesquisa, os objetivos do trabalho, o método adotado para a obtenção dos resultados, as etapas realizadas e a estrutura do texto da Dissertação.

1.1 Apresentação e Motivação da Pesquisa

Uma obra rodoviária tem custos consideráveis na sua concepção e principalmente na sua execução. Uma das principais causas é a larga utilização de equipamentos pesados nessas obras, tanto para serviços de terraplenagem quanto nos de pavimentação. Estes serviços requerem processo executivo mecânico devido à sua natureza, diversificação e magnitude dos quantitativos.

Segundo Abram (2001), os equipamentos apresentam mais relevância sobre o orçamento de uma obra do que os materiais e a mão de obra. Um minucioso estudo e planejamento dessas obras podem contribuir para um melhor aproveitamento no uso dos equipamentos.

As particularidades de uma obra exigem que durante a elaboração de um orçamento o engenheiro de custos verifique a compatibilidade do equipamento selecionado com a obra ou o serviço cujos custos estão sendo estimados. Isso não é algo fácil, tendo em vista a quantidade de variáveis existentes no cálculo da sua produção e custos.

Nesse contexto, a etapa de seleção do equipamento requer muita atenção devido aos altos investimentos necessários para a compra do equipamento, além dos custos relacionados à sua utilização e manutenção. Uma seleção correta é de grande importância e acarreta uma minimização dos custos horários, ganho de produtividade e redução do tempo de retorno do capital investido.

Em análise aos Sistemas de Referência utilizados no Estado do Ceará para a orçamentação de obras rodoviárias, como a SEINFRA (Tabela de Custos de Referência da Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará) e o SICRO (Sistema de Custos de Obras Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes – DNIT), pôde-se observar que a motoniveladora é um dos equipamentos mais utilizados nas composições como insumo nos serviços em que o processo envolva a movimentação de terra, pavimentação e conservação, corroborando Soares (2015) quando apresentou que a motoniveladora está presente em 76,47% das composições do SICRO-2 na etapa de

terraplenagem.

A motoniveladora é a máquina mais versátil no trabalho de mistura de materiais na pista, reunindo todas as propriedades dos outros equipamentos indicados para a elaboração desta etapa construtiva (SOTOMAYOR, 2008).

Embora demonstrada a importância da motoniveladora, são escassas as publicações relacionadas à produtividade, custos horários e seleção deste equipamento na literatura técnica e científica.

Kadivar (2016) estuda os fatores de trabalho e de gerenciamento que afetam a produtividade de motoniveladoras. No Brasil, o estudo realizado por Soares (2015) propõe a seleção de motoniveladoras com base na sua produção através do desenvolvimento do *software* denominado SADPATROL. O referido estudo analisou o modelo utilizado no cálculo da produtividade e as variáveis de entrada relevantes que influenciam no resultado do cálculo.

Alguns outros estudos realizados para a seleção de equipamentos, como para retroescavadeiras ou escavadeiras e caminhões, utilizaram a método estatístico da regressão linear. Podem-se citar as pesquisas desenvolvidas por Smith (1999), Edwards e Holt (2000), Sayadi *et al* (2012), Calhau (2013) e Rashid, Nejad e Maghiar (2014). Segundo Sayadi *et al* (2012), a análise de regressão é uma ferramenta extremamente poderosa que permite ao pesquisador saber mais sobre os relacionamentos dentro dos dados em estudo.

Na seleção de motoniveladoras, por meio de consultas aos catálogos de fabricantes, são obtidos os valores do Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina como características principais de seleção do equipamento.

1.2 Problema da Pesquisa

Considerando a dificuldade em associar as características técnicas fornecidas pelo fabricante com a produtividade e os custos horários para a seleção de uma motoniveladora na elaboração de um orçamento e diante da necessidade de obter menores custos para a execução de um serviço, tem-se que o problema de pesquisa desta Dissertação pode ser resumido na seguinte questão:

Como realizar a seleção de uma motoniveladora com base na estimativa de custos horários e produtividade recorrendo apenas às especificações comerciais?

1.3 Objetivos

O objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho são:

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo que auxilie na seleção de motoniveladoras durante a elaboração de orçamentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) compreender o problema da seleção de motoniveladoras e as características técnicas disponíveis para a sua seleção;
- b) identificar a forma de elaboração de orçamento em obras rodoviárias envolvendo a análise do equipamento a ser utilizado;
- c) obter dados (características técnicas e valor de aquisição) das motoniveladoras comercializadas no mercado de Fortaleza/CE para a construção do modelo;
- d) analisar os parâmetros de cálculo da produção e adotar modelo determinístico para o cálculo da produção;
- e) analisar os parâmetros de cálculo dos custos horários e adotar modelo determinístico para o cálculo destes;
- f) desenvolver o modelo para a estimativa dos custos horários e produtividade de motoniveladoras com base nas características principais da motoniveladora;
- g) testar e validar o modelo criado.

1.4 Materiais e Métodos

Como materiais foi utilizado uma amostragem de 17 motoniveladoras, considerando esta toda a população de motoniveladoras vendidas em Fortaleza/CE durante a pesquisa. Nesta, foram obtidas as características e os parâmetros necessários ao estudo.

O estudo realiza uma pesquisa aprofundada sobre a relação existente entre as

características do Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina das motoniveladoras à sua produção e aos custos horários através do método estatístico de correlação e da análise de regressão linear (simples e múltipla). Modelos determinísticos utilizados pelo DNIT para o cálculo da Produção, Custo horário produtivo e Custo horário improdutivo são utilizados para a obtenção dos valores das variáveis dependentes.

1.5 Etapas da Pesquisa

As etapas necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa são as seguintes:

- a) revisão bibliográfica;
- b) obtenção de modelo determinístico para o cálculo da produção, análise dos parâmetros e estabelecimento de premissas;
- c) obtenção do modelo determinístico para o cálculo dos custos horários, análise dos parâmetros e estabelecimento de premissas;
- d) levantamento dos dados das motoniveladoras (características técnicas e valor de aquisição) comercializadas em Fortaleza/CE;
- e) desenvolvimento do modelo para o cálculo dos custos horários e produção de motoniveladoras;
- f) aplicação do modelo desenvolvido;
- g) análise e discussão dos resultados;
- h) conclusão da pesquisa.

1.6 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi dividido em sete partes, conforme a seguir apresentado:

Na seção 1 são apresentadas a motivação da pesquisa, os objetivos do trabalho, os materiais e método adotado, as etapas realizadas e a estrutura do texto da dissertação.

Na seção 2 é apresentada a importância das motoniveladoras, estudos relacionados a seleção de motoniveladoras e as características técnicas estudadas.

Na seção 3 é apresentada uma revisão bibliográfica dos investimentos em obras rodoviárias e como é elaborado um orçamento de obra pública rodoviária em relação à escolha do equipamento adequado à execução do serviço.

Na seção 4 é definido e demonstrado o cálculo da produção de motoniveladoras

e analisados os parâmetros adotados para este cálculo.

Na seção 5 é definido e demonstrado o cálculo dos custos horários de motoniveladoras e analisados os parâmetros de cálculo destes custos.

Na seção 6 é apresentado o modelo desenvolvido para seleção de motoniveladoras. São definidas as premissas e considerações sobre a elaboração do modelo. É apresentado o comportamento das variáveis analisadas no estudo de correlação e de regressão, realizada a análise dos resultados, o teste de validação e a aplicação do modelo.

Na seção 7 são apresentadas as conclusões obtidas com a presente pesquisa, limitações e propostas de desenvolvimento futuro, resultantes do trabalho desenvolvido.

2 SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS

Nesta seção do trabalho é apresentada a importância do equipamento motoniveladora nas atividades presentes em obras rodoviárias, o estado da arte na seleção desse equipamento e as características técnicas estudadas.

2.1 Importância das Motoniveladoras

ISO (2013) define motoniveladora (Figura 2.1) como uma máquina automotriz de rodas com uma lâmina ajustável posicionada entre os eixos dianteiro e traseiro, que pode ser equipada com uma lâmina montada na frente ou escarificador que também pode ser localizado entre os eixos dianteiro e traseiro. O *ripper* é montado na parte traseira e também é conhecido como escarificador.

Figura 2.1 - Motoniveladora e seus componentes



Fonte: CATERPILLAR – Folheto Técnico (2018)

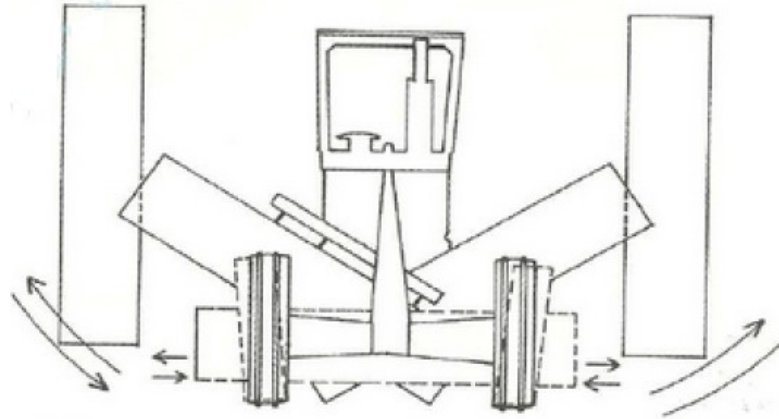
De acordo com ISO (2012), a motoniveladora é projetada principalmente para nivelamento, inclinação, escavação e escarificação de materiais através de seu movimento de avanço.

Segundo Day (1989), a função da motoniveladora consiste em nivelar, modelar ou dar a declividade necessária ao material em que se trabalha, para dar-lhe uma configuração predeterminada.

Jaworski (1997), descreve que a lâmina (Figura 2.2) possui variada movimentação, pois pode ser levantada ou abaixada, girar em torno de um eixo e ter o

movimento de translação provocado pelo deslocamento do seu conjunto. Complementa que ela é adequada para conformar superfícies e taludes, abrir valetas de pouca profundidade e espalhar materiais sobre superfícies.

Figura 2.2 - Posições da lâmina (Motoniveladora)



Fonte: Ricardo e Catalani (2007)

Na construção de pavimentos rodoviários, as principais aplicações das motoniveladoras são misturar e espalhar materiais (Figura 2.3) para formar as camadas do pavimento e dar acabamento das superfícies de solos estabilizados. A mistura consiste em espalhar o material depositado na pista, que após receber umidade, passa a ser movimentado de um lado para outro pela motoniveladora, para a homogeneização do mesmo. Por fim, quando o material atinge a umidade ótima, a motoniveladora promove o espalhamento e o nivelamento, deixando o material na cota de ser compactado.

Figura 2.3 - Motoniveladora em atividade de espalhamento



Fonte: CATERPILLAR – Folheto Técnico (2018)

Day (1989) afirma que a motoniveladora também serve para misturar materiais asfálticos com agregado para construção de um pavimento flexível.

No mecanismo de funcionamento de uma motoniveladora, os eixos é quem transferem tração para o solo e, o círculo de giro ou aro metálico, o qual sustenta a lâmina, permite grandes alternativas de trabalho, ou seja, que a lâmina seja abaixada ou levantada no todo ou em um de seus cantos. O trabalho é realizado pela lâmina, escarificador ou *ripper*.

Baesso e Gonçalves (2003), descreve que a lâmina da motoniveladora constitui o seu componente de maior importância. Em alguns casos, a lâmina pode ser alongada à direita ou à esquerda. O material utilizado em sua fabricação garante a performance na capacidade de corte e também de durabilidade, devido a sua maior ou menor resistência a abrasão.

A lâmina tem um formato curvo (Figura 2.4) que permite que o material escavado role à frente após o corte ou que seja empurrado, sendo descarregado de acordo com o posicionamento da lâmina e a medida que o equipamento avança.

Figura 2.4 - Movimentação do material à frente da lâmina



Fonte: Jaworski (2011)

Segundo Caterpillar (2009), os escarificadores são utilizados para a desagregação de solos duros e irregulares antes da atividade de laminação. São hastes de aço, dotadas de uma ponta substituível, também de aço, porém de maior dureza que são cravadas no solo e arrastadas pela força de tração da motoniveladora.

Segundo Caterpillar (2009), os ríperes são escarificadores de porte mais reforçado e geralmente penetram no solo de 150 a 300mm enquanto que os escarificadores penetram a uma profundidade de 25 a 200mm. Ambos podem ser usados para misturar agregados.

2.2 Alguns estudos na Seleção das Motoniveladoras

A seleção de motoniveladoras não é um processo simples. Para Ricardo e Catalani (2007), o problema da dificuldade da seleção de equipamentos está na análise de todos os fatores que exercem influência no comportamento dos equipamentos, pois são vários os parâmetros que precisam ser determinados.

Segundo Kadivar (2016), a produção de equipamentos de nivelamento é uma base importante para a sua seleção, seja para realizar uma operação, bem como para análise econômica e decisão de substituição de equipamentos.

Para Rashid, Nejad e Maghiar (2014), a estimativa de produtividade das máquinas de construção é um desafio significativo enfrentado por muitos empreiteiros de terraplenagem. Tradicionalmente, os empreiteiros usam catálogos de fabricantes ou simplesmente confiam nas experiências do pessoal do local para estimar as taxas de produção de equipamentos.

Em relação à estimativa de custos, Sayadi *et al* (2012) descreve que a estimativa de custos adequada é uma das tarefas mais críticas em estudos de viabilidade de seleção de frota de equipamentos. A seleção e avaliação do manuseio de equipamentos é um procedimento complexo que requer trabalho, conhecimento e experiência das técnicas de estimativa de custos.

No sentido de suprir a necessidade de auxílio no apoio a tomada de decisões no processo de seleção de equipamentos, estudos vêm sendo desenvolvidos para a criação de métodos e modelos que auxiliem a seleção de equipamentos na área de construção rodoviária e também de mineração.

Soares (2015), em seu estudo, verificou individualmente a influência das variáveis de entrada no cálculo da produtividade de uma motoniveladora. As variáveis estudadas foram o comprimento da lâmina (l), velocidade média (v), número de passadas (n) e fator de eficiência (i). Dentre os parâmetros analisados, o fator de eficiência foi o que demonstrou maior proximidade com a realidade das planilhas do sistema desenvolvido (SADPATROL).

Kadivar (2016) conclui em sua pesquisa que a produtividade de uma motoniveladora depende das condições de trabalho e das condições de gestão. Tempo de trabalho, espaço de trabalho e condições do solo são os principais fatores que influenciam a produção.

Considerando os demais estudos desenvolvidos, verificou-se que alguns

utilizaram o método estatístico de regressão. Em síntese, os estudos ou análise de regressão e correlação permitem conhecer mais sobre as variáveis em estudo. Segundo Rashid *et al* (2014), uma regressão linear é o método mais simples e direto de prever uma variável dependente desconhecida, no entanto os modelos de regressão linear não são as mais precisas ferramentas para prever a produtividade de equipamentos de construção já que o problema do cálculo de produtividade é extremamente complexo e o número de variáveis é excessivamente amplo.

No entanto, diversos estudos para a seleção de equipamentos foram realizados utilizando a metodologia estatística da regressão linear, podendo-se citar as pesquisas desenvolvidas por Smith (1999), Edwards e Holt (2000), Sayadi *et al* (2012), Calhau (2013) e Rashid, Nejad e Maghiar (2014).

No estudo de Smith (1999), foram analisadas regressões lineares para a produtividade de operações de terraplenagem. Edwards e Holt (2000) analisam por meio de regressão linear múltipla a relação do tempo de ciclo de uma escavadeira com as variáveis ângulo de giro, peso da máquina e profundidade de escavação. Sayadi *et al* (2012) apresentam, para retroescavadeiras, dois modelos para o cálculo da estimativa do Custo de Propriedade e do Custo Operacional utilizando métodos estatísticos de regressão exponencial simples e regressão linear múltipla.

Calhau (2013) apresenta um método para o cálculo de custos horários, de escavadoras giratórias, com recurso à regressão exponencial simples e à regressão linear múltipla. Na abordagem de Calhau (2013) foram adotadas como variáveis independentes o peso operacional, a potência do motor e a capacidade da concha. Rashid, Nejad e Maghiar (2014) propõem um método misto de regressão linear e rede neural para o cálculo da produtividade de escavadeiras.

De acordo com o método de regressão, a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, ou seja, uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação da(s) variável(is) independente(s). De forma a tentar estabelecer a equação que representa o fenômeno cria-se um gráfico, chamado de diagrama de dispersão, para verificar como se comportam os valores da variável dependente em função da variação da variável independente.

