

Gerenciamento de equipes mecânicas na construção de aterro rodoviário: um estudo na rodovia BR 381/MG – Norte

Management of mechanical teams in the construction of landfill: a study on the BR 381/MG - North highway

F. Delmiro^a, J. Possato^a, R. Ferraz-Almeida^{a†}

^a *Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: rizely@gmail.com*

RESUMO

O transporte rodoviário responde pela maior parte dos serviços de transporte de cargas no Brasil. Esse modal também é o que mais recebe investimentos do governo federal em projetos, obras de manutenção, implantação e aumento de capacidade. Com a hipótese de que a hipótese que o gerenciamento de custo e tempo de serviços e equipamentos são ferramentas fundamentais para a construção de aterro em rodovia. O objetivo do estudo foi gerenciar o custo e tempo de equipes mecânicas de serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais para a construção de um aterro na rodovia BR 381/MG – Norte. Um estudo foi realizado usando a base de dados do Manual de Custos Rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e o Sistema de Custos Rodoviários, comparando cronograma e custo de duas equipes mecânicas: Equipe 1, grade de discos - GD; niveladora - MO; rolo compactador - RC; tanque caminhão - CT; trator agrícola - TA) e uma equipe alternativa (GD; RC; CT; TA e trator de esteira - TE). Os resultados mostram que o custo da equipe alternativa é 26% superior ao da equipe mecânica proposta da Equipe 1, mas sua produção horária foi 33% maior, situação que refletiu diretamente em um prazo menor, passando de 222 dias iniciais para 169, economia de 5% no custo final com a utilização de uma equipe alternativa. Concluindo que o conhecimento da área de gerenciamento de cronograma e as metodologias da atividade principal, baixas e aumento da eficiência na execução de um projeto são de grande valia na elaboração de soluções.

ABSTRACT

Road transport accounts for the majority of cargo transport services in Brazil. This modal is also the one that receives the most investments from the federal government in projects, maintenance works, implementation and capacity increase. With the hypothesis that the cost and time management of services and equipment are fundamental tools for the construction of embankments on highways. The objective of the study was to manage the cost and time of mechanical teams of services and equipment for spreading in planes, homogenization, convenient wetting or aeration and compaction of materials for the construction of an embankment on the BR 381/MG – North highway. A study was carried out using the Road Costs Manual database of the National Department of Transport Infrastructure and the Road Costs System, comparing schedule and cost of two mechanical teams: Team 1, disc harrow - GD; leveler - MO; road roller - RC; tank truck - CT; agricultural tractor - TA) and an alternative team (GD; RC; CT; TA and bulldozer - TE). The results show that the cost of the alternative team is 26% higher than that of the proposed mechanical team of Team 1, but its hourly

Palavras-chave:

Gerenciamento do cronograma; custos; obras rodoviárias; equipe mecânica.

Keywords:

Schedule management; costs; road works; mechanical team.

production was 33% higher, a situation that directly reflected in a shorter period, going from 222 initial days to 169, saving 5% no final cost with the use of an alternative team. Concluding that the knowledge of the area of schedule management and the methodologies of the main activity, lows and increase of efficiency in the execution of a project are of great value in the elaboration of solutions.

1. Introdução

O setor rodoviário brasileiro concentra 61 % do transporte de cargas com predominância desse setor em relação ao transporte do ferroviário 20 %, hidroviário 13 %, dutoviário 46 %, e aéreo 1 %, realidade influenciada pela política econômica no Brasil [1]. A mesma realidade é encontrada em países, como: Austrália e China que também possuem uma alta concentração transporte de cargas via rodoviário. No entanto, países como, Rússia, apresenta uma menor concentração no transporte de cargas rodoviário com maior concentração no sistema ferroviário [2].

No Brasil, o investimento total acumulado por modal é maior no modal rodoviário, seguido do ferroviário, aéreo e aquaviário. Existe uma proposta para reduzir a participação do transporte rodoviário e aumento de outros modais, como o aquaviário e ferroviário [3]. O modal rodoviário foi responsável por 63 % da tonelada quilômetro útil transportada no Brasil, que representa o total de carga movimentada pela distância percorrida [4]. Além disso, o modal rodoviário oferece serviços específicos de transporte e logística com uma alta geração de empregos em vagas formais com geração de renda de forma direta e indireta.