2.3 Características técnicas da Motoniveladora avaliadas no estudo

De um modo geral o que melhor caracterizam uma motoniveladora são a sua Largura da Lâmina, Peso Operacional e Potência. Ressalta-se que embora existam outras características, estas são tidas como as principais.

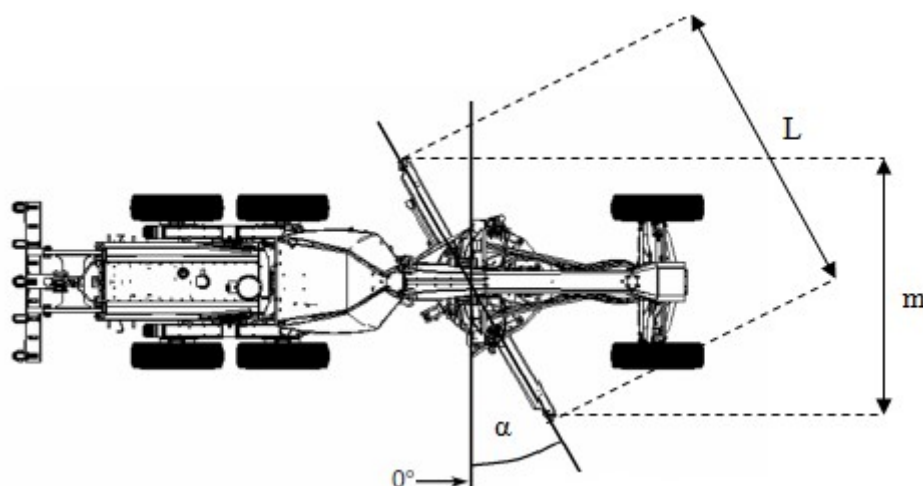
A seguir, descrevem-se as características técnicas da motoniveladora avaliadas no estudo.

2.3.1 Largura da Lâmina

A lâmina, na maioria das operações, trabalha em posição horizontal ou próxima desta. Ocorre também a inclinação da lâmina (Figura 2.5) em relação ao plano do terreno de modo a possibilitar a adequada movimentação do material, que será depositado em leiras ou espalhado na espessura adequada. A capacidade de escavação e a força de tração são muito dependentes deste ângulo de ataque da lâmina.

Segundo Caterpillar (2009), devido a angulação da lâmina durante a movimentação do material, um comprimento efetivo deve ser calculado para considerar esta angulação, determinando assim a largura do material movimentado pela lâmina.

Figura 2.5 - Motoniveladora (visão em planta)



Fonte: Caterpillar (2009), adaptado pelo autor.

Esse comprimento efetivo ocasionado pela angulação da lâmina dá origem a uma largura útil da passada, a qual depende do ângulo utilizado para a operação com a

motoniveladora. Para a determinação da largura útil da lâmina utilizam-se princípios de razões trigonométricas através da Equação 2.1.

$$m = \cos \alpha \times L \quad (2.1)$$

em que:

m : largura útil da lâmina (m);

α : ângulo formado pela lâmina (°);

L : largura real da lâmina (m).

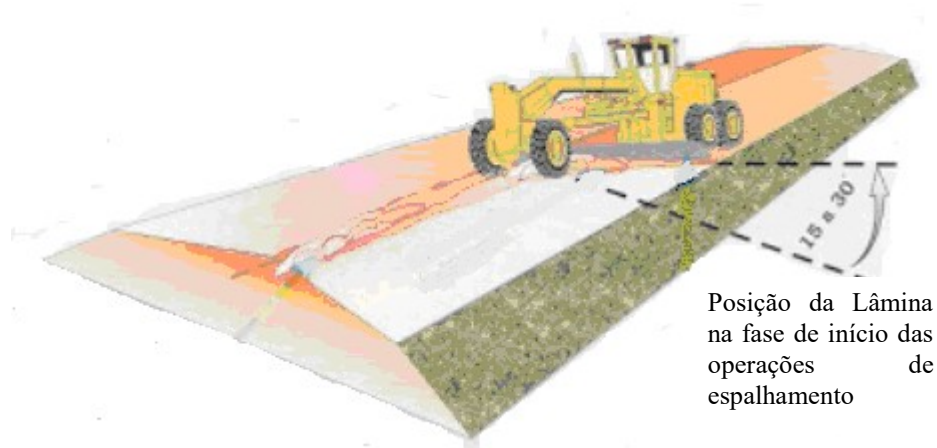
Segundo Ricardo e Catalani (2002), para compensar as forças excêntricas originadas quando se aplica a lâmina angulada e, sobretudo, inclinada lateralmente, as rodas dianteiras podem ser inclinadas, de maneira a contrabalançar aos esforços surgidos.

Algumas vezes esses equipamentos estão equipados com controles de lâmina automático para fazer o trabalho de nivelamento de forma mais precisa. Segundo Day (1989), isso permite que o operador defina a inclinação desejada da lâmina e atenda a uma linha de graduação estabelecida.

Abram (2000), descreve que para melhorar o rendimento da motoniveladora, o espaçamento entre as pilhas deixadas pelos caminhões basculantes deve ser aumentado para reduzir a resistência de uma pilha apoiando à outra. O espaçamento entre pilhas depende da potência da motoniveladora.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), na atividade de espalhamento (Figura 2.6) a lâmina deve estar posicionada inicialmente variando de 15 a 30° no sentido eixo-bordo e posteriormente mantém-se entre 30 e 40°. A medida que o equipamento se move a frente e a lâmina se enche de material, o operador deve diminuir sua angulação bem como suspendê-la levemente de forma que o espalhamento se realiza de modo uniforme em toda a superfície.

Figura 2.6 - Angulação formada pela lâmina durante operação final de espalhamento



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003), adaptada pelo autor.

Segundo Soares (2015), a variação da largura real da lâmina quanto de sua angulação produzem alterações nos resultados finais de produção. A utilização de um tamanho de lâmina como padrão para os cálculos de produção não atende a abrangência de produções que podem ser obtidas com os equipamentos disponíveis hoje. Outra questão é o valor médio de angulação utilizado no cálculo, que não é representativo da realidade encontrada em campo.

2.3.2 *Peso Operacional*

Segundo Caterpillar (2009), o peso operacional de uma motoniveladora é o peso de uma máquina de configuração padrão com lâmina e escarificador, tanque de combustível cheio, lubrificantes, líquido arrefecedor e operador.

De acordo com Jaworski (1997) é através do peso de um equipamento que é obtido a resistência ao rolamento, força paralela ao terreno que se opõe ao rolamento das rodas de um equipamento.

[...] Ao considerar a produtividade da motoniveladora, é necessário que se obtenha um equilíbrio ideal entre a parte dianteira da máquina e os pesos traseiros. Se houver muito peso sobre o eixo dianteiro da máquina é possível que haja uma alta pressão sobre a lâmina e a máquina carecerá de peso traseiro e tração necessários para empurrar a carga. Se houver muito peso sobre a traseira, a parte dianteira da

máquina não possuirá peso suficiente para manter um bom controle da direção durante os serviços pesados de corte (Caterpillar, 2009).

Dessa forma, para a motoniveladora, o peso também influencia no cálculo de dois parâmetros de desempenho da operação da lâmina. São estes a força da lâmina e pressão sobre a lâmina.

2.3.3 Potência

A Potência de um motor é definida pela física como o trabalho, por ele realizado, em um determinado intervalo de tempo, conforme demonstrado pela Equação 2.2. Normalmente essa potência é classificada como uma potência necessária, máxima e potência líquida, a depender respectivamente das condições locais de trabalho.

$$Pot = \frac{W}{t} \quad (2.2)$$

em que:

Pot: potência necessária (kW/h)

W: trabalho realizado (kW)

t: tempo (h)

Segundo Jaworski (1997), a potência necessária é a potência básica para que o equipamento execute um determinado trabalho. Dessa forma, para empurrar, puxar ou elevar uma carga, por exemplo, um equipamento necessita de uma potência básica. A potência máxima é aquela que o equipamento é capaz de fornecer e, a potência líquida aquela que pode ser utilizada, limitada pelas condições locais do trabalho.

A importância do estudo da potência está relacionada a dependência que as variáveis constantes do cálculo da produção de uma máquina estabelecem com a potência do equipamento e com solicitações de resistências opostas ao seu movimento. Como exemplo tem-se a velocidade de operação, a qual influencia no cálculo do tempo de ciclo e conseqüentemente na produção de uma motoniveladora.

Segundo DNIT (2010) a potência desenvolvida pelo motor, e transmitida pelos diversos sistemas mecânicos ao eixo de acionamento, é quem determina o desempenho do equipamento em serviço.

3 ORÇAMENTO EM OBRAS PÚBLICAS RODOVIÁRIAS

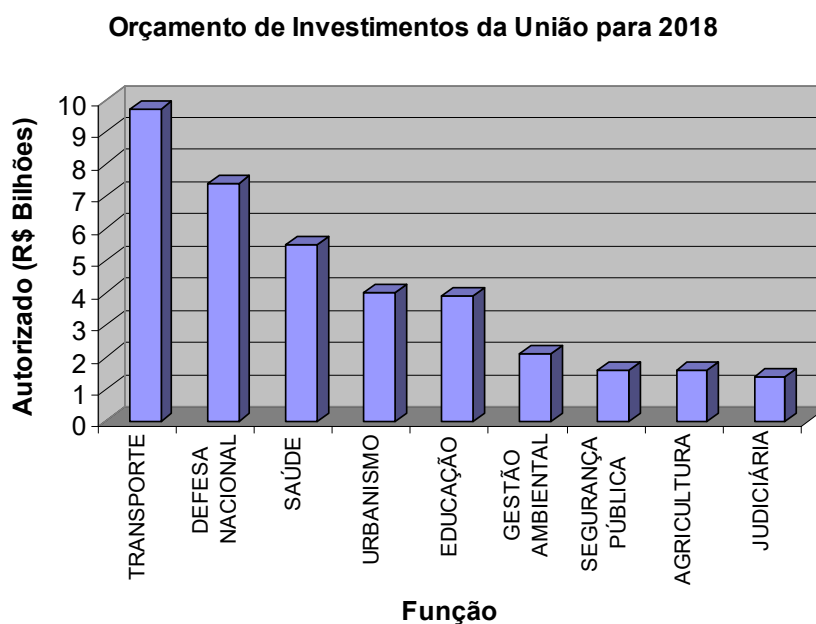
Nesta seção é apresentado um panorama dos investimentos em obras rodoviárias, enfatizando a necessidade de se obter um orçamento bem elaborado, primando pelo princípio da economicidade, como também é apresentada a sistemática na elaboração de orçamentos de obras públicas rodoviárias e as suas deficiências.

3.1 Investimentos em Obras Públicas Rodoviárias

Segundo Altounian (2008), a área de obras públicas sempre se destacou no grupo de investimentos realizados no âmbito da Administração Pública, quer pela sua materialidade, quer pela importância social da conclusão do empreendimento para a comunidade.

De acordo com os dados do sistema de informações sobre o orçamento público federal (SIGA Brasil), apresentado no site do Senado Federal, o Orçamento na Função Transporte para o ano de 2018 é o que contempla o maior valor para investimentos em comparação com as demais funções, conforme ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Orçamento de investimentos da união para o ano de 2018 por função (mais significativos)



Fonte: Elaborada pelo autor com dados do SIGA Brasil.

Brasil (2018) demonstra que dos 9,7 Bilhões aprovados para investimentos em transportes no ano de 2018, 7,7 Bilhões são reservados para o investimento no modal rodoviário, representando assim 79% do valor aprovado, conforme ilustrado na Figura 3.2. Isso demonstra a importância de estudos na área que tornem esses investimentos mais eficientes.

Figura 3.2 - Orçamento de investimentos da união para o ano de 2018 por subfunção (transportes)



Fonte: Elaborada pelo autor com dados do SIGA Brasil.

Embora seja uma das áreas que contemple uma grande importância de valores para investimentos, grande parte destes é destinada a ações de manutenção, como aponta CNT (2017).

Em 2016, o governo federal investiu R\$ 8,61 bilhões (0,14% PIB) em intervenções nas rodovias públicas federais, sendo 64,3% em ações de manutenção de rodovias distribuídas entre todas as regiões. Já em 2017, até junho, foram desembolsados R\$ 3,01 bilhões, dos quais 65,6% também foram alocados em manutenção. Apesar do aumento dos aportes em 2016, em relação ao ano de 2015 (R\$ 5,95 bilhões), a qualidade das rodovias piorou, comprometendo ainda

mais a atividade econômica.

Assim, a análise conjunta dos resultados da Pesquisa CNT de Rodovias 2017 e da execução orçamentária do governo federal aponta para uma gestão inadequada dos recursos públicos. Isto é, ainda que verbas públicas tenham sido destinadas para a correção dos problemas, as intervenções não foram eficazes, no propósito de melhoria da malha rodoviária federal (CNT, 2017).

Conforme CNT (2016) são necessários grandes investimentos de forma a recuperar rodovias em que a condição do pavimento foi considerada como desgastada, com trincas em malha, com remendos, com afundamentos, com ondulações, com buracos ou totalmente destruídas, além de recursos que devem ser destinados a adequação da capacidade das vias por meio de duplicações, bem como para construção e pavimentação de novos trechos.

Diante da elevada necessidade de investimentos em infraestrutura rodoviária e da dificuldade de obtenção do montante necessário para resolver todos os problemas demandados, considera-se que se deve sempre primar pelo princípio da economicidade na elaboração dos orçamentos de obras públicas rodoviárias. Torres (1991) define que o conceito de economicidade implica na gestão financeira e na execução orçamentária consubstanciada na minimização de custos e gastos e maximização da receita e da arrecadação.

3.2 Especificidades na Elaboração de Orçamentos

Segundo Altounian (2008), um ponto importante a ser considerado na elaboração de orçamentos de obras públicas é a dificuldade de obtenção de preços padronizados para contratação, visto que cada obra guarda em sua execução peculiaridades próprias.

As especificidades inerentes à execução de uma obra transformam cada empreendimento em um objeto singular. Cada projeto apresenta características ímpares que devem ser analisadas caso a caso durante a elaboração de um orçamento, dentre elas a seleção adequada do equipamento a ser utilizado em um determinado serviço, tendo em vista a sua produtividade e o seu custo horário, evitando assim desperdícios de tempo e custo.

Embora os diversos ramos da engenharia estejam suficientemente desenvolvidos sob o prisma técnico, ainda hoje é notória a ausência de planejamento nas obras públicas, sejam elas rodoviárias, hídricas, construção civil, entre outras.

Segundo Baeta (2012), as decisões tomadas na fase de planejamento têm impacto direto no orçamento de uma obra. O orçamento nada mais é do que uma das ferramentas do planejamento voltada para a previsão de receitas e despesas futuras. Dessa forma, toda a atenção deve ser dada durante a elaboração de um orçamento.

3.3 Sistemática na Elaboração de Orçamentos

O processo de orçamentação é um processo iterativo e dinâmico, alimentando a escolha das alternativas estudadas e, posteriormente, sendo alimentado pelas definições tomadas no decorrer do desenvolvimento dos projetos (Baeta, 2012).

As Leis de Diretrizes Orçamentárias federais, desde a Lei 10.524/2002 (LDO/2003) até a Lei 12.708/2012 (LDO/2013), e mais recentemente o Decreto Federal 7.983/2013, determinam que, no caso de orçamentos de referência de obras públicas, devem ser adotadas as produtividades e consumos utilizados pelos sistemas referenciais de custos, sempre se tomando o cuidado de buscar aquele serviço que mais se assemelha às condições particulares da obra a ser orçada (TCU, 2014).

Corroborando, o DNIT (2017a) traz expressamente que a utilização indiscriminada dos preços divulgados pelo Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO, sem o devido tratamento que a elaboração de um orçamento para contratação de obras públicas requer, independentemente do nível de detalhamento do projeto, constitui grave erro para a correta formação dos preços das obras de infraestrutura de transportes.

Para se tomar o custo de um serviço como referência na elaboração de orçamentos, o Instituto de Engenharia (2011) estabelece que é necessário demonstrar que os serviços considerados no sistema de referência e na obra são similares, ou seja, tenham as mesmas características, especificações técnicas e condições semelhantes para a execução. Também esclarece que os custos de referência são apenas balizadores e não têm caráter de precisão absoluta.

O IBEC (2013) também ressalta que o engenheiro de custos deve analisar a compatibilidade entre a composição de custos existente no sistema de referência e a obra ou o serviço cujos custos estão sendo estimados. Caso os sistemas referenciais existentes não se apliquem à obra cujos custos estão sendo estimados, o engenheiro de custos deve elaborar composições apropriadas aos serviços da obra.