Diante essa importância, Programas de Aceleração do Crescimento e melhoria do sistema rodoviário brasileiro são necessários para melhorar a manutenção, expansão e segurança rodoviária, além de viabilizar estudos e projetos para implantação, melhorias, duplicação e aumento da capacidade. A expansão do sistema rodoviário precisa desenvolver obras em duplicação, pavimentação, acesso a portos, contornos e travessias urbanas, para a eliminação de pontos de estrangulamento em eixos estratégicos. Além disso, também é necessário o desenvolvimento de novas regiões, ampliação da integração física nacional aos países vizinhos e redução do custo do transporte. Essa expansão promover a melhoria da qualidade e tráfego nas rodovias, reduzindo o índice de acidentes.

Empreendimento rodoviários exigem um nível alto de planejamento e são também conhecidos por “planos viários”, já que, em sua maioria, são de longa duração e possuem diversas peculiaridades [5]. Portanto, são projetos que necessitam da aplicação das melhores práticas de Gerenciamento de Projetos [6]. Nesse sentido, o cronograma do projeto é uma ferramenta fundamental que a equipe do projeto (gerente e demais colaboradores) precisa familiarizar.

No Project Management Body of Knowledge (PMBOK) o gerenciamento do tempo (5ª Edição) ou gerenciamento do tempo para gerenciamento do cronograma (6ª Edição) são ferramentas utilizadas para assegurar à conclusão do projeto no prazo previsto. O gerenciamento do cronograma está ligado a todas as outras áreas de conhecimento no gerenciamento de projetos. Enquanto, o gerenciamento do cronograma do projeto vai desde a definição de atividades, sequenciamento, definição de recursos por atividade, estimativa de duração e montagem até controle do cronograma [7]. Segundo Ferreira [8] no gerenciamento de projetos, o cronograma do projeto é um documento que, se preparado adequadamente, é utilizável para planejamento, execução, monitoramento/controle e comunicação da entrega do escopo para as partes interessadas.

Esse estudo tem a hipótese que o gerenciamento de custo e tempo de serviços e equipamentos são ferramentas fundamentais para a construção de aterro em rodovia. O objetivo do estudo foi gerenciar o custo e tempo de equipes mecânicas de serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais para a construção de um aterro na rodovia BR 381/MG – Norte.

2. Materiais e métodos

2.1. Caracterização da área em estudo

O estudo foi realizado através da metodologia de estudo de caso de uma obra, em uma rodovia de responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [DNIT], localizada nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, no Brasil (Figura 1), durante 2020 e 2021.

O segmento em estudo está localizado na BR-381, no estado de Minas Gerais, entre os municípios de Jaguará e Antônio Dias. A obra tem início no km 288,4 da rodovia, localizada a 850 metros após o entroncamento com a rodovia MG-320, que dá acesso à Jaguará, e termina no km 317,0 com uma extensão de 28,6 quilômetros. A duplicação se desenvolve na direção nordeste para o sudoeste, no sentido a capital Belo Horizonte, transpondo uma região bastante homogênea e ondulada, constituída de terras de cerrado com baixadas em transição.

O volume médio diário de veículos que percorrem este trecho da rodovia segundo pesquisa realizada pelo DNIT [9] foi de 11.691, sendo que 42 % são veículos de carga, 48 % de carros de passeio, e 9 % entre coletivos e motos.



Figura 1 - Localização do estudo no estado de Minas Gerais, BR-381 Norte.

2.2. Caracterização do gerenciamento do tempo e custo

Esse estudo de gerenciamento de custo e tempo foi realizado na fase da execução de um corpo de aterro, localizado no segmento de implantação entre os km 312,04 a 312,30 (denominado no cronograma como aterro do km 312,13). O aterro possui um perímetro de 684 m, e volume de 620.000,00 m³, e será utilizado para a transposição de uma grota seca cruzada pelo traçado da rodovia (Figura 2).