É oportuno destacar que a análise de composições de custo unitário é, em alguns casos, tarefa complexa que exige profundos conhecimentos de engenharia e da técnica executiva do serviço a ser avaliado.

Nas composições de serviço dos sistemas referências de custos SICRO e SEINFRA, as parcelas referentes aos equipamentos e mão de obra são definidas no formato horário e as parcelas referentes aos materiais, serviços auxiliares e transportes são definidas no formato unitário. Dessa forma, são chamadas assim de composições mistas. Na tabela de referência SEINFRA, composições que utilizam apenas mão de obra e equipamentos são compostas no formato puramente unitário.

Durante a confecção das composições de custos são adotadas premissas, as quais são obtidas a partir de informações técnicas, manuais, catálogos, especificações de serviços, observações de campo e procedimentos executivos que atentem para critérios técnicos de economicidade, racionalidade e eficiência. Essas premissas envolvem estimativas do consumo de cada material e coeficientes de produtividade da mão de obra e dos equipamentos associados à execução do serviço.

Seguindo a lógica que a maioria dos equipamentos não desenvolve suas atividades durante todo o ciclo de produção de um serviço, uma vez que ficam em função do equipamento líder da patrulha, estes passam a ter custos produtivos e improdutivos. Para isso, as composições também segregam os custos com equipamentos em duas parcelas: custos operativos e custos improdutivos.

De forma a obter a maior economicidade no trabalho executado pela patrulha, esse equipamento líder geralmente é o que tem o maior custo horário. Ocorre também deste ser tido como o líder devido a sua relevância no processo executivo.

A quantificação do serviço realizado durante um ciclo e seu tempo total de duração é fundamental para se determinar a produção horária do equipamento e, para dimensionar e equilibrar o restante dos equipamentos que com ele formam patrulha, bem como para calcular a produção da própria patrulha (DNIT, 2017a).

Embora haja essa necessidade, ainda hoje a escolha de motoniveladoras é baseada em produções obtidas a partir de dados contidos nos catálogos de fabricantes.

DNIT (2017a) utiliza CATERPILLAR (1995) como fundamento para os seus cálculos de produtividade e custos. Quando não, a escolha é sempre baseada em experiência humana em trabalhos anteriores realizados. Dessa forma é grande o empirismo envolvido no processo de escolha das máquinas, não existindo assim sistemas de apoio a decisão, bem como metodologias ou modelos que auxiliem a escolha correta do equipamento baseado em critérios de custo e produção.

No caso de equipamentos novos, em que o referencial teórico indica ser necessário realizarem testes e aferir a sua produtividade em campo, isso não é cumprido, sendo difícil associar as características do equipamento à sua produção e custos horários.

Diante deste contexto, a problemática da elaboração de um orçamento ocorre desde a metodologia utilizada para estabelecer premissas na obtenção das produções e custos horários, que geralmente adota uma composição de serviço e não a atualiza como necessário. Além disso, quando são utilizados dados de manuais de fabricantes, estes são tidos como verdadeiros, não ocorrendo a verificação quanto a sua adequação a situação real.

Acontece ainda de existir divergências entre sistemas de referência para um mesmo serviço. Como exemplo, tem-se que o sistema de referência SICRO diverge da tabela de referência SEINFRA para o serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal. No Quadro 3.1 é demonstrada a diferença da motoniveladora utilizada para ambos os sistemas referenciais.

Quadro 3.1 - Comparação da motoniveladora utilizada nas referências SICRO e SEINFRA

SICRO		SEINFRA	
Modelo	120K (Caterpillar)	Modelo	Não disponível
Potência (kW)	93	Potência (kW)	104,4
Potência (HP)	124,7	Potência (HP)	140
Peso (kg)	13.032	Peso (kg)	Não disponível
Largura da Lâmina (m)	3,66	Largura da Lâmina (m)	3,66
Tipo de combustível	Diesel	Tipo de combustível	Diesel

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos do DNIT (2017 a, b, c e d), SIPROCE e Produção de Equipes Mecânicas (SEINFRA).

Os dados apresentados para o SICRO estão atualizados pela sua última versão, conhecida como novo SICRO. Nesta atualização do SICRO, foi realizada a revisão dos parâmetros de vida útil e de valor residual dos equipamentos e a inclusão de parcela de oportunidade do capital no custo horário produtivo e dos custos de propriedade no custo horário improdutivo dos equipamentos.

4 PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Nesta seção são apresentados os princípios que norteiam o cálculo da produção de uma motoniveladora. É apresentado também a motoniveladora no serviço de Aterros e o modelo de cálculo da Produção, como também os parâmetros adotados para a tarefa de mistura e espalhamento realizada pela motoniveladora durante a Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal.

4.1 Produção das Equipes Mecânicas

Na fase de planejamento dos custos e da execução de um serviço, uma das ações iniciais se refere à escolha e ao dimensionamento de uma equipe mecânica que seja compatível com o tipo de obra e que tenham equipamentos de desempenho similares, visando o aproveitamento do conjunto, com objetivo de reduzir a ociosidade de um equipamento em relação a outro ou mesmo ao líder da equipe (DNIT, 2017a).

O desempenho de um equipamento pode variar de acordo com fatores naturais como materiais, clima, topografia, nível freático ou até mesmo fatores de projeto como volumes, profundidades e distâncias. Para a seleção correta, é necessário o conhecimento e análise de todos esses fatores.

Segundo Soares (2015), a estimativa de taxas de produção ainda é muito dependente de dados históricos das construtoras e das opiniões de especialistas. A multiplicidade e interdependência de fatores envolvidos na análise e seleção de equipamentos somados ao empirismo contido na seleção tradicional realizada através de experiência de profissionais são motivos da crescente busca por desenvolvimento de sistemas especialistas.

Segundo DNIT (2017a), a determinação da produção das equipes mecânicas constitui elemento fundamental para formação dos custos unitários dos serviços. Pode ser determinada por métodos teóricos ou empíricos e que levam em consideração informações de fabricantes, catálogos de equipamentos, experiência de profissionais e critérios técnicos fundamentados em conceitos de engenharia. Além destes, tem-se o que é considerado mais importante, que são as informações de aferições de produções de serviço no campo através de trechos experimentais.

Os métodos teóricos de cálculo de produção mecânica compreendem a utilização de fórmulas e ábacos específicos por tipo de

equipamento. As fórmulas normalmente consideram diversas variáveis intervenientes, que são função das características dos equipamentos e do serviço (DNIT, 2017a).

Constitui sempre uma boa prática, se a obra estiver em andamento, a verificação *in loco* da produtividade obtida na execução do serviço, bem como quais são efetivamente os equipamentos que estão sendo utilizados, de forma a confirmar o que inicialmente foi planejado pelo órgão contratante.

Nos casos de obras concluídas, quando se dispõe das medições de serviços, diário de obras e outras fontes de consulta, podem-se estimar o quantitativo médio de serviço que foi executado ao longo das medições e, indiretamente, estimar a produtividade obtida no serviço.

Para a elaboração do planejamento e orçamentos de referência em obras públicas rodoviárias federais a obtenção dos coeficientes de produtividade deve ser realizada por meio de análise a composições de custos unitárias existentes em sistemas referenciais de preços, conforme determina o Decreto federal 7.983/2013 (Brasil, 2013). No caso de tal determinação, tinha-se à época o SICRO-2, atualmente novo SICRO ou SICRO.

De forma a estabelecer as premissas e os parâmetros para o cálculo da produção, é necessário o conhecimento das nuances do projeto, da especificação do serviço e do local a ser realizado o serviço. Quando ocorre do engenheiro de custo já conhecer os custos horários da sua equipe mecânica e a produção destas máquinas, além dos coeficientes unitários de consumo e custos dos demais insumos como materiais e mão de obra, tem-se a determinação do custo unitário do serviço com maior facilidade.

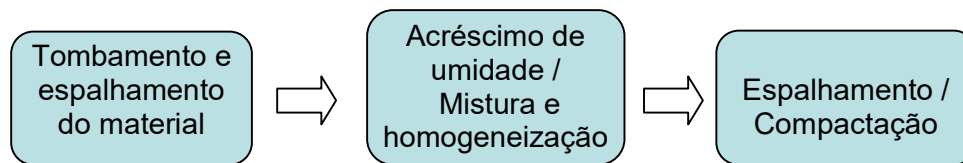
4.2 Motoniveladoras na execução de Aterros

Para Ricardo e Catalani (2007), nas tarefas de espalhamento e regularização de camadas de terra para a compactação de aterros, a produção é determinada pelo número de passadas de ida e retorno da lâmina do equipamento. A espessura solta do material a ser espalhado pode ser calculada em função da espessura da camada acabada, limitada a espessura máxima de 30 cm para cada camada compactada referente ao corpo de aterro e 20 cm para a camada final, conforme especifica DNIT (2009).

Na execução de aterros, o serviço de compactação de aterros consiste nos procedimentos básicos de tombar e espalhar o material através de um trator de esteira ou

motoniveladora, acrescentar água até atingir a umidade ótima utilizando um caminhão pipa, promover a mistura e homogeneização utilizando um trator com grade de discos e uma motoniveladora, espalhamento deste material através da motoniveladora e logo após realizar a compactação utilizando um rolo pé de carneiro. Para demonstrar a lógica do processo utilizado na execução do serviço de compactação de aterros na terraplenagem, tem-se a Figura 4.1.

Figura 4.1 - Processo do serviço de compactação de aterros



Fonte: Próprio autor

Segundo DNIT (2018), para o serviço analisado quem comanda o ritmo da equipe é o rolo compactador com produção de 168,20m³, conforme pode ser visto em DNIT (2018) em sua composição de serviço Compactação de aterros a 100% Proctor normal do SICRO (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Equipamentos na composição unitária do serviço de compactação (SICRO).

DNIT

CGCIT

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	EIC	0,01477			
Custo Unitário de Referência		Janeiro/2018	Produção da equipe	168,20 m ³			
5502978 Compactação de aterros a 100% do Proctor normal			Valores em reais (R\$)				
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,99	0,01	175,3547	50,4505	174,1057
E9518	Grade de 24 discos rebocável de 24"	1,00000	0,52	0,48	2,9648	2,0609	2,5309
E9524	Motoniveladora - 93 kW	1,00000	0,29	0,71	178,2490	79,0703	107,8321
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82 kW	1,00000	1,00	0,00	120,8574	55,0958	120,8574
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1,00000	0,52	0,48	81,4389	32,0323	57,7237

Fonte: DNIT (2018)

Na referência SEINFRA, para o mesmo serviço, quem comanda a equipe é a motoniveladora, conforme demonstrado na Figura 4.3. Como a composição da SEINFRA os equipamentos são apresentados na forma de coeficiente unitário da composição, a determinação da produção horária da equipe é obtida pela da inversão do coeficiente do

equipamento lider: $1 / 0,00444444 = 225,00\text{m}^3$. Isso representa que a motoniveladora é quem comanda a equipe com uma produção de $225,00\text{m}^3/\text{hora}$.

A diferença entra as composições ocorre porque os equipamentos que formam a equipe são divergentes entre os sistemas de referência e, por conseqüência suas produções.

Figura 4.3 - Equipamentos na composição unitária do serviço de compactação (SEINFRA).

Tabela de Custos - Versão 024					
C3146 - COMPACTAÇÃO DE ATERROS 100% PN					
Preço Adotado: 2,9700					Unid: M3
Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total
EQUIPAMENTOS (HORARIO)					
I0590	CAMINHÃO TANQUE 8.000 l (CHI)	H	0,0000	16,6988	0,0000
I0698	CAMINHÃO TANQUE 8.000 l (CHP)	H	0,0089	107,7968	0,9582
I0625	GRADE DE DISCOS (CHI)	H	0,0008	1,4398	0,0011
I0739	GRADE DE DISCOS (CHP)	H	0,0037	4,4939	0,0166
I0667	TRATOR DE PNEUS (CHI)	H	0,0008	12,9950	0,0098
I0780	TRATOR DE PNEUS (CHP)	H	0,0037	73,8610	0,2725
I0642	MOTO NIVELADORA (CHI)	H	0,0000	38,6608	0,0000
I0756	MOTO NIVELADORA (CHP)	H	0,0044	85,8430	0,8260
I0610	COMPAC. PÉ DE CARNEIRO VIBRAT. AUTOPROP. (CHI)	H	0,0018	26,3419	0,0480
I0723	COMPAC. PÉ DE CARNEIRO VIBRAT. AUTOPROP. (CHP)	H	0,0026	138,0260	0,3619

Fonte: SEINFRA (www.seinfra.ce.gov.br)

Em ambas as composições unitárias os equipamentos apresentam uma utilização produtiva e improdutiva, em relação ao tempo tido como um ciclo do serviço, ou seja, o tempo necessário para executar uma unidade do serviço.

O tempo produtivo é o tempo em que o equipamento está sendo utilizado efetivamente na execução da tarefa na frente de serviço enquanto no tempo improdutivo o equipamento encontra-se parado, com o motor desligado e em situação de espera, aguardando que algum outro membro da patrulha mecânica conclua sua parte, de modo a garantir frente para que ele possa atuar.

Dessa forma, a composição de serviço reproduz exatamente o que ocorre na prática com cada equipamento em relação ao seu comportamento na equipe para a execução do serviço.

4.3 O Cálculo da Produção para Motoniveladoras no Brasil

Segundo DNIT (2010), a produção da máquina depende do tempo de ciclo gasto na execução do trabalho. A pré-determinação correta deste tempo é o primeiro passo a ser dado no cálculo da estimativa de produção. Por conseguinte, a determinação da produção também depende de uma estimativa tanto quanto possível exata das velocidades empregadas pelo equipamento.

A produção de uma motoniveladora segue assim os princípios básicos da física, em que o Tempo de Ciclo é uma relação da distância percorrida pela velocidade empregada e geralmente é expresso em minutos.

Segundo Pereira (1961), Day (1989), Peurifoy e Schexnayder (2002) e Ricardo e Catalani (2007), o tempo requerido para realizar a tarefa de espalhamento e regularização é dada pela Equação 4.1.

$$T_{motoniveladora} = \left(\frac{d_i}{v_i} + \frac{d_r}{v_r} \right) \frac{n}{i} \quad (4.1)$$

em que:

$T_{motoniveladora}$: Tempo requerido na operação de espalhamento (min);

d_i : distância percorrida no trajeto de ida, executando a tarefa de espalhamento durante um ciclo (m);

d_r : distância percorrida no trajeto de retorno para o início de um novo ciclo de espalhamento (m);

v_i : velocidade empregada na ida, durante o espalhamento (m/min);

v_r : velocidade empregada no retorno para o início de um novo ciclo de espalhamento (m);

n : número total de passadas para espalhar ou regularizar cada camada, considerando a largura total do trabalho;

i : fator de eficiência adotado para as condições do trabalho.

Nesta equação, caso se aumente a velocidade, tanto nas fases produtiva “ v_i ” e não produtiva “ v_r ”, acarreta uma queda no tempo de trabalho “ T ” incrementando-se a produção do equipamento. O inverso também pode ocorrer, ou seja, diminuindo-se as velocidades “ v_i ” e “ v_r ”, um decréscimo na produção será ocasionado.

A velocidade de operação, abstraída a habilidade do operador, é uma variável dependente da potência do equipamento empregado e das solicitações das resistências opostas ao seu movimento (resistências de rampa, de rolamento, de inércia e do ar) (DNIT, 2010).

Quando há a necessidade de conhecer a produção em relação ao material que ela movimenta, tem-se a relação do volume transportado pelo tempo de ciclo empregado na atividade, normalmente expresso em m³/h. Pode-se obter também uma produção dependente somente da área em que é realizado o serviço, excluindo do cálculo a espessura da camada produzida, que geralmente é adotada como padrão conforme especificações de serviço. Tem-se assim a produção em m²/h.

Segundo DNIT (2017a) a produção da motoniveladora em m³/h pode ser obtida através da Equação 4.2:

$$P = \frac{d \times e \times m \times i \times 60}{n \times T} \quad (4.2)$$

em que:

d: distância percorrida pelo equipamento na operação de laminagem;

e: espessura da camada produzida, função da especificação de cada serviço;

m: largura útil da passada e que depende do ângulo da lâmina utilizado para a operação;

i: fator de eficiência adotado para as condições do trabalho;

n: número de passadas necessárias para executar a tarefa;

T: tempo de ciclo das operações necessárias à execução de uma passada.

De forma a simplificar a Equação 4.2, assim como o DNIT utiliza em suas composições do SICRO, ocorre a utilização da velocidade do equipamento (*v*) em substituição as variáveis distância (*d*) e tempo de ciclo (*T*).