Figura 2 - Grota seca a ser cruzada pelo traçado (A) e execução do corpo do aterro (B).

Na economia moderna não pode correr riscos na execução de obras, principalmente as rodoviárias. Ênfase especial deve ser dada ao planejamento como forma de orientar os gerentes envolvidos com a construção, seja o engenheiro residente, seja o pessoal do departamento de equipamentos e de pessoal, seja o pessoal da área financeira, ou de fornecimento de materiais. Isso não só facilitará um perfeito domínio das quantidades e custos envolvidos, mesmo que os preços sejam bons, podendo de fato levar bons resultados, com o planejamento se melhorará sensivelmente esse intuito [10].

O gerenciamento do tempo será contabilizado de acordo os serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, umedecimento e compactação dos materiais para a construção.

O gerenciamento de custos para a execução do aterro foi calculado de acordo o Manual de Custos Rodoviários, 1ª Edição [11] e o Sistema de Custos Rodoviários [12]. O Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes apresenta as metodologias, as premissas e as memórias adotadas para o cálculo dos custos de referência dos serviços necessários à execução de obras e suas estruturas auxiliares [11]. Enquanto, o Sistema de Custos Rodoviários é uma ferramenta criada e aperfeiçoada pelo DNIT para manter atualizada a definição de custos, apta para estabelecer os melhores parâmetros para referenciar a elaboração dos orçamentos de projetos rodoviários e licitação de obras [13-14].

2.3. Variáveis analisadas

O custo unitário de serviço para a compactação de aterros à 100 % do proctor normal corresponde aos serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, umedecimento e compactação dos materiais para a construção [12]. O custo unitário de serviço (R\$) é a somatória dos custos dos insumos (mão de obra, materiais e equipamentos), necessários à execução de uma unidade e o custo das atividades auxiliares. Para esse estudo os insumos presentes na composição do custo unitário de serviço do serviço de compactação de aterros à 100% do proctor normal, são mão de obra e equipamentos. A mão de obra consiste no conjunto de trabalhadores envolvidos diretamente na execução de determinado serviço ou na administração local. O custo desse insumo é obtido por meio do salário do trabalhador acrescido dos encargos inerentes a cada categoria profissional, expresso de forma horária ou mensal que nesta composição é o servente. Equipamentos consistem no conjunto de máquinas, instrumentos ou aparelhos necessários à produção de determinado bem ou à execução de determinado serviço.

O custo horário de um equipamento é definido por meio de seus custos horários de propriedade, manutenção e operação. Os equipamentos empregados para construção de aterros à 100% do proctor normal são: caminhão tanque com capacidade de 10.000l – 188kW; Grade de 24 discos rebocável de 24”; Motoniveladora – 83kW; Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 toneladas – 82kW, e Trator agrícola – 77kW (Tabela 1).

Cada equipamento tem seu ciclo operacional que juntos formam a equipe mecânica [15]. O tempo de ciclo de cada equipamento foi calculado de acordo o intervalo de tempo necessário para a execução de uma operação completa de uma série de operações repetitivas. O tempo de ciclo de um trator de lâmina que empurra uma certa quantidade de terra, corresponde ao intervalo de tempo que o mesmo consome em, iniciar o movimento de empurrar a terra, parar, voltar, parar de novo e iniciar o movimento de empurrar uma nova carga.

A quantificação do serviço realizado durante um ciclo e seu tempo total de duração é fundamental para se determinar a produção horária do equipamento, para se dimensionar e equilibrar o restante dos equipamentos que com ele formam patrulha, bem como se para calcular a produção da própria patrulha [12], descrito na Tabela 1.

O cálculo da produção das equipes mecânicas (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; e trator agrícola - TA) para a compactação de aterros à 100% do Proctor normal, foi realizado de acordo os dados de produção de cada equipamento descrito pelo DNIT [12], Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de referência para do gerenciamento do tempo da equipe mecânica (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; trator agrícola - TA; e trator esteira - TE) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal.

Variáveis	Unid.	GD	MO	RC	CT	TA	TE
Capacidade	l	-	-	-	10.000,00	-	-
Consumo	l/m ³	-	-	-	53,00	-	-
Distância	m	150,00	150,00	150,00	5.000,00	150,00	150
Espaçamento	m	-	-	-	-	-	-
Espessura	m	0,20	0,20	0,20	-	0,20	0,20
Fator Carga	-	-	-	-	-	-	-
Fator Conversão	-	-	-	-	-	-	-
Fator Eficiência	-	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Larg. Operação	m	-	3,66	2,13	-	-	3,27
Larg. Superposta	m	-	0,20	0,20	-	-	0,2
Largura Útil	m	2,45	3,46	1,93	-	2,45	3,07
Nº de passadas	un	6,00	6,00	8,00	-	6,00	2,00
Profundidade	m	-	-	-	-	-	-
Tempo fixo	min	-	-	-	40,00	-	-
Tempo ida	min	1,88	1,50	2,14	9,09	1,88	2,11
Tempo retorno	min	-	-	-	6,06	-	-
Tempo total ciclo	min	-	-	-	55,15	-	-
Vel. de ida	m/min	80,00	100,00	70,00	550,00	80,00	60,00
Vel. de retorno	m/min	-	-	-	825,00	-	-
Produção Horária	m ³	325,36 ¹	574,36 ¹	168,20 ¹	170,38 ¹	325,36 ¹	764,36 ¹
Nº de Unidades	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Util. Operativa	-	0,52	0,29	1,00	0,99	0,52	0,21
Util Improdutiva	-	0,48	0,71	0,00	0,01	0,48	0,79

As equipes mecânicas avaliadas foram: equipe proposta pelo DNIT (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; trator agrícola - TA) e uma equipe alternativa (GD; RC; CT; TA e trator esteira - TE), Tabela 1. As características de cada equipamento foram utilizadas para calcular a Produção Horária [PH1], usando a eq. (1).

$$PH1 = \frac{60 * f * i * m * t}{n} \quad (1)$$

onde, (f): é a espessura da área de trabalho, que é a altura das camadas no serviço de terraplenagem; (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento; (m) é a largura útil, espaço nominal definido pelos implementos dos equipamentos; (t) é a velocidade de ida, que consiste na velocidade média de um equipamento na operação de ida; e (n) é o número de passadas, repetição de passadas de um equipamento por uma mesma faixa de camada de material, visando atingir as condições previstas em projeto. Esta equação foi utilizada para o cálculo dos equipamentos GD, Motoniveladora, RC e TA.

A produção horária do caminhão tanque [PH2] apresenta como característica o transporte de material de um ponto a outro que pode ser fora da área de abrangência da tarefa a ser realizada. Na determinação do tempo de ciclo do caminhão tanque deve consideradas duas parcelas no tempo fixo: o tempo de carregamento e o tempo de retorno, diferente dos demais equipamentos, que seu percurso limitasse a área do serviço a ser executado.

A PH2 foi calculada de acordo a eq. (2), onde: (b) é a capacidade, que consiste no volume nominal de material transportado; (c) é o consumo, que é a quantidade de material aplicado pelo equipamento em uma unidade de medida do serviço executada; (s) é o tempo total de ciclo, que

consiste na soma dos tempos fixos, dos tempos de percurso e de retorno; e (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento.

$$PH2 = \frac{60 * b * i}{(c * s)} \quad (2)$$

onde: (b) é a capacidade, que consiste no volume nominal de material transportado; (c) é o consumo, que é a quantidade de material aplicado pelo equipamento em uma unidade de medida do serviço executada; (s) é o tempo total de ciclo, que consiste na soma dos tempos fixos, dos tempos de percurso e de retorno; e (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento.

O critério utilizado pelo DNIT para a determinação do líder da equipe mecânica foi o do equipamento que tem a menor produção horária, sendo ele o RC com o resultado de 168,20 m³ por hora. Limitando assim a produtividade dos demais equipamentos que forma a equipe mecânica, tendo a sua utilização operativa de 1,00. Desta forma a utilização operativa dos demais equipamentos será a razão da PH2 do RC pelo equipamento em questão, apresentadas na tabela 1.