Dessa forma, o cálculo da Produção passa a ser realizado através da Equação 4.3, apresentada da seguinte forma:

$$P = \frac{60 \times e \times m \times i \times v}{n} \quad (4.3)$$

De acordo Sotomayor (2008), durante a operação de uma motoniveladora o

volume real de material movido é demasiadamente variável. Nesse caso, torna-se mais significativo observar o número de passadas requeridas para que esse equipamento execute a sua atividade de espalhamento, percorrendo toda a área.

Segundo Sotomayor (2008), as variáveis “ n ” e “ e ” são dependentes entre si. Um incremento ou redução da espessura da camada “ e ” a espalhar, ocasionará maior ou menor número de passadas “ n ” necessário à execução do serviço de compactação.

4.4 Parâmetros para o Cálculo da Produção de Motoniveladoras

Segundo DNIT (2017a) são utilizados para o cálculo da produção de uma motoniveladora na atividade de mistura e espalhamento, durante a execução do serviço de compactação de aterro a 100% proctor normal, os parâmetros demonstrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros da motoniveladora Caterpillar 120 K – SICRO

Variável	Parâmetros adotados e respectivas unidades SICRO
Velocidade (v)	100 m/min
Espessura (e)	0,20 m
Fator de eficiência (i)	0,83
Largura da lâmina (L)	3,66 m
Largura de superposição	0,20 m
Largura útil (m)	3,46 m
Número de passadas (n)	6

Fonte: DNIT (2017d) , adaptado pelo autor.

Segundo Soares (2015), que utiliza o modelo matemático apresentado, os valores adotados pelo DNIT para as variáveis apresentadas tornam o resultado obtido pouco representativo da realidade. A abrangência de possibilidades de produção que cada variável engloba proporciona um resultado final diferente no cálculo da produção. Tal conclusão se deu após o teste de cada variável isoladamente e mantendo-se constante os valores das demais variáveis.

A variação estudada por Soares (2015) para cada variável de cálculo ocorreu dentro das faixas de valores que esta pode assumir para o serviço analisado pelo autor

(Compactação de aterros a 95% Proctor Normal), conforme apresentado em sua pesquisa. As variáveis estudadas foram: o comprimento da lâmina, a velocidade média, número de passadas e fator de eficiência. A variável espessura não foi estudada, uma vez que é tida como padrão nas especificações dos serviços.

Ainda em relação a pesquisa desenvolvida por Soares (2015), o fator de eficiência demonstrou ser o parâmetro, dentre os analisados em seu estudo, que melhor representa a realidade nas planilhas do sistema de referência, uma vez que o mesmo considera a questão da movimentação nas proximidades da área de trabalho e alerta ao responsável a necessidade de considerar os dias chuvosos na inclusão dessa variável nos cálculos, limitando assim a abrangência de possibilidade de valores a um número mais representativo da realidade.

Embora Soares (2015) tenha demonstrado a importância no estudo dos valores adotados para as variáveis do cálculo da produção, foi utilizado em seu Sistema de Apoio a Decisão (SADPATROL) um valor médio como default para a variável angulação da lâmina, velocidade de execução e espessura trabalhável, de acordo com o tipo de serviço.

De forma a demonstrar a divergência existente entre os sistemas de referência para um mesmo serviço e a importância em realizar a adequação da composição de serviço a realidade da obra, tem-se na Tabela 4.2 os parâmetros adotados pela SEINFRA para a atividade de mistura e espalhamento executada pela motoniveladora utilizada pela SEINFRA.

Algumas informações contidas na Tabela 4.2 foram disponibilizadas pela SEINFRA por meio dos Manuais de Cálculo de Custos Horários e de Produção e, Fichas de Produção das Equipes Mecânicas, utilizados internamente pela Célula de Normatização e Custos de Transportes e Obras – CNTO da SEINFRA. Também foram disponibilizados dados disponíveis no Sistema de Preços, Serviços de Engenharia e Orçamento – SIPROCE, utilizado na elaboração de orçamentos com base na tabela SEINFRA. Tais Manuais e Sistema são de uso interno do Governo do Estado do Ceará e não foram publicados para o acesso da sociedade.

Tabela 4.2 - Parâmetros da motoniveladora utilizada pela SEINFRA (140 HP)

Variável	Parâmetros adotados e respectivas unidades SEINFRA
Velocidade (v)	60 m/min
Espessura (e)	0,20 m
Fator de eficiência (i)	0,75
Largura da lâmina (L)	3,66 m
Largura de superposição	1,16 m
Largura útil (m)	2,50 m
Número de passadas (n)	6

Fonte: SIPROCE – SEINFRA (2017), adptado pelo autor.

5 PARÂMETROS DO CUSTO HORÁRIO

Nesta seção são apresentadas as parcelas que compõe o custo horário da motoniveladora e as variáveis que influenciam no cálculo. São apresentados também os parâmetros utilizados no cálculo do custo horário para a tarefa de mistura e espalhamento realizada pela motoniveladora durante a Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal.

5.1 Custo Horário

Segundo Mattos (2006), a maneira habitual de atribuir valor a um equipamento é por hora de utilização. Isso representa a sua parcela de custo na execução de um determinado serviço, porém, a remuneração pelo serviço geralmente é mensurada através da área ou volume executado pela equipe.

O estabelecimento de uma taxa horária ou o custo horário de um equipamento envolve um processo complexo que relaciona vários fatores, dentre eles o fato de o construtor investir certo capital que poderia estar tendo uma rentabilidade numa aplicação bancária, como também o fato do uso deste equipamento demandar despesas tanto para operação como para manutenção. Para que se torne vantagem a sua aquisição, o construtor deve recuperar com o uso do equipamento todo o desembolso ocorrido com os custos de aquisição, operação, manutenção, seguro e taxas, além dos juros referentes ao capital investido.

Segundo Calhau (2013) qualquer equipamento a operar terá custos fixos e custos variáveis. Os primeiros estão associados à disponibilidade do equipamento, podendo ser contabilizados de forma direta ou indireta em relação ao trabalho realizado. Os custos variáveis dependem apenas do trabalho realizado.

É tarefa do construtor, elaborar o seu custo horário, de forma a tornar viável a aquisição da sua frota de equipamentos. Para a administração pública, é necessário que esta possa reproduzir estes custos da forma mais real possível, em suas tabelas de referência, para assim balizar corretamente os serviços a serem contratados.

Na maior parte dos serviços os equipamentos trabalham em conjunto constituindo uma equipe mecânica, que normalmente é denominada patrulha. Quando da elaboração de um orçamento para a execução de determinado serviço, a seleção do equipamento que obtenha a produção mais adequada ao trabalho da equipe e que conduza a um menor custo, deve-se levar em consideração todas as parcelas que compõe o custo

horário, conforme Equação 5.1.

$$C_h = C_{prop} + C_{op} + C_{man} \quad (5.1)$$

em que:

C_h : Custo Horário (R\$/h);

C_{prop} : Custo de Propriedade (R\$/h);

C_{op} : Custo de Operação (R\$/h);

C_{man} : Custo de Manutenção (R\$/h).

Como cada equipamento da equipe tem a sua produção característica, porém só consegue atingir a produção do equipamento chefe da patrulha, ficando em função deste durante toda a execução do serviço, surge o conceito de tempo produtivo e improdutivo.

Segundo DNIT (2017a), durante a hora produtiva, o equipamento encontra-se dedicado ao serviço, com seus motores ou acionadores em funcionamento. Na hora improdutivo, o equipamento encontra-se parado, com o motor desligado e em situação de espera, aguardando que algum outro membro da patrulha mecânica conclua sua parte, de modo a garantir frente para que ele possa atuar.

Considerando que o equipamento não trabalha durante todo o ciclo, tem-se que o custo horário é decomposto no custo horário produtivo e custo horário improdutivo. Segundo o DNIT (2017a), o Custo horário produtivo consiste no somatório de todas as parcelas envolvidas com a operação dos equipamentos, sendo estes o custo de propriedade, de manutenção e de operação. O Custo horário improdutivo considera as parcelas do custo de propriedade, composto pela depreciação e juros e, do custo de operação, com a participação somente do custo de mão de obra.

A quantidade do equipamento multiplicada pelo seu coeficiente de utilização produtiva e improdutivo e seu respectivo valor de Custo horário produtivo ou improdutivo, somados resultam no custo horário total desta máquina, compondo assim parte da parcela de custos de equipamentos na composição de Custo unitário do serviço.

É importante considerar também que as composições de custos unitárias, para um mesmo serviço e sistema de referência, divergem com relação aos custos dos equipamentos quando estes são locados ou próprios. Segundo Baeta (2012), geralmente o custo horário para o equipamento locado é menor.

A escolha da locação ou aquisição está sujeita a uma análise econômica e a

possibilidade de se utilizar os equipamentos adquiridos em futuras obras, de forma que os custos de aquisição possam ser diluídos em vários contratos (Baeta, 2012).

5.2 Parcelas do Custo Horário

Segundo Mattos (2006), os custos envolvidos na hora do equipamento são de três famílias: propriedade, operação e manutenção.

5.2.1 *Custo de Propriedade (C_{prop})*

Os custos de propriedade são os custos advindos do capital investido na aquisição do equipamento. Estes custos são compostos pela depreciação, custos de oportunidade do capital, seguros e impostos.

5.2.1.1 *Depreciação*

Na aquisição de um equipamento, o valor investido inicialmente sofre desvalorização ao longo do tempo, seja ele por idade, tempo de uso, desgaste ou obsolescência. Ocorre assim uma diminuição do valor contábil, definindo-se como depreciação.

Alguns conceitos estão envolvidos no cálculo da depreciação, como a vida útil do equipamento, valor de aquisição e valor residual.

A vida útil refere-se ao período de tempo em que o equipamento trabalha de forma eficiente e produtiva. Segundo DNIT (2017a), neste período, o equipamento é submetido apenas às manutenções programadas e não ocorre a troca dos principais componentes (motor, transmissão, sistemas hidráulicos, etc). A vida útil é então estimada com base neste tempo de utilização.

O valor de aquisição é o valor pelo qual o equipamento foi adquirido acrescido dos devidos impostos, despesas com frete, seguro e armazenamento, enquanto o valor residual é aquele estimado para sua venda após o final da vida útil. Normalmente adota-se um valor de 20% a 30% do valor de aquisição, porém, depende da procura pelo equipamento no mercado, como também de opção do proprietário de depreciá-lo por completo.

Além dos conceitos, há também alguns métodos para o cálculo dessa parcela

de custo horário. Normalmente se utiliza, pela simplicidade, o método linear. São estes os métodos:

- **Método linear**

Segundo Baeta (2012), esse método assume a hipótese da depreciação variar de forma uniforme ao longo da vida útil. Conforme Mattos (2006) a perda de valor é constante ao longo dos anos e independente da idade da máquina naquele período.

Segundo Mattos (2006), matematicamente o cálculo da depreciação é feito dividindo-se a diferença entre o valor residual (V_r) e o valor de aquisição (V_o) pela vida útil do equipamento N expressa em anos, conforme Equação 5.2.

$$D_r = \frac{V_o - V_r}{N} \quad (5.2)$$

Há ainda a opção de considerar somente as horas efetivamente trabalhadas durante a vida útil no cálculo da depreciação.

- **Método da percentagem constante**

Esse método estabelece uma depreciação constante, em percentagem e, contínua em cada período, igual ao valor de uma taxa calculada que é aplicada ao valor residual do período anterior, isto é, a depreciação no final de um período é igual ao produto do valor residual do início pela taxa calculada, sendo o valor da taxa função do tempo de amortização, do valor do bem quando novo e do valor residual ou valor de sucata.

Os valores calculados por este método são boas aproximações da realidade do mercado, quando comparados com os valores obtidos por meio de pesquisas no mercado de máquinas e equipamentos usados (Baeta, 2012).

Conforme demonstrado por Baeta (2012), se “ I_d ” é taxa de depreciação em um ano “ n ” e este, um ano qualquer, a depreciação para esse ano será calculada conforme Equação 5.3.

$$D_r = Id \times (1 - Id)^{n-1} \times V_o \quad (5.3)$$

em que:

V_o : Valor de aquisição;

V_r : Valor residual.

- **Método da soma dos anos**

Esse método indica que a desvalorização real ocorrida com os equipamentos num mercado não segue uma linha reta. A perda do valor comercial é acentuada nos primeiros anos, tendendo a estabilizar-se com o decorrer do tempo (Baeta, 2012).

Segundo Baeta (2012) se “ N ” é a vida útil do equipamento e “ n ” um ano qualquer, a razão da depreciação neste ano é expressa através da Equação 5.4.

$$D_r = \frac{n}{(N \times (n + 1)) / 2} \times (V_o - V_r) \quad (5.4)$$

em que:

V_o : Valor de aquisição;

V_r : Valor residual.

- **Método do saldo devedor (exponencial)**

Segundo Mattos (2006), a essência desse método é tornar a depreciação proporcional ao estado do equipamento, ou seja, depreciar o equipamento mais nos seus primeiros anos de vida útil. Isso permite ao construtor uma depreciação mais rápida e um custo de propriedade menor para os equipamentos em idade avançada.

Nesse método, a depreciação é sempre calculada sobre o saldo não depreciado, ou seja, a diferença entre o valor original (V_o) e o total depreciado até o momento. Segundo Mattos (2006), o valor residual (V_r) não é levado em conta na Equação, somente no cálculo da última parcela, quando o saldo final deve ser igual ao valor residual. Uma outra questão nesse método de depreciação é a de que o percentual cobrado ano a ano é o dobro do utilizado na depreciação linear, conforme demonstra a Equação 5.5.

$$Tx(a.a) = \frac{2 \times 100\%}{N} \quad (5.5)$$

em que:

N : vida útil estimada (em anos)

Conforme demonstrado por Mattos (2006) após o cálculo da taxa de depreciação anual, tem-se o cálculo da depreciação anual através da Equação 5.6.

$$D_{n-1} = Tx(a.a) \times V_n \quad (5.6)$$

em que:

V_n : Saldo não depreciado em um ano n (em anos)

5.2.1.2 Custo de Oportunidade

Na aquisição de um equipamento, o fato de ser aplicado um capital que poderia estar rendendo juros em uma outra aplicação no mercado financeiro tornam necessária essa contabilização ao longo da vida útil do equipamento.

Segundo Baeta (2012), o cálculo dos juros baseia-se no conceito de investimento médio (I_m) e da taxa de juros do mercado (i), conforme Equações 5.7 e 5.8, respectivamente.

$$I_m = (V_o - V_r) \times \frac{(N+1)}{2N} + V_r \quad (5.7)$$

em que:

I_m : investimento médio;

V_o : Valor inicial;

V_r : Valor residual;

N : vida útil (em anos)

Os juros horários são calculados através da Equação 5.8.

$$J_h = \frac{I_m \times i}{a} \quad (5.8)$$

em que:

J_h : juros horários;

I_m : investimento médio;

i : taxa anual de juros;

a : horas de utilização por ano

5.2.1.3 Seguros e Impostos

A última parcela dos custos de propriedade são os custos oriundos de seguros e impostos. Os custos com seguros para grandes equipamentos geralmente não são contemplados, uma vez que os maiores frotistas de equipamentos não fazem seguro de todos seus equipamentos em companhias seguradoras, a não ser em casos especiais. Eles próprios bancam os riscos, representados principalmente por avarias, já que os roubos de equipamentos de maior porte são raros.

Segundo o DNIT (2017a) é recomendável considerar na montagem do orçamento, para veículos automotores, somente o IPVA (Imposto de Propriedade de Veículos Automotores) e o Seguro Obrigatório necessário para a regularização do veículo, que geralmente totalizam um valor de 2,5% sobre o investimento médio em veículos. Seu valor é calculado pela aplicação da Equação 5.9.

$$IS = \frac{(N + 1) \times V_o \times 0,025}{2N \times HTA} \quad (5.9)$$

em que:

IS : custo horário relativo a Impostos e Seguros

V_o : valor de aquisição do equipamento

HTA : quantidade de horas de trabalho por ano

N : vida útil (em anos)

0,025 : taxa média de Impostos e Seguros sugerida (ajustável conforme a alíquota de IPVA e o percentual de seguros em relação ao valor de aquisição do equipamento)

5.2.2 Custos de Manutenção (C_{man})

Correspondem às despesas com a aquisição de peças de reposição, atividades de limpeza, lavagem, inspeção, ajuste, calibração, regulagem, retoque, reaperto e da mão de obra envolvida.

Os custos com manutenção dependem da vida útil do equipamento, do valor de aquisição, do número de horas utilizadas (por ano) da máquina, além das condições de trabalho sob as quais ele opera.