2.4. Dados de referência para do gerenciamento do custo

O custo horário de cada equipamento participante neste estudo de caso foi um componente do custo do metro cúbico aterrado. Para o DNIT [11-12], o custo horário de um equipamento consiste na soma de todos os custos envolvidos em sua utilização, definidos em função das condições de trabalho, do tipo de equipamento, das características específicas do serviço e referenciadas em uma determinada unidade de tempo.

É assim necessário distinguir a hora produtiva da hora improdutivo. A hora produtiva de um equipamento é a hora de trabalho efetiva, em que o seu custo é dado pelas parcelas de custo de propriedade (depreciação e juros), custos de operação (pneus, combustível, lubrificantes, dependendo do método de análise o custo do operador) e custos de manutenção. A hora improdutivo corresponde à hora de trabalho em que o equipamento está disponível, mas não está a ser utilizado, tem em conta apenas o custo de propriedade e o custo do operador dependendo da situação [16].

O custo operacional de referência da equipe mecânica (GD; MO; RC; CT; e TA) foi calculado de acordo os dados disponibilizados pelo DNIT [13] e Ribeiro [16], e descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de referência para do gerenciamento do custo da equipe mecânica (grade de discos - GD; motoniveladora; rolo compactador – RC; caminhão tanque - CT; e trator agrícola - TA) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal (código 2-S-01-511-00).

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018						
Equipamento	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	1	0,52	0,48	2,21	1,54	1,89
Trator Agrícola	1	0,52	0,48	80,73	30,75	56,74
Motoniveladora	1	0,29	0,71	178,95	78,34	107,52
Rolo Compactador	1	1,00	0,00	119,81	53,49	119,81
Caminhão Tanque	1	0,99	0,01	176,40	49,00	175,13
Custo Horário de Equipamentos						461,09
Produção da equipe: 168,20 m ³ hora ⁻¹						

O custo horário [CH] de cada equipamento foi calculado de acordo a eq. (3).

$$CH = (a * c) + (b * d) \quad (3)$$

Onde: (a) é a utilização operativa; (b) é a utilização improdutiva; (c) é o custo operativo; e (d) é o custo improdutivo.

Para a realização do serviço compactação de aterros à 100% do Proctor normal (código 2-S-01-511-00), que se resume em espalhamento, umedecimento e compactação do solo, cada equipamento da equipe mecânica tem uma função. O caminhão de tanque responsável pelo umedecimento do material; a motoniveladora pelo espalhamento e nivelamento das camadas; o trator agrícola e grade de disco juntos fazem o tratamento do solo, realizando a desagregação das camadas superficiais para posterior expurgo; o rolo compactador para a compactação do solo, juntos realizam o serviço de compactação de aterros à 100% do Proctor normal.

A partir dos dados de produção e custo do Sistema de Custos Rodoviários, foi montada, uma equipe mecânica, e o gerenciamento do cronograma e custo para a execução do aterro. Para quantificação da quantidade de equipamentos usou-se a seguinte metodologia, pega-se a o equipamento com a maior utilização operativa, que neste caso é o rolo compactador (líder da equipe mecânica). A utilização operativa do rolo compactador é de grau 1, sendo assim ao acrescentar outro equipamento ou demais serão proporcionais a sua utilização. Por exemplo, para utilizar dois rolos compactadores não a necessidade de acrescentar outra GD ou TA, pois sua utilização operativa corresponde à metade do líder da equipe mecânica. No caso da motoniveladora também não há necessidade, pois corresponde a 30% da utilização operativa do líder. Já o caminhão tanque será acrescentado outro, pois sua utilização operativa e praticamente igual ao do líder.

Neste contexto, foi calculado o custo das equipes mecânicas propostas no estudo. A produtividade por hora da equipe (PHE) é o produto da quantidade de rolos compactador pela sua produção horária, 168,20 m³ por hora (Tabela 2), assim como demonstrado na eq. (2).

$$PHE = n * PH \quad (4)$$

Onde (n) é o número de equipamentos líderes que neste caso são 3; e (PH) sua produção horária de 168,20, chegando assim a uma produtividade de 540,6 m³ por hora, assim como demonstrado na eq. (4).