Segundo Baeta (2012), grande maioria dos equipamentos trabalha em condições razoavelmente uniformes, não sendo necessário, para cálculo do custo horário, estabelecer diferenciação das condições em que são utilizados. Neste caso, enquadram-se, por exemplo, equipamentos de compactação, usinas de solos e asfalto etc. Outros equipamentos podem sofrer expressiva variação de desgaste em função das condições de trabalho que lhes são impostas. Estes são: tratores de esteiras, pás carregadeiras, escavadeiras hidráulicas, motoniveladoras e caminhões.

Normalmente se estabelece para estes equipamentos três níveis de condições de operação: leve, média e pesada. São dois os fatores que influem sobre a maior ou menor vida útil desses equipamentos: tipo de solo com que o equipamento está operando e condições da superfície de rolamento sobre a qual ele trabalha (Baeta, 2012). O DNIT (2017b) considera os seus equipamentos trabalhando na condição média.

Segundo Mattos (2006), por se tratar de uma categoria muito vasta, os custos com manutenção são geralmente calculados por meio de um coeficiente multiplicador sobre a depreciação horária calculada com valor residual nulo através da Equação 5.10.

$$M = \frac{V_o \times K}{H} \quad (5.10)$$

em que:

M : custo horário de manutenção;

V_o : valor de aquisição do equipamento;

H : vida útil (em horas);

K : coeficiente de proporcionalidade de manutenção.

5.2.3 Custos de Operação (C_{op})

Os custos de operação correspondem aos custos com a utilização do equipamento na obra. Contemplam os custos com combustível (ou energia elétrica), óleo lubrificante e mão de obra de operação.

5.2.3.1 Combustível

Segundo Baeta (2012), os consumos horários de combustível por KW de potência do equipamento são muito variáveis e seus valores médios são considerados a partir de estimativa dos fabricantes. Nota-se também que, conforme o tipo de serviço, os consumos previstos variam, tendo em vista a particularidade de cada obra.

Para Mattos (2006), o consumo de um equipamento a diesel é de aproximadamente 0,15 litros/HPxh e 0,23 litros/HPxh para equipamentos com motores a gasolina. É um dos itens mais onerosos do custo horário, conforme Calhau (2013).

Segundo o DNIT (2017a), o coeficiente de consumo estimado de combustíveis para equipamentos movidos a óleo diesel é de 0,16 litros/ kWxh.

5.2.3.2 Lubrificantes

Segundo Baeta (2012), os lubrificantes em geral são calculados em função da potência do motor, da capacidade do cárter e do intervalo de trocas de cada equipamento. São também contabilizados os óleos lubrificantes para os demais componentes mecânicos, como transmissão, sistema hidráulico e comandos.

Assim como para o combustível, alguns fabricantes fornecem valores aproximados para o consumo horário de lubrificantes.

Ocorrem também, de forma a simplificar esse cálculo, que muitos sistemas adotam os custos de lubrificantes, filtros e graxas em conjunto com os custos com combustível. Segundo DNIT (2017a), estes custos atingem aproximadamente 15% sobre o consumo de combustível para equipamentos movidos a óleo diesel. Dessa forma o coeficiente de consumo de combustíveis e lubrificantes (F_c) passa a ser $1,15 \times 0,16 = 0,18l / kWh$

Dessa forma, conforme DNIT (2017a) o cálculo do custo horário com

combustíveis, lubrificantes, filtros e graxas é dado através da Equação 5.11.

$$C_c = Pot \times F_c \times V_c \quad (5.11)$$

em que:

C_c : custo horário de combustíveis, lubrificantes, filtros e graxas (R\$/h);

Pot : potência do equipamento (kWh);

F_c : coeficiente de consumo de combustíveis e lubrificantes;

V_c : custo unitário do combustível (R\$/ l).

5.2.3.3 Mão de obra

Segundo Baeta (2012), o custo de mão de obra corresponde ao custo do salário do operador com os devidos encargos, podendo ser obtido nas convenções coletivas de trabalho (Equação 5.12).

$$MObra = \frac{\text{Salário Mínimo} \times \left(1 + \frac{\text{Leis Sociais}}{100}\right)}{220 \text{ horas}} \quad (5.12)$$

5.3 Parâmetros adotados pelo SICRO e SEINFRA para o cálculo do Custo Horário

Segundo DNIT (2017a), os parâmetros adotados para as variáveis de cálculo do custo horário da motoniveladora de referência são demonstrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Parâmetros da motoniveladora Caterpillar 120 K - SICRO

Variável	Parâmetros adotados e respectivas unidades SICRO
Valor residual (V_r)	30%
Vida útil (N)	7 anos
HTA	2000h/ano
Tx de juros - remuneração de capital (i)	6% a.a.
Coeficiente de combustível e lubrificantes (F_c)	0,18 l/kWh
Coeficiente de manutenção (K)	0,90 (condição média)

Fonte: DNIT (2017a), adaptado pelo autor.

De forma demonstrar a divergência existente entre os sistemas de referência SICRO e SEINFRA, tem-se também a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Parâmetros da motoniveladora utilizada pela SEINFRA (140 HP)

Variável	Parâmetro adotado e respectivas unidades SEINFRA
Valor residual (V_r)	20%
Vida útil (N)	9 anos
HTA	1750 h/ano
Tx de juros - remuneração de capital (i)	12% a.a.
Coefficiente de combustível e lubrificantes (F_c)	0,15 l/HP.h
Coefficiente de manutenção (K)	1,0 (condição média)

Fonte: SIPROCE – SEINFRA (2017), adaptado pelo autor.

6 O MODELO DE SELEÇÃO DE MOTONIVELADORAS

Nesta seção é apresentado o Modelo para Seleção de Motoniveladoras desenvolvido. É demonstrado desde a sua concepção, as variáveis analisadas, premissas e os parâmetros adotados no cálculo da produção e custo horário. Por fim é feita uma validação dos resultados e apresentado um exemplo prático da utilização do modelo criado.

6.1 Apresentação do Modelo

É objeto desta pesquisa apresentar um modelo para seleção de motoniveladoras baseado na estimativa de custos horários e produtividade recorrendo apenas às especificações comerciais. O modelo para Seleção de Motoniveladoras é composto por três equações matemáticas, uma para a Produção e duas para o Custo horário, sendo uma destas para o Custo horário produtivo e outra para o Custo horário improdutivo.

O modelo foi obtido a partir de uma análise de correlação entre as variáveis dependentes (Produção, Custo horário produtivo e Custo horário improdutivo) e as variáveis independentes ou explicativas (Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina) e, de uma análise estatística de regressão linear simples e múltipla, que deram origem as equações matemáticas de estimativa de Custo horário produtivo e improdutivo.

A equação da Produção foi elaborada a partir da determinação de uma constante que multiplica a variável independente Largura da Lâmina, uma vez que esta demonstrou ser a variável que mais se correlaciona com a variável independente produção.

As equações determinadas simulam o cálculo da Produção e Custos horário produtivo e improdutivo, auxiliando a seleção de uma motoniveladora no momento da elaboração do orçamento de um serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal.

O modelo foi validado a partir do Método das Taxas Médias de Erro Relativo TMER, com o objetivo de verificar um percentual médio dos erros obtidos entre os valores calculados através do modelo criado e valores obtidos através de equações determinísticas.

6.2 Premissas adotadas para a construção do Modelo

Para o desenvolvimento do modelo proposto no âmbito deste trabalho, são adotadas as seguintes premissas:

- Análise da atividade de mistura e espalhamento do material, constante no serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal pertencente ao Sistema de Custos SICRO, como base para obtenção dos parâmetros utilizados no cálculo da Produção, conforme demonstrado na Tabela 4.1;
- Emprego da equação determinística 4.3, demonstrada na seção 4, como fonte para a determinação dos valores da Produção dos equipamentos da amostra analisada;
- Para o cálculo da Produção das motoniveladoras da amostra, são utilizados os Parâmetros da Tabela 4.1, com exceção da variável Largura da lâmina (L) e conseqüente Largura útil (m);
- Para o cálculo dos Custos horário produtivo e improdutivo dos equipamentos da amostra, foram empregados parâmetros adotados pelo Sistema de Custos SICRO (Tabela 5.1);
- A determinação dos Custos horário produtivo e improdutivo foi realizada com a utilização das equações determinísticas dos custos horários constantes na seção 5, com exceção das equações 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.9 e 5.12. O Custo horário produtivo foi obtido considerando o somatório das parcelas de custo de propriedade (depreciação e custo de oportunidade), de manutenção e de operação. O Custo horário improdutivo foi obtido pela soma dos custos de propriedade (depreciação e custo de oportunidade) e do custo de operação, considerando somente o custo de mão de obra;
- Utilização do método linear, o mesmo utilizado pelo DNIT (2017a), como premissa para o cálculo da depreciação horária;
- Utilização da Potência Máxima como variável de estudo ao invés da variável Potência Líquida utilizada pelo DNIT, considerando a dificuldade de obtenção dos valores de Potência Líquida e sabendo que esta é de difícil determinação e normalmente efetivada em laboratório ou em pistas experimentais, com aplicação de métodos padronizados;
- No cálculo da parcela de custo de propriedade somente são calculadas as parcelas de Depreciação e Custo de Oportunidade, desconsiderando o cálculo dos Seguros e Impostos, assim como é adotado pelo DNIT (2017b).

6.3 Considerações sobre o Modelo elaborado e suas variáveis

A seguir são apresentadas considerações sobre o modelo, expondo a amostra utilizada, as variáveis estudadas e os parâmetros adotados para a elaboração do modelo.

6.3.1 Amostra utilizada na pesquisa

A amostra consta de 17 Motoniveladoras, vendidas em Fortaleza/CE e, pertencentes a 6 fabricantes distintos (Caterpillar, Case, John Deere, Komatsu, LiuGong e New Holland), conforme demonstrado na Tabela A.1 (APÊNDICE A). Para tal, foram calculadas a Produção e as parcelas dos custos de propriedade, operacional e manutenção e, conseqüentemente o Custo horário produtivo e Custo horário improdutivo. Na Tabela 6.1 é demonstrado o tratamento estatístico da amostra, com seus valores de máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação.

A amostra está condicionada aos equipamentos novos disponíveis no mercado ao ano da pesquisa. A oferta e variedade de equipamentos disponíveis são reduzidas em função de que algumas marcas não produzem mais o equipamento Motoniveladora, como o caso da Volvo, e de modelos de outros fabricantes que saíram de linha.

Tabela 6.1 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custo horário calculados

	Peso Operacional (Kg)	Potência Máxima (kW)	Largura da Lâmina (m)	Produção (m³/h)	Custo horário Produtivo (R\$/h)	Custo horário Improdutivo (R\$/h)
Máx	19137	187,2	4,32	677,93	270,51	100,52
Mín	13032	108,1	3,66	574,05	150,01	58,89
Méd	16124	139	3,85	607,53	192,35	73,66
Desv. Pad.	1641	21	0,26	40,59	30,49	12,07
Coef. Var.	10,18%	15,11%	6,75%	6,68%	15,85%	16,39%

Fonte: próprio autor com base em SOBRATEMA (2016) e pesquisa de valores de aquisição de motoniveladoras na cidade de Fortaleza/CE em Fev/2018.

6.3.2 Variáveis utilizadas

A obtenção dos valores das variáveis independentes do Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina, presentes no catálogo de cada fabricante da marca, foi realizada através da utilização de Sobratema (2016), o qual reúne fichas técnicas de vários equipamentos utilizados em obras de infraestrutura e comercializados no Brasil.

Na determinação dos valores das variáveis dependentes de Produção e Custo horário para a amostra analisada, foram utilizados os modelos determinísticos apresentados anteriormente.

6.3.3 *Parâmetros adotados na determinação dos valores de variáveis dependentes*

Os parâmetros utilizados no cálculo da Produção e Custos horário produtivo e improdutivo tiveram origem da referência SICRO, apresentados anteriormente.

Os valores de aquisição de cada máquina necessários ao cálculo das parcelas do custo de propriedade e manutenção foram obtidos através de cotações junto a representantes da marca de cada equipamento da amostra estudada no mercado local de Fortaleza/Ce no período de Fevereiro/2018.

O valor do combustível, necessário ao cálculo da parcela do custo de operação, foi obtido através do SICRO para a referência Janeiro/18 no estado do Ceará, no valor de R\$ 2,9655 o litro do Diesel.

Para o valor de mão de obra de um operador de equipamento pesado, que também compõe a parcela do custo de operação, considerando o salário juntamente com os encargos, este foi obtido através do SICRO para a referência de Janeiro/18 no estado do Ceará, no valor de R\$ 27,3324 por hora.

6.4 Estimativas de Custos Horários

A seguir é realizado o estudo da estimativa dos Custos horário produtivo e improdutivo a partir da análise estatística de correlação e regressão linear simples e múltipla utilizando os dados coletados na amostra.

6.4.1 *Análise da correlação existente entre as variáveis estudadas e o Custo Horário*

De forma a observar o comportamento conjunto das variáveis quantitativas, foram medidos o grau de associação entre a variável dependente e as variáveis independentes, por meio da correlação de Pearson. Nesse momento não há a preocupação em apresentar alguma forma funcional entre as variáveis estudadas, uma vez que a correlação demonstra apenas que estas variáveis apresentam um grau de relacionamento linear, porém não apresentando o que cada variável provoca de variação na variável dependente.

Na Tabela 6.2 é possível observar os valores de correlação entre variáveis independentes e a variável Custo horário produtivo.

Tabela 6.2 - Correlações da amostra – Custo horário produtivo

	Custo Horário Produtivo - C_{hp} (R\$/h)	Largura da Lâmina (m)	Potência Máxima (kW)	Peso Operacional (Kg)
C_{hp}	100%			
Largura da Lâmina	-1%	100%		
Potência Máxima	73%	45%	100%	
Peso Operacional	47%	57%	58%	100%

Fonte: Próprio autor.

Tendo em conta a Tabela 6.2, a variável que apresenta uma correlação mais significativa em relação ao Custo horário produtivo é a variável Potência Máxima. O valor apresentado é de 73% (0.73), indicando uma correlação de intensidade forte. A variável Largura da Lâmina e Peso Operacional apresentaram um valor de correlação com o custo horário de -1% (-0.01) e 47% (0.47), indicando uma correlação desprezível e uma correlação fraca respectivamente.

Na Tabela 6.3 são apresentadas as correlações entre variáveis independentes e a variável custo horário improdutivo.

Tabela 6.3 - Correlações da amostra – Custo horário improdutivo

	Custo Horário Improdutivo - C_{hi} (R\$/h)	Largura da Lâmina (m)	Potência Máxima (kW)	Peso Operacional (Kg)
C_{hi}	100%			
Largura da Lâmina	-22%	100%		
Potência Máxima	47%	45%	100%	
Peso Operacional	34%	57%	58%	100%

Fonte: Próprio autor.

Assim como no caso do custo horário produtivo, na Tabela 6.3 é demonstrado que a variável Potência Máxima é a que apresenta uma correlação mais significativa em relação ao Custo horário improdutivo, embora considerada uma correlação fraca, com valor de 47% (0.47).

De forma a avaliar a significância para o Coeficiente de Correlação de Pearson R , foi utilizado o teste estatístico de hipóteses ao nível de significância de 5%. O teste consiste em assumir como hipótese H_0 a ausência de correlação, verificando se sob tal hipótese o valor obtido para Coeficiente de Correlação de Pearson R é muito ou pouco provável. Para isso calcula-se o valor de R_c para a amostra estudada com o auxílio da tabela *T de Student* e da Equação 6.1.

$$T_c = \frac{R_c \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R_c^2}} \quad (6.1)$$

em que:

R_c : coeficiente de correlação crítico ao nível de significância (α) de 5%;

T_c : valor de T na tabela de *T de Student* para um grau de liberdade de $n-2$;

n : número de amostras;

Como resultado foi obtido um R_c de aproximadamente 48% (0,4819). Fazendo um comparativo com os valores obtidos para o coeficiente de correlação para o Custo horário produtivo e improdutivo, somente o valor da correlação entre a variável Potência Máxima e Custo horário produtivo foi superior ao valor de $R_{crítico}$, indicando assim que há correlação entre estas variáveis com nível de significância.

Para as demais variáveis, Largura da Lâmina e Peso Operacional, o resultado do teste indica que o coeficiente de correlação para estas variáveis não é significativo, podendo haver ou não correlação entre estas e o Custo horário produtivo e improdutivo, como também para o resultado da correlação entre a Potência Máxima e o Custo horário improdutivo.

6.4.2 *Análise de Regressão Linear Simples (RLS)*

A regressão linear simples envolve a análise de uma variável em relação a uma outra variável, de forma a assumir uma relação linear, demonstrada pela Equação 6.2.

$$Y = b_0 + b_1 X_1 \quad (6.2)$$

em que:

Y : variável dependente;

X_1 : variável independente;

b_0 : constante de regressão. Ponto onde a reta intercepta o eixo Y;

b_1 : coeficiente de regressão da equação de regressão simples.

Na análise de regressão linear simples, realizada por meio do diagrama de dispersão e da equação resultante da modelação matemática estabelecida a partir da reta que

mais se aproxima dos pontos do diagrama, é obtida a variação da variável dependente em função da variação da variável independente.

Para se obter a equação estimada de tal forma que as distâncias entre os pontos do diagrama e os pontos da reta sejam as menores possíveis, utiliza-se o método dos mínimos quadrados. Neste método a soma do quadrado das distâncias entre os pontos do diagrama e os respectivos pontos na curva da equação estimada é minimizada, obtendo-se, desta forma, uma relação funcional entre as variáveis com um mínimo de erro possível.

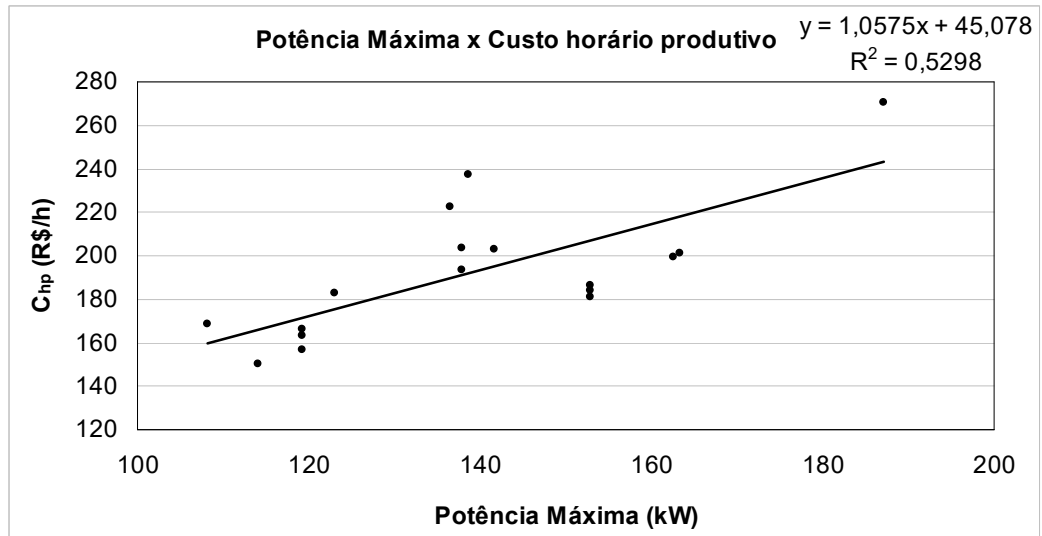
Para a obtenção das Equações de regressão linear de C_{hp} e C_{hi} em função das variáveis Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina foi utilizado como suporte o *Software* Excel, desenvolvido pela empresa Microsoft. Como resultados foram obtidas as Equações 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8 e gráficos das figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, respectivamente.

A análise de regressão linear utilizando a amostra da presente pesquisa demonstrou que o resultado apresentado no teste de correlação constante nas Tabelas 6.2 e 6.3 pôde ser também observado no gráfico da Figura 6.1 e Figura 6.2, em que as Equações 19 e 20, resultantes de regressão linear simples, demonstraram que a variável Potência foi a que apresentou o maior Coeficiente de Determinação (R^2), indicando que a variação das variáveis dependentes Custo horário produtivo e improdutivo estão mais relacionadas com a variação da variável independente Potência Máxima.

• **Potência Máxima (kW)**

$$C_{hp} (\text{R\$/h}) = 1,0575 \times (\text{Potência Máxima}) + 45,078; \quad R^2 = 52,98\% \quad (6.3)$$

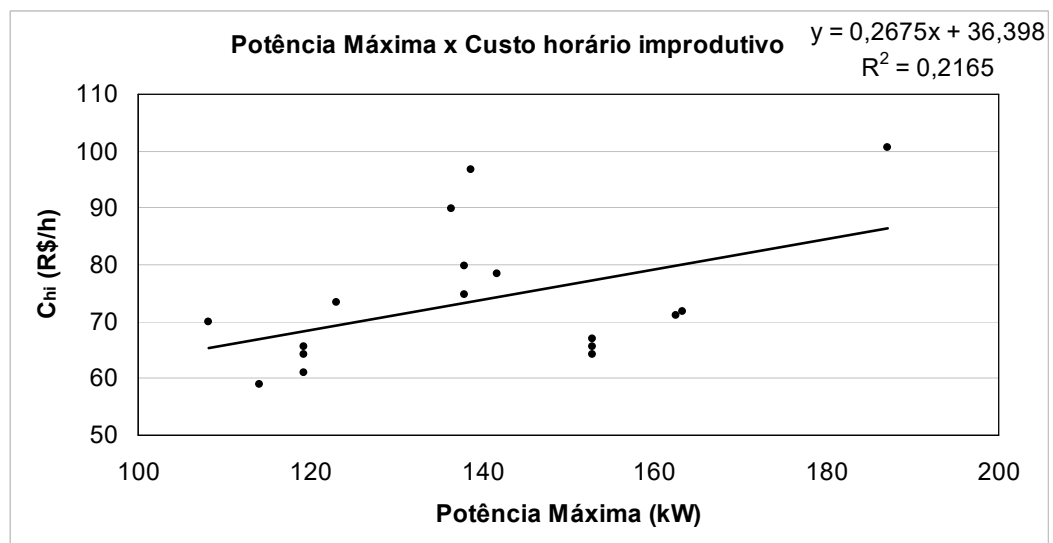
Figura 6.1 - Potência Máxima x Custo horário produtivo.



Fonte: próprio autor

$$C_{hi} \text{ (R\$/h)} = 0,2675 \times (\text{Potência Máxima}) + 36,398; \quad R^2 = 21,65\% \quad (6.4)$$

Figura 6.2 - Potência Máxima x Custo horário improdutivo.

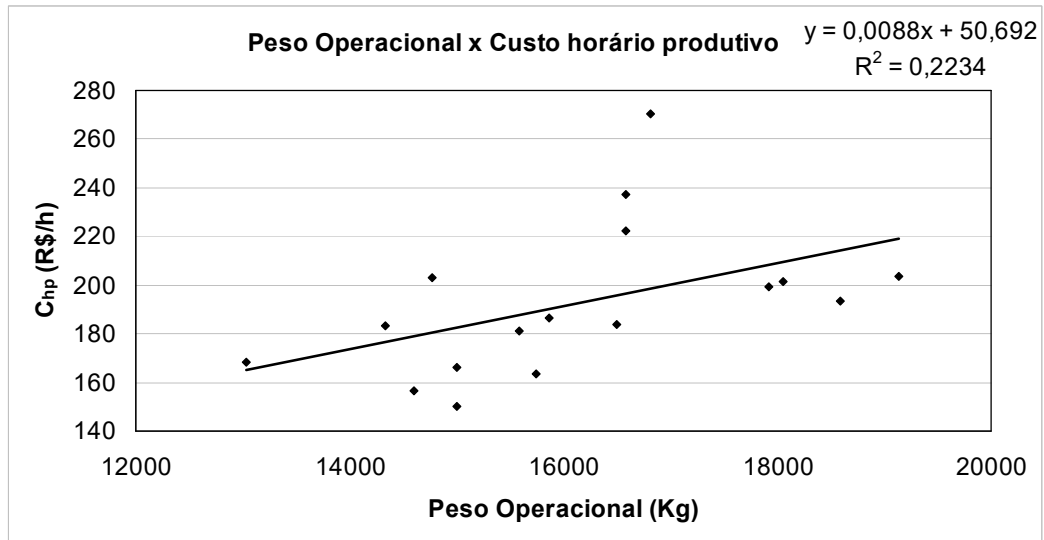


Fonte: próprio autor

• **Peso Operacional (Kg)**

$$C_{hp} \text{ (R\$/h)} = 0,0088 \times (\text{Peso Operacional}) + 50,692; \quad R^2 = 22,34\% \quad (6.5)$$

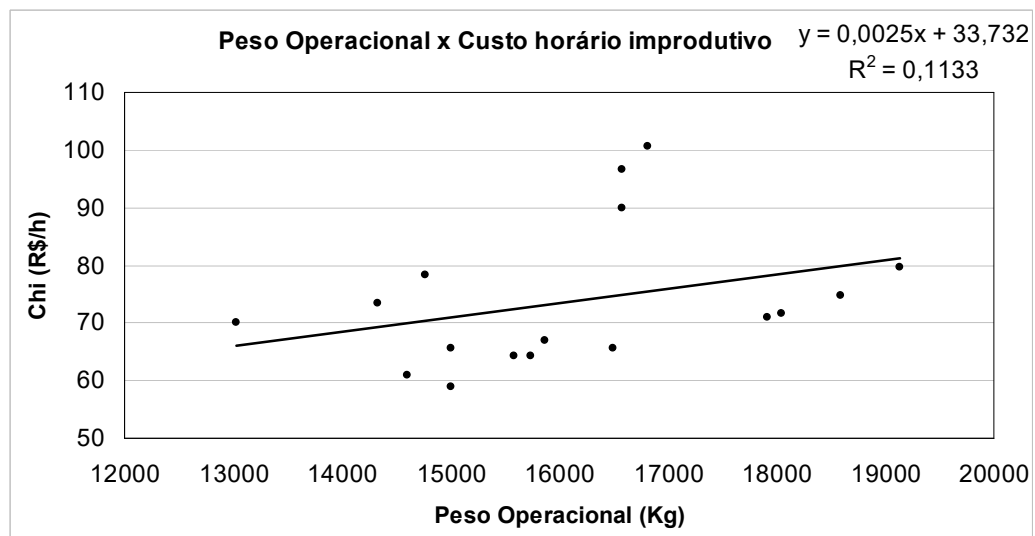
Figura 6.3 - Peso Operacional x Custo horário produtivo.



Fonte: próprio autor

$$C_{hi} (\text{R\$/h}) = 0,0025 \times (\text{Peso Operacional}) + 33,732; \quad R^2 = 11,33\% \quad (6.6)$$

Figura 6.4 - Peso Operacional x Custo horário improdutivo.

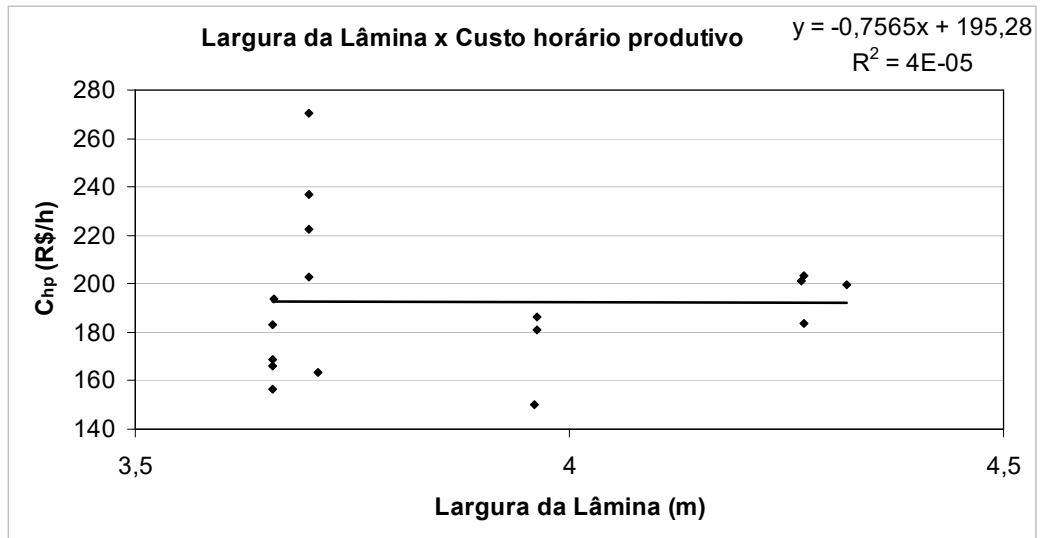


Fonte: próprio autor

• **Largura da Lâmina (m)**

$$C_{hp} (\text{R\$/h}) = -0,7565 \times (\text{Largura da lâmina}) + 195,28; \quad R^2 = 0,004\% \quad (6.7)$$

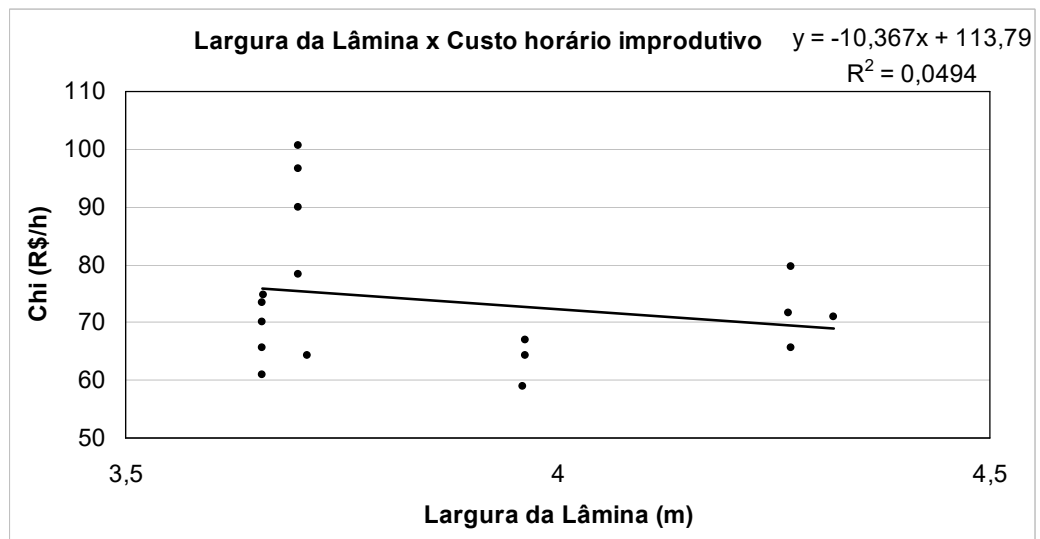
Figura 6.5 - Largura da Lâmina x Custo horário produtivo.



Fonte: próprio autor

$$C_{hi} \text{ (R\$/h)} = -10,367 \times (\text{Largura da lâmina}) + 113,79; \quad R^2 = 4,94\% \quad (6.8)$$

Figura 6.6 - Largura da Lâmina x Custo horário improdutivo.



Fonte: próprio autor

6.4.3 Análise de Regressão Linear Múltipla (RLM)

Como forma de verificar se o acréscimo de mais variáveis independentes na análise de regressão melhora a capacidade de predição dos valores das variáveis dependentes do Custo horário produtivo e do Custo horário improdutivo, é realizada a análise de regressão linear múltipla (RLM). Na Equação 6.9 é demonstrado um modelo de

regressão linear múltipla.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n \quad (6.9)$$

em que:

Y : variável dependente;

X_n : n-ésima variável independente ($n = 1, 2, 3, \dots, n$);

b_0 : constante de regressão. Ponto onde a reta intercepta o eixo Y ;

b_1, b_2, \dots, b_n : coeficientes de regressão da equação de regressão múltipla.

A Tabela 6.4 resume os coeficientes de determinação do modelo RLM, aplicado ao cálculo do Custo horário produtivo e improdutivo.

Tabela 6.4 - Coeficientes de determinação RLM

<i>Estatística de regressão</i>	C_{hp}	C_{hi}
R múltiplo	0,854733	0,742307
R²	0,730569	0,551019
R² ajustado	0,668392	0,447408
Erro padrão	17,55959	8,97066
Observações	17	17

Fonte: Próprio autor.

Nas Tabelas 6.5 e 6.6 pode-se observar o sumário da Regressão Linear Múltipla, relativo ao Custo horário produtivo e improdutivo, respectivamente.

Tabela 6.5 - Sumário da RLM para Custo horário produtivo

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>t de Student</i>	<i>valor P</i>
Interseção	184,4806117	66,36603428	2,779744394	0,015624
Peso Operacional	0,006149293	0,003610375	1,703228351	0,112297
Potência Máxima	1,138964713	0,260468669	4,37275131	0,000755
Largura da Lâmina	-64,55287113	20,96247634	-3,079448729	0,008788

Fonte: Próprio autor.