2.5. Cálculo do cronograma

O aterro a ser executado terá 620.000 m³, a equipe mecânica tem a capacidade de produzir 540,6 m³ por hora. O número de dias para execução deste serviço será 153 dias corridos. Onde: (T) é o tempo em dia; (d) é o volume de material; (PH1) é produção por hora da equipe executiva; e 08 as horas trabalhadas por dia, calculado de acordo com a eq. (5).

$$T = (d/PH1)/8 \quad (5)$$

3. Resultados

O custo horário da equipe mecânica formada por grade de discos, trator agrícola, motoniveladora, rolo compactador, caminhão tanque ficou em R\$ 1.194,08 para produzir 540,6 m³ por hora (Tabela 3).

O uso do caminhão tanque contribuiu com o maior aporte no custo horário na construção do aterro com uma utilização operacional de 0,99, e quase zero de improdutividade. O rolo compactador apresentou uma utilização operativa e improdutiva similar ao caminhão tanque, mas o custo horário foi R\$ 164,87 mais barato. O uso da grade de discos é o implemento que gera o menor impacto nos custos com um valor de R\$ 4,13 no custo horário (Tabela 3). A grade de disco gera o menor impacto no custo porque é o equipamento que apresenta o menor valor das despesas que são consideradas para o cálculo do custo horário do equipamento, que são: custo de propriedade, custo de manutenção e custo de operação.

Tabela 3 - Custo operacional da equipe mecânica (Grade de Discos; Trator Agrícola; Motoniveladora; Rolo Compactador; e Caminhão Tanque) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal de 620.000 m³ do aterro, km 312,13.

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018						
Equipamento	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	2	0,78	0,22	2,21	1,54	4,13
Trator Agrícola	2	0,78	0,22	80,73	30,75	139,47
Motoniveladora	1	0,88	0,12	178,95	78,34	166,73
Rolo Compactador	3	1,00	0,00	119,81	53,49	359,44
Caminhão Tanque	3	0,99	0,01	176,40	49,00	524,31
Custo Horário de Equipamentos						1.194,08
Custo total						R\$1.467.166,69

Nota: O custo total foi calculado usando a composição da equipe mecânica do DNIT

Usando a equipe proposta pelo DNIT o custo total para executar a construção do aterro de 620.000 m³ foi de R\$ 1.467.166,69, com um cronograma de 222 dias de duração com início no dia 06 de agosto de 2018 a 19 de março de 2019. Esse valor foi considerado apropriado, desde que o executor das obras do empreendimento, tenha condições de seguir sem grandes desvios ou interferências externas, planejamento esse proposto pelo DNIT.

Tabela 4 - Extrato do Cronograma referente a compactação de aterros a 100% do Proctor normal do aterro do km 312,13.

Cronograma			
Nome da tarefa	Duração	Início Corrente	Término Corrente
Execução corpo de aterro	222	06/08/2018	15/03/2019

3.1. Gerenciamento do custo e tempo da equipe mecânica alternativa

A equipe mecânica apresentada pelo DNIT, ao dimensionar o conjunto, considerou uma condição ideal de execução de obras, porém não foi possível, devido a diversos fatores como: fragmentação das frentes de serviços devido a atraso nos processos de desapropriação, atraso na liberação das licenças ambientais e também no repasse de recursos financeiros para a execução das obras no empreendimento.

Como intuito de reduzir o prazo de execução e custo optou-se pela modificação da equipe mecânica proposta pelo DNIT. Para a execução da tarefa espalhamento do material, uma alternativa é a substituição da motoniveladora – 93kW, pelo trator de esteiras com lâmina - 112kW. Equipamento que com a lâmina de aço reta ou curva situada na frente do trator e perpendicular ao eixo da máquina, esse equipamento permite o deslocamento de materiais e a limpeza de áreas.

O custo horário desta equipe alternativa formada por grade de discos, trator agrícola, trator de esteira lâmina, rolo compactador e caminhão tanque ficou maior com um valor de R\$ 1.511,43 para produzir 672,8 m³ por hora, sendo utilizado 4 unidades de RC, o líder da equipe mecânica (Tabela 5).

O uso do caminhão tanque também contribuiu com o maior aporte no custo horário na construção do aterro com uma utilização operacional de 0,99, mas com uma improdutividade de 0,01; considerada a maior improdutividade da equipe. O uso da grade de discos também é o implemento que gera o menor impacto nos custos com um valor de R\$ 4,43 no custo horário (Tabela 5).

Tabela 5 - Custo operacional de referência equipe mecânica alternativa (Grade de Discos; Trator Agrícola; Trator Esteira Lâmina – TE Lâmina; Rolo Compactador - RC; e Caminhão Tanque - CT) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal de 620.000 m³ do aterro km 312,13.

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018							
Equipamento	Prod. ⁽¹⁾ m ³	Qnt. ⁽²⁾	Utilização		Custo Operacional		CH ⁽³⁾
			Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	325,36	2	1,00	0,00	2,21	1,54	4,43
Trator Agrícola	325,36	2	1,00	0,00	80,73	30,74	164,46
TE Lâmina	784,84	1	0,86	0,14	182,74	73,92	167,20
RC	168,20	4	1,00	0,00	119,81	53,48	479,25
CT	170,38	4	0,99	0,01	176,40	49,00	699,08
Custo Horário de Equipamentos							1.511,43
Custo total							R\$ 1.392.811,51

O custo total foi calculado usando a composição alternativa da equipe mecânica

Nota: (1) Produção em metros cúbicos [Prod.m³]; (2) Quantidade [Qnt]; (3) Custo Horário [CH]

Usando a equipe alternativa em relação à equipe proposta pelo DNIT o custo total para executar a construção do aterro de 620.000 m³ foi de R\$ 1.392.811,51, promovendo uma redução de custo de R\$ 74.355,18, com um cronograma de úteis dias de duração com início no dia 06 de agosto de 2018 a 21 de janeiro de 2019, ou seja, uma redução de 53 dias na entrega (Tabela 6).

Tabela 6 - Extrato do Cronograma referente a compactação de aterros a 100% do Proctor normal do aterro do km 312,13.

Cronograma			
Nome da tarefa	Duração	Início Corrente	Término Corrente
Execução corpo de aterro	169	06/08/2018	21/01/2019

3.2. Comparativo de tempo e custo das equipes mecânicas

O equilíbrio de uma equipe mecânica consiste em selecionar seus componentes e dimensionar a quantidade de cada um, de forma que a harmonia desse conjunto resulte numa produção otimizada, com o melhor aproveitamento das capacidades individuais. O que propusermos foi substituir a Motoniveladora pelo Trator de Esteira, equipamento que tem características operacionais semelhantes, mas com uma utilização operativa menor, em torno de 24 %, que é dada a partir das relações entre a produção horária do líder da equipe mecânica, que neste caso é o Rolo Compactador com os demais equipamentos da patrulha.

Através dessa utilização operativa menor do Trator de Esteira, pode-se acrescentar 1 (um) Rolo Compactador a mais que proporcionou um aumento na produção horária da equipe alternativa, com a substituição por equipamento de custo horário semelhante ao inicial, mas com um rendimento acima. E sem a necessidade de se acrescentar outro equipamento, situação está não poderia ser concretizada com a Motoniveladora. Uma vez que, com a composição de uma patrulha com 4 (quatro) Rolos Compactadores tem-se uma produção horária de 672,8 m³ contra 574,36 m³ de 1 (uma) motoniveladora.

O custo da equipe alternativa foi 26 % maior do que a proposta inicial, porém sua produção horária ficou 33 % maior, situação tal que refletiu diretamente num prazo menor, passando de 222 dias iniciais para 169. Como também uma economia de 5 % no custo final do aterro (Tabela 7).

Tabela 7 - Comparativo entre as equipes mecânicas.