Tabela 6.6 - Sumário da RLM para Custo horário improdutivo

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>t de Student</i>	<i>valor P</i>
Interseção	107,6146386	33,90438708	3,174062352	0,007324
Peso Operacional	0,003141487	0,001844431	1,703228351	0,112297
Potência Máxima	0,309165342	0,133065516	2,32340694	0,037014
Largura da Lâmina	-32,97809721	10,70909118	-3,079448729	0,008788

Fonte: Próprio autor.

Com os resultados obtidos para as variáveis Peso Operacional, Potência Máxima e Largura da Lâmina com a aplicação do RLM pôde-se determinar as Equações 6.10 e 6.11 responsáveis pelo cálculo da estimativa do Custo horário produtivo e improdutivo:

$$C_{hp}(\text{R\$/h}) = 184,4806 + 0,0061 \times (\text{Kg}) + 1,1390 \times (\text{kW}) - 64,5529 \times (\text{m}); \quad R^2=73,06\% \quad (6.10)$$

$$C_{hi}(\text{R\$/h}) = 107,6146 + 0,0031 \times (\text{Kg}) + 0,3092 \times (\text{kW}) - 32,9781 \times (\text{m}); \quad R^2=55,10\% \quad (6.11)$$

De forma a avaliar a significância das variáveis utilizadas no modelo e também a significância da relação linear entre a variável dependente e as variáveis independentes foram utilizados os testes estatísticos de hipóteses *T de Student* e F, respectivamente.

O teste de *T de Student* é utilizado como teste para confirmar se a variável que está sendo utilizada na regressão está realmente contribuindo para o modelo de estimativa, negando assim a hipótese de (b_1 ou b_2 ou $b_n = 0$). Pelos valores do “*T de Student*” e “valor-p”, apresentados nas Tabelas 6.5 e 6.6, é possível avaliar que há evidências estatísticas de relação da Potência Máxima e da Largura da Lâmina com o Custo horário produtivo e improdutivo, pois as duas variáveis tem valores-p menores que 5% de significância. Apenas a variável Peso Operacional demonstra não ser estatisticamente significativa ao um nível de significância de 5%, porém foi mantida no modelo desenvolvido.

Segundo Navide (2006), o teste F consiste em testar a hipótese de que os coeficientes de regressão da equação de regressão múltivariável são simultaneamente zero ($b_1 = b_2 = b_n = 0$). Para a presente pesquisa, através dos Coeficientes de Regressão obtidos nas Tabelas 6.5 e 6.6 foi então realizado o teste F. Conforme o resultado, demonstrado na Tabela 6.7, o valor do “F de significação” foi inferior a 5% de significância, logo a hipótese nula de regressão é rejeitada, demonstrando a validade das equações de regressão linear múltipla obtidas para C_{hp} e C_{hi} .

Tabela 6.7 - Teste F para C_{hp} e C_{hi}

C_{hp}		C_{hi}		
<i>F</i>	<i>F de significação</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	11,75	0,0005	5,32	0,0130

Fonte: próprio autor com base nos coeficientes de regressão determinados nas tabelas 6.5 e 6.6

6.5 Estimativa de Produção

A seguir é realizado o estudo da estimativa de produção a partir da análise estatística de correlação e regressão linear simples e múltipla utilizando os dados coletados na amostra.

6.5.1 Análise da correlação existente entre as Variáveis estudadas e a Produção

Para a produção, conforme demonstrado na Tabela 6.8, por meio da correlação de Pearson, a variável que apresentou maior correlação foi a variável Largura da Lâmina, porém, tendo esta, apresentado um valor de 100%. Tal resultado demonstra que a variável tem um alto poder de explicação e não pode ser utilizada no estudo de regressão linear. A explicação para o fato ocorre devido a Largura da Lâmina estar contida no cálculo da produção.

Tabela 6.8 - Correlações da amostra – Produção

	Produção (m³/h)	Largura da Lâmina (m)	Potência Máxima (kW)	Peso Operacional (Kg)
Produção	100%			
Largura da Lâmina	100%	100%		
Potência Máxima	45%	45%	100%	
Peso Operacional	57%	57%	58%	100%

Fonte: Próprio autor.

Embora as demais variáveis explicativas Potência Máxima e Peso Operacional tenham demonstrado uma correlação não tão forte com a Produção, optou-se por criar um modelo para a o cálculo da produção baseado em uma constante multiplicativa do valor da Largura da Lâmina. Tal decisão deve-se ao fato que a relação entre a produção da máquina e a do equipamento líder da patrulha é quem determina o coeficiente produtivo e improdutivo de sua utilização e, conseqüentemente o seu Custo horário total, sendo assim de extrema importância o cálculo da produção da forma mais precisa possível para não acumular erros no cálculo do Custo horário total, conforme demonstrado na Equação 6.12.

$$C_{ht} = (U_o \times C_{hp}) + (U_i \times C_{hi}) \quad (6.12)$$

em que:

C_{ht} : custo horário total do equipamento;

C_{hp} : custo horário produtivo do equipamento;

C_{hi} : custo horário improdutivo do equipamento;

U_o : coeficiente de utilização operativa do equipamento;

U_i : coeficiente de utilização improdutivo do equipamento.

A determinanação dos coeficientes de utilização produtiva e improdutivo pode ser utilizada a partir das Equações 6.13 e 6.14

$$U_o = (Q \times PA) / PE \quad (6.13)$$

$$U_i = 1 - U_o \quad (6.14)$$

em que:

U_o : utilização operativa do equipamento;

U_i : utilização improdutivo do equipamento;

Q : Quantidade do equipamento lider;

PA : produção adotada na composição de custo unitário (equipamento lider);

PE : produção do equipamento analisado (motoniveladora).

6.5.2 Determinação da Constante para o cálculo da Produção

Para a determinação da Produção é necessário conhecer os seguintes elementos:

e : espessura da camada produzida, função da especificação de cada serviço;

m : largura útil da passada e que depende do ângulo da lâmina utilizado para a operação;

i : fator de eficiência adotado;

v : velocidade média;

n : número de passadas necessárias para executar a tarefa.

Os parâmetros adotados para as variáveis e , i , v e n , apresentados na seção 4, são os mesmos utilizados pelo SICRO, conforme demonstrada na Tabela 4.1. No caso da Largura útil da lâmina (m), este parâmetro juntamente com a Largura real da lâmina (L), adotados pelo SICRO no serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal, proporcionou a determinação de um valor aproximado para o $\cos \alpha$, tomando como base a Equação 2.1, conforme demonstrado:

$$\cos \alpha = \frac{m}{L} = \frac{3,46}{3,66} \cong 0,95 \quad \text{em que } \alpha \cong 19^\circ$$

A partir da Equação 5, juntamente com o valor do $\cos \alpha$ determinado e os parâmetros constantes na Tabela 4.1, tem-se a obtenção do valor da constante que multiplica a largura real da lâmina conforme apresentado na Equação 6.15:

$$P = 157,7 \times l \quad (6.15)$$

em que:

P : produção do equipamento (m^3/h)

l : largura da lâmina (m).

6.6 Análise dos Resultados e Validação do Modelo

Assim como nos trabalhos de Sayadi *et al* (2012) e Calhau (2013), para avaliar o desempenho do modelo proposto foi utilizado o Método das Taxas Médias de Erro Relativo (TMER), conforme Equação 6.16. O Método consiste em determinar um percentual médio de erro da amostra, resultado da divisão entre o módulo da diferença do valor real e o valor estimado sobre o valor real.

$$TMER = \frac{\sum |V_{estimado} - V_{real}|}{n^\circ \text{ amostras}} \times 100 \quad (6.16)$$

em que:

$V_{estimado}$: valor estimado para C_{hp} ou C_{hi} obtido pela utilização das Equações 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.10 e 6.11

V_{real} : valor atual para C_{hp} ou C_{hi} obtido pela utilização das Equações 5.2, 5.7, 5.8 e 5.11 e Parâmetros constantes na Tabela 5.1.

Como resultado para os valores calculados com utilização da Equação 6.16 tem-se a Tabela 6.9:

Tabela 6.9 - Valores de TMER para o C_{hp} e C_{hi} para os métodos RLS e RLM

	RLS (Kg)	RLS (kW)	RLS (m)	RLM
C_{hp}	10,16%	8,67%	11,69%	6,47%
C_{hi}	12,32%	11,65%	12,19%	8,46%

Fonte: Próprio autor.

Como se pode observar na Tabela 6.9 o resultado do TMER é menor no método RLM para o Custo horário produtivo (C_{hp}) e Custo horário improdutivo (C_{hi}). Estes resultados confirmam que as Equações 6.10 e 6.11, obtidas pelo método RLM, são as que melhor se aplicam à estimativa de Custo horário produtivo e improdutivo em relação ao método RLS.

Para a Produção, através da utilização da Equação 6.16 em relação aos resultados obtidos com a utilização da Equação 4.3, obteve-se uma Taxa Média de Erro Relativo de 0,36%.

Dessa forma, o modelo desenvolvido para a determinação do Custo horário produtivo, Custo horário improdutivo e Produção é representado por meio das Equações 6.10, 6.11 e 6.15 respectivamente. Os baixos percentuais obtidos, com base no método de avaliação TMER indicam que o modelo é adequado e preditivo.

6.7 Aplicação do Modelo

No exemplo abaixo é demonstrado o processo da seleção de uma motoniveladora no momento da elaboração de um orçamento para a realização dos serviços de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal.

De forma a possibilitar a análise da utilização e do custo do equipamento estudado operando juntamente com os demais equipamentos que compõe a patrulha é utilizada a composição de custo unitário de referência do SICRO (Figura 6.3) como instrumento para aplicação do modelo desenvolvido.

Figura 6.7 - Reprodução da Composição de Custo Unitário – SICRO

DNIT		Utilização		Custo Horário		Custo	
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
Ceará		FIC		0,01477			
Custo Unitário de Referência		janeiro-18		Produção da equipe		168,2 m ³	
5502978 Compactação de aterros a 100% do Proctor normal				Valores em reais (R\$)			
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000l - 188kW	1,00000	0,99	0,01	175,3547	50,4505	174,1057
E9518	Grade de 24 discos rebocável de 24"	1,00000	0,52	0,48	2,9648	2,0609	2,5309
E9524	Motoniveladora - 93kW	1,00000	0,29	0,71	178,249	79,0703	107,8321
E9685	Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t - 82kW	1,00000	1,00	0,00	120,8574	55,0958	120,8574
E9577	Trator agrícola - 77kW	1,00000	0,52	0,48	81,4389	32,0323	57,7237
						Custo horário total de equipamentos	463,0498
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824	Servente	1,00000	h		15,6691		15,6691
						Custo horário total de mão de obra	15,6691
						Custo horário total de execução	478,7189
						Custo unitário de execução	2,8461

Fonte: SICRO adaptado pelo autor.

Para o exame de uma equipe mecânica a partir da composição unitária de custos devem ser estudadas as produções da equipe, de forma a compatibilizar o equipamento selecionado com os demais componentes da patrulha. Para isto, deve-se seguir o seguinte procedimento:

1. Identificar na composição de custos unitária o equipamento líder, ou seja, aquele que comanda a produção. Normalmente o equipamento líder tem a utilização operativa de 100% e correspondente utilização improdutiva de 0%. No serviço hora analisado é fácil perceber que o Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 t – 82kW é quem comanda a equipe com uma produção de 168,20 m³/h;

2. O próximo passo é cálculo da produção de cada motoniveladora estudada na amostra, utilizando a equação de determinação da Produção (Equação 6.15) obtida no modelo desenvolvido. Como há equipamentos com a mesma Largura de Lâmina (L), estes irão apresentar o mesmo valor de produção;

3. Determinação dos coeficientes de utilização produtiva e improdutiva, a partir das Equações 6.13 e 6.14. Para equipamentos da amostra que apresentem a mesma produção serão obtidos os mesmos coeficientes de utilização operativa (U_o) e improdutiva (U_i);

4. Calcular os custos operativos e improdutivos das motoniveladoras estudadas na amostra, utilizando as equações de determinação de C_{hp} e C_{hi} (Equação 6.10 e 6.11) obtidas no modelo desenvolvido;

5. Simular a utilização de cada Motoniveladora estudada, substituindo na composição os coeficientes de utilização operativa (U_o) e improdutiva (U_i) (Equações 6.13

e 6.14) e valores de C_{hp} e C_{hi} (Equação 6.10 e 6.11);

6. Calcular o custo horário total de cada equipamento da amostra (Equação 6.12).

O objetivo da análise é selecionar a motoniveladora que apresenta o menor custo horário total e a composição de custos unitária que apresente o menor custo unitário para a execução do serviço.

Aspectos tecnológicos que diferenciam cada máquina e influenciam na produção e custos horários não são considerados no exemplo. Também não são consideradas as variações da potência, largura útil da lâmina, altura da lâmina e de outras variáveis como a velocidade média, número de passadas e fator de eficiência, que ocorrem durante a execução do serviço e que provocam variações na produção da máquina analisada.

Soares (2015) concluiu em sua pesquisa que o aumento na angulação da lâmina e no número de passadas durante a execução provoca redução da produção, como também o aumento da velocidade média implica em um aumento da produção. Tal consideração demonstra que o modelo criado na presente pesquisa pode ser utilizado como uma referência na seleção da motoniveladora e realização do orçamento inicial a um nível de estimativa inicial, sendo necessários estudos mais detalhados para definir os parâmetros reais de cada máquina e assim a obtenção do valor da Produção e Custo horário de forma mais precisa.

Para o exemplo em análise, foi adotado o procedimento descrito utilizando como opções de seleção os equipamentos que foram utilizados na amostra que conduziu a elaboração do modelo e atualmente vendidos no mercado local de Fortaleza/CE, sendo obtido os resultados apresentados na Tabela 6.10.

Considerando que os resultados são obtidos a partir de modelo determinístico, foi adotado, como validação da utilização do modelo de estimativa proposto, o método TMER.

Tabela 6.10 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custos calculados através do modelo desenvolvido

Equip.	Peso Operacional (Kg)	Potência Máxima (kW)	Largura da Lâmina (m)	P (m ³ /h)	C _{hp} (R\$)	C _{hi} (R\$)	Custo Horário Total (R\$)	Custo Unitário de Execução (R\$)
1	15000	119,3	3,658	576,87	175,74	70,37	100,9294	2,8051
2	15870	152,9	3,962	624,81	199,65	73,42	107,5006	2,8442
3	18050	163,3	4,267	672,91	205,15	73,35	106,2969	2,8370
4	13032	108,1	3,658	576,87	151,00	60,81	86,9662	2,7221
5	14334	123,0	3,658	576,87	175,93	69,46	100,3355	2,8016
6	16581	136,5	3,7	583,49	202,21	79,19	114,8667	2,8880
7	16581	138,7	3,7	583,49	204,76	79,88	116,0968	2,8953
8	14768	141,7	3,7	583,49	197,10	75,18	110,5392	2,8622
9	16820	187,2	3,7	583,49	261,42	95,61	143,6967	3,0594
10	18591	138,0	3,66	577,18	218,75	87,20	125,3518	2,9503
11	19137	138,0	4,27	673,38	182,71	68,78	97,2602	2,7833
12	15740	119,3	3,71	585,07	176,90	70,95	101,6762	2,8095
13	17915	162,6	4,32	681,26	200,05	70,95	103,2256	2,8187
14	15000	114,1	3,96	624,49	150,30	58,80	83,5045	2,7015
15	16500	152,9	4,27	673,38	183,61	65,22	94,8130	2,7687
16	14605	119,3	3,658	576,87	173,33	69,15	99,3613	2,7958
17	15587	152,9	3,962	624,81	197,92	72,54	106,3940	2,8376

Fonte: próprio autor com base na análise das motoniveladoras utilizando o modelo elaborado na pesquisa.