Comparativo das equipes mecânicas			
Equipamento	Produção Horária-m ³	Custo Horário - R\$	Prazo - dias
Motoniveladora	504,6	1.194,08	222
Trator de esteira c/ lâmina	672,8	1.511,43	169

4. Conclusões

Na construção de um corpo de aterro com a compactação à 100% do proctor normal, com uma equipe mecânica formada por grade de discos, rolo compactador, caminhão tanque, trator agrícola e trator esteira apresenta um custo 26 % maior do que a equipe mecânica proposta pelo DNIT (grade de discos; motoniveladora; rolo compactador; caminhão tanque; trator agrícola), porém sua produção horária é 33 % maior, situação tal que refletiu diretamente num prazo menor, passado de 222 dias iniciais para 169. Podendo verificar uma economia de 5 % no custo final do aterro com a utilização de uma equipe alternativa. Diante os nossos resultados e os resultados da literatura conclui que a gestão de tempo e do custo em projetos tem uma importância incontestável. O cronograma está ligado essencialmente a uma previsão feita, que são realizadas durante o planejamento do projeto, antes da execução efetiva, que estão sujeitas a eventuais desvios. Essa área de conhecimento é de grande importância em projetos que geram impactos diretamente a sociedade, como uma obra rodoviária. Além de comprometer os custos, retarda a entrega do projeto, como também a disponibilidade de iniciar a sua utilização.

Referências

- [1] Confederação Nacional de Transporte, Boletins estatísticos, <https://www.cnt.org.br/boletins>, 2019 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [2] World Bank Group. Connecting to Compete Trade Logistics in the Global Economy, The Logistics Performance Index and Its Indicators, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20399>, 2014. (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [3] A. M. Fernandes, N. L. S. Correa, Modais de transporte: um estudo acerca dos três principais modais da matriz de transporte de cargas do Brasil, in XII FATECLOG - gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual, FATEC Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil, 2021.
- [4] Instituto de Logística e Supply Chain, Relatório de pesquisa dos custos logísticos no Brasil. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.
- [5] C. R. T. Pimenta, Projeto Geométrico de Rodovias, 1.ed, Rio de Janeiro, Elsevier, 2017.
- [6] L. A. Pereira, A importância do planejamento de rodovias em relação ao transporte de cargas, Monografia, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava, MG, Brasil, 2019.
- [7] J. Duarte, Gerenciamento do cronograma do projeto, <https://www.gp4us.com.br/gerenciamento-do-cronograma-do-projeto>, 2008. (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [8] J. B. B. Ferreira, Gestão de projetos na construção civil, Gest MBA, Goi I, Nos R., 2013.
- [9] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Estudos de Tráfego Capacidade e Níveis de Serviço para elaboração do Projeto Básico e Executivo do Lote 3.1 BR-381/MG, DNIT, Brasília, MG, Brasil, 2016.
- [10] E. F. Batista, Metodologias de mensuração econômica e avaliação da vulnerabilidade com aplicação em trechos da rodovia Régis Bittencourt, São Paulo-SP, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2019.
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Manual de custos de infraestrutura de transportes, v.1, 1ed. DNIT, Brasília, DF, Brasil, 2017.
- [12] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Manual de custos de infraestrutura

- de transportes, v.12, 1ed. DNIT, Brasília, DF, Brasil, 2017.
- [13] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Notícias, <http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-lanca-novo-sistema-de-custos-referenciais-de-obras-sicro>, 2017 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [14] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Planilha de custos e pagamentos do Sistema de Custos Referenciais de Obras, <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/sudeste/sudeste>, 2018 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [15] E. J. A. Lustosa, Automatização de aquisição de dados de tempos de ciclos de equipamentos de terraplenagem utilizando internet das coisas. Monografia, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, 2018.
- [16] R. C. A. Ribeiro, L. H. Souza, F. G. Oliveira, Viabilidade econômica do uso de trator/implementos agrícolas na construção de terraços, Revista Engenharia na Agricultura, 28 (2020) 176-184.

ORCID

F. Delmiro 0000-0002-3983-2950 (<https://orcid.org/0000-0002-3983-2950>)
J. Possato 0000-0002-8109-3266 (<https://orcid.org/0000-0002-8109-3266>)
R. Ferraz-Almeida 0000-0003-0577-3961 (<https://orcid.org/0000-0003-0577-3961>)