Como forma de comparação e determinação da Taxa Média de Erro Relativa - TMER (Equação 6.16) na utilização do modelo determinado, também foram realizadas análises com a utilização das Equações e parâmetros apresentados anteriormente, obtendo-se os seguintes resultados conforme apresentado na Tabela 6.11:

Tabela 6.11 - Dados da amostra e seus correspondentes valores de produção e custos calculados através das equações determinísticas

Equip.	Peso Operacional (Kg)	Potência (kW)	Largura da Lâmina (m)	P (m ³ /h)	C _{hp} (R\$)	C _{hi} (R\$)	Custo Horário Total (R\$)	Custo Unitário de Execução (R\$)
1	15000	119,3	3,658	574,03	165,93	65,60	94,6996	2,7681
2	15870	152,9	3,962	624,49	186,47	66,95	99,2193	2,7949
3	18050	163,3	4,267	675,12	201,25	71,65	104,0469	2,8236
4	13032	108,1	3,658	574,03	168,51	69,97	98,5442	2,7909
5	14334	123,0	3,658	574,03	183,04	73,33	105,1422	2,8301
6	16581	136,5	3,7	581,00	222,55	89,85	128,3353	2,9680
7	16581	138,7	3,7	581,00	237,09	96,67	137,3872	3,0218
8	14768	141,7	3,7	581,00	202,85	78,36	114,4619	2,8855
9	16820	187,2	3,7	581,00	270,51	100,52	149,8167	3,0957
10	18591	138,0	3,66	574,36	193,63	74,67	109,1666	2,8541
11	19137	138,0	4,27	675,62	203,49	79,70	110,6492	2,8629
12	15740	119,3	3,71	582,66	163,31	64,26	92,9839	2,7579
13	17915	162,6	4,32	683,92	199,54	70,98	103,1153	2,8181
14	15000	114,1	3,96	624,16	150,01	58,89	83,4907	2,7014
15	16500	152,9	4,27	675,62	183,85	65,60	95,1645	2,7708
16	14605	119,3	3,658	574,03	156,73	60,90	88,6946	2,7324
17	15587	152,9	3,962	624,49	181,22	64,26	95,8393	2,7748

Fonte: próprio autor com base na análise das motoniveladoras utilizando o equações determinísticas apresentadas na pesquisa e utilizadas pelo sistema de referência SICRO.

A partir dos resultados obtidos com as 17 Motoniveladoras estudadas na amostra, tem-se que o equipamento de número 14 foi o que apresentou um menor Custo horário total, tanto com a utilização do modelo desenvolvido como através do método determinístico utilizado pelo DNIT (2017d).

Através da utilização do método de avaliação da Taxa Média de Erro Relativo – TMER foi obtido para o Custo horário total com a aplicação do modelo desenvolvido, um valor de 7,5%, considerando o modelo satisfatório para a seleção de Motoniveladoras no Serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta seção são apresentadas as conclusões obtidas com a presente pesquisa, apresentadas as limitações do modelo desenvolvido e recomendações para estudos futuros.

7.1 Conclusões

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho tornou-se claro que a opção pela seleção da motoniveladora adequada, considerando as características estudadas, não é tarefa fácil. Foi possível observar no estudo que embora existam equipamentos de marcas e modelos distintos, as suas características costumam ser iguais ou bem próximas, o que faz com que para motoniveladoras de mesma Potência máxima existam vários Custos horários produtivo e improdutivo, tendo em vista que as demais variáveis (Largura da Lâmina e Peso Operacional) são mantidas constantes durante o cálculo.

Assim também foi verificado para a Largura da Lâmina e para o Peso Operacional, em que para um mesmo valor de cada uma das variáveis estudadas respectivamente, são obtidos mais de um Custo horário produtivo e improdutivo. No caso da variável Produção, foi observado que para uma mesma Largura de Lâmina, de motoniveladoras distintas, haverá um mesmo valor de Produção.

O modelo desenvolvido demonstra que a variável Potência máxima é a mais eficaz na predição de valor do Custo horário. Embora a variável Peso Operacional também contribua para um incremento e a variável Largura da Lâmina um decremento nos valores do Custo horário produtivo e improdutivo, a tendência do modelo é que equipamentos com maiores Potências tenham Custo horário com valor mais relevante.

Ressalta-se que a construção do modelo é fortemente dependente do valor de aquisição de cada máquina. Equipamentos com um mesmo valor de aquisição têm as parcelas do custo de propriedade e de manutenção iguais, diferenciando apenas na parcela do custo de operação, que depende da Potência de cada equipamento.

A sua aplicação confirmou que a variável Produção é limitada à produção do equipamento líder, de forma que, quando a produção do equipamento estudado ultrapassa a produção do equipamento líder o coeficiente horário improdutivo será maior e por consequência a obtenção de uma maior parcela do custo unitário improdutivo, o qual é o mais influenciado pelo valor de aquisição da máquina. Dessa forma, máquinas mais “caras” e que possuam uma maior produção terão um Custo horário improdutivo maior.

A partir da aplicação demonstrada conclui-se que a utilização do modelo possibilita ao Engenheiro de Custos realizar a seleção de uma motoniveladora de forma direta e recorrendo apenas às especificações do fabricante.

7.2 Limitações do Modelo

Uma das limitações do modelo é o fato de só poder ser utilizado na seleção de motoniveladoras para o serviço de compactação de aterros a 100% proctor normal, tendo em vista a utilização de parâmetros deste serviço na sua elaboração.

Embora demonstrado nos estudos de Soares (2015) sobre a influência da variação da angulação da lâmina nos resultados de produção, este não foi objeto de estudo na presente pesquisa.

Há também a limitação de considerar valores fixos e iguais ao da Motoniveladora utilizada pelo SICRO (Caterpillar 120K) como parâmetros para todos os modelos e marcas utilizadas como amostra para a sua construção.

Outra limitação é o fato do modelo não considerar fatores tecnológicos presentes em cada máquina e que refletem em aumento na sua produtividade.

Considerando que os Custos horários são significativamente influenciados pelo valor de aquisição do equipamento e, que o modelo elaborado foi desenvolvido a partir de máquinas mais atuais disponíveis para comercialização, tem-se que a sua utilização para a seleção de equipamentos de marcas e modelos não mais disponíveis para comercialização conduzirá a obtenção de Custos horários com base em parâmetros de Motoniveladoras de modelos mais atuais, configurando-se como uma limitação do modelo.

Uma outra limitação refere-se à necessidade de ajustes ao modelo ocasionada por variações satisfatórias nos custos de mão-de-obra e combustíveis, como também para valores de aquisição negociados para cada equipamento analisado na amostra no Estado do Ceará ou nos demais Estados Brasileiros.

7.3 Recomendações para Pesquisas Futuras

O modelo, durante a sua elaboração, se limitou a estudar somente o equipamento Motoniveladora e apenas o serviço de Compactação de Aterros a 100% Proctor Normal e, como recomendações para pesquisas futuras e melhoria do atual modelo são indicadas:

- Verificar, em campo, parâmetros reais durante a utilização da máquina no serviço estudado e assim ajustar o modelo elaborado tornando as variáveis de seleção mais próximas da realidade;
- Desenvolver um modelo utilizando esta mesma metodologia empregada na pesquisa para os demais equipamentos envolvidos neste e nos demais serviços de terraplenagem e pavimentação. Se possível, desenvolver uma ferramenta de informática com aplicação conjunta aos vários tipos de equipamentos e que possa auxiliar no melhor planejamento dessas obras;
- Analisar a possibilidade de implementar um modelo que utilize a opção de decisão para aluguel ou compra de equipamentos, auxiliando o Engenheiro de Custos a realizar a seleção mais adequada com base na análise comparativa dos Custos horários com opção do equipamento locado ou adquirido.

Na opção de desenvolvimento de um modelo probabilístico, a partir de parâmetros obtidos por meio de observações em campo, como o caso do tempo de ciclo e largura útil da lâmina para o cálculo da produção, bem como valores de Potência e número de passadas para o cálculo do custo horário, que podem ocorrer de forma probabilística, a depender das condições em campo, a análise da aderência do modelo aos valores esperados poderá ser realizada pelo teste de aderência do Qui-quadrado.

Tal teste é utilizado com o objetivo de verificar se os valores obtidos estão suficientemente próximos dos valores esperados para as variáveis de Produção, Custo horário produtivo e Custo horário improdutivo, de forma a avaliar se o modelo probabilístico a ser proposto é adequado aos resultados de referência determinísticos.

REFERÊNCIAS

- ABRAM, I.; ROCHA, A. V. **Manual Prático de Terraplenagem**. Ed. ARNEOR, Salvador, BA, 2000.
- ABRAM, I. **Planejamento de Obras Rodoviárias**. Ed. ARNEOR, Salvador, BA, 2001.
- ALTOUNIAN, C. S. **Obras públicas: licitação, contratação, fiscalização e utilização**. Ed. Fórum, Belo Horizonte, MG, 2008.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas Rurais, Técnicas Adequadas de Manutenção**. Florianópolis, SC, 2003.
- BAETA, A. P. **Orçamento e controle de preços de obras públicas**. Ed. PINI, São Paulo, SP, 2012.
- BARCIA, R. M. **Um modelo de simulação para a análise de produtividade de equipamentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, SC, 1980.
- BARBOSA, V. H. B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para seleção de equipamentos em obras de construção rodoviária**. Dissertação (Mestrado). PETRAN. Universidade Federal do Ceará, 2012.
- BRASIL. Senado Federal. **Siga Brasil: painel cidadão sobre o orçamento da união**. Brasília: Senado. 2018. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/orcamento/sigabrasil> > Acesso em: 27 mai. 2018.
- _____. **Decreto nº 7.893**, de 8 de abril de 1993. Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 8abril2013. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D7983.htm>. Acesso em: 27 mai. 2018.
- CALHAU, F. E. C. **Apoio à Decisão na Seleção de Equipamentos de Escavação**. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2013.
- CATERPILLAR – **Folheto Técnico**. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/motor-graders/m-series-motor-graders/18378188.htm> Publicação: 2018. Acesso em: 28 jul. 2018.
- _____. **Manual de Produção**. 2ª edição. Peoria, (E.U.A), 1995.
- _____. **Manual de Produção 39**. Caterpillar INC. Peoria, E.U.A., 2009.
- CEARÁ. SEINFRA: **Tabela de Custos**. 2017. Disponível em: <<https://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/tabela-de-custos-unificada>> Acesso em: 15 nov. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016**. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF.

_____. **Pesquisa CNT de Rodovias 2017**. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF.

DAY, D. A. **Construction Equipment Guide**. 2 ed. USA: John Wiley and Sons Inc, 1989.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

_____. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. 3ª ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

_____. **Manual de Custos de Infra-estrutura de Transportes**. Volume 1: Metodologia e Conceitos. 1ª ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. Brasília, Brasil, 2017a.

_____. **Manual de Custos de Infra-estrutura de Transportes**. Volume 3: Equipamentos. 1ª ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. Brasília, Brasil, 2017b.

_____. **Manual de Custos de Infra-estrutura de Transportes**. Volume 11; Tomo 33: Composições de Custos. 1ª ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. Brasília, Brasil, 2017c.

_____. **Manual de Custos de Infra-estrutura de Transportes**. Volume 12; Tomo 5: Produções de equipes mecânicas. 1ª ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. Brasília, Brasil, 2017d.

_____. **Relatório Analítico de Composição de Custos – Ceará – Janeiro/2018**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva, Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. Brasília, Brasil, 2018.

EDWARDS, D. J.; HOLT, G. D., **ESTIVATE: a model for calculating excavator productivity and output costs**. Journal Of Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 7, p 55-62, 2000.

GUIMARÃES, N. **Equipamentos de Construção e Conservação**. Ed. UFPR, Curitiba, Brasil, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE CUSTOS. **Elaboração de Estimativas de Custos de Referências de Obras Públicas: Versão para Órgãos Contratantes**. Orientação Técnica OT 004, 2013.

INSFRAN, A. A. L.; ASSUMPCÃO, J. F. P. **Um sistema para planejamento operacional de obras de rodovias**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/299. São Paulo, SP, Brasil, 2001.

INTITUTO DE ENGENHARIA. **Elaboração de orçamento de obras de construção civil**. Norma Técnica I.E. 01/2011. São Paulo, SP, Brasil, 2011.

ISO 6165:2012. **Earth-moving machinery - Basic types - Identification and terms and definitions**, 2012.

ISO 7134:2013. **Earth-moving machinery – Graders – Terminology and commercial specifications**, 2013.

JAWORSKI, T. **Equipamentos para escavação – compactação e transporte (Apostila)**. Curitiba, Brasil, 1997.

KADIVAR, H.T. **A Study on The Factors (Job and Management Conditions) Affecting Output/Productivity of Motor Grader Equipment**. International Journal for Scientific Research & Development, vol. 4, n. 2, p 1538-1540, 2016.

MANUTENÇÃO & TECNOLOGIA. **Não existe “receita de bolo”**. Revista Manutenção e Tecnologia, 2010.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. Ed. PINI, São Paulo, SP, 2006.

NAVIDI, W. **Statistics for engineers and scientists**. McGraw Hill Companies, New York, 2006.

PEDROZO, L. G. **Custos da Infraestrutura Rodoviária – Análise e Sistematização**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PESSOA JUNIOR, ELCI. **Manual de obras rodoviárias e pavimentação urbana: execução e fiscalização**. Ed. PINI, São Paulo, SP, 2014.

PEURIFOY, R.; SCHEXNAYDER, C. J.; SHAPIRA, A.; SCHMITT, R. **Construction, Planning, Equipment and Methods**. Ed. McGraw-Hill Book Co., New York, NY, USA, 2010.

PEREIRA, A. L. **Equipamentos de Terraplenagem**. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1961.

PRATA, B. A.; NOBRE JUNIOR E. F.; BARROSO, G. C. **Dimensionamento de equipes mecânicas em obras de terraplenagem usando redes de Petri coloridas**. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Fortaleza, Ceará, 2007.

RASHIDI, A; NEJAD, H.R.; MAGHIAR, M. **Productivity Estimation of Bulldozers using Generalized Linear Mixed Models**. KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 18, n. 6, p 1580-1589, 2014.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação – Terraplenagem e**

Escavação de Rocha. Ed. PINI, São Paulo, SP, 2007.

ROLIM, F. A. O. R.; DINIZ, G. R.; PEREIRA, T. A. C. **Uma contribuição para a auditoria em pequenas barragens de terra: pontos críticos de análise.** Artigo, TCE/PE, X SINAOP, Recife, PE, 2005.

SAYADI, A. R.; LASHGARI, A.; FOULADGAR, M.M.; SKIBNIEWSKI, M.J. **Estimating Capital and Operational Costs of Backhoe Shovels.** Journal of Civil Engineering and Management, vol. 18, n. 3, p. 378-385, 2014.

SMITH, S.D., **Earthmoving Productivity Estimations Using Linear Regression Techniques.** Journal Of Construction Engineering and Management, 1999, n. 125, p. 133-141, 1999.

SOARES, M. E. S.; NOBRE JUNIOR, E. F. **Análise do modelo matemático utilizado para o cálculo de produtividade de motoniveladoras e variáveis adotadas pelo método de custos rodoviário brasileiro em comparativo com a literatura e as tecnologias atuais.** XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Curitiba, Paraná, 2014.

SOARES, M. E. S. **Desenvolvimento de Um Sistema de Apoio à Decisão na Seleção de Motoniveladoras para a Execução de Obras de Terraplenagem e de Pavimentação.** Dissertação (Mestrado). PETRAN. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOBRATEMA. **Guia Sobratema de Equipamentos 2017-2018.** São Paulo, Brasil, 2016.

SOTOMAYOR, W. R. R. **Sobre a Estimativa de Produção de Equipamentos de Construção de Pavimentos Rodoviários.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Obras Públicas de Edificação e Saneamento – Módulo 1: Planejamento – Aula 3: Orçamentação.** Instituto Serzedello Corrêa, Brasília, Brasil, 2014.

TORRES, R. L. **O Tribunal de Contas e o controle da legalidade, economicidade e legitimidade.** Rio de Janeiro, Revista do TCE/RJ, nº 22, p. 37-44, jul/1991.

APÊNDICE A – AMOSTRA UTILIZADA NO ESTUDO DO MODELO

Tabela A.1 - Dados da amostra utilizada no estudo do modelo

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Valor de Aquisição - (R\$)</i>	<i>Largura da Lâmina (m)</i>	<i>Potência Máxima (kW)</i>	<i>Peso Operacional (Kg)</i>
CASE	845B	570.000,00	3,658	160	15.000
	865B	590.000,00	3,962	205	15.870
	885B	660.000,00	4,267	219	18.050
CATERPILLAR	120K	635.000,00	3,658	145	13.032
	12K	685.000,00	3,658	165	14.334
	12M	931.140,00	3,7	183	16.581
	140M	1.032.621,00	3,7	186	16.581
	140K	760.000,00	3,7	190	14.768
	160M	1.090.047,00	3,7	251	16.820
JOHN DEERE	670G	705.000,00	3,66	185	18.591
	672G	780.000,00	4,27	185	19.137
KOMATSU	GD555-3	550.000,00	3,71	160	15.740
	GD655-5	650.000,00	4,32	218	17.915
LIUGONG	CLG4165	470.000,00	3,96	153	15.000
	CLG4200	570.000,00	4,27	205	16.500
NEW HOLLAND CONSTRUCTION	RG140.B	500.000,00	3,658	160	14.605
	RG170.B	550.000,00	3,962	205	15.587

Fonte: Próprio autor com dados de Sobratema (2016) e pesquisa de valores de aquisição de motoniveladoras na cidade de Fortaleza/CE em Fev/2018.