

Avaliação da produtividade na extração de argila bentonítica no município de Boa

Vista, estado da Paraíba, Brasil

Evaluation of productivity in the extraction of bentonite clay in the municipality of Boa

Vista, state of Paraíba, Brazil

Evaluación de la productividad en la extracción de arcilla bentonita en el municipio de

Boa Vista, estado de Paraíba, Brasil

Recebido: 31/08/2020 | Revisado: 10/09/2020 | Aceito: 14/09/2020 | Publicado: 14/09/2020

Carlos Zanoni Alves Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4931-8146>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: zanolialvess@gmail.com

Camila Nascimento Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5093-7078>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: camilnascimentoalves@gmail.com

Kempes Francisco Pereira Magalhães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4622-3993>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: kempespereiramagalhaes@gmail.com

Resumo

O presente artigo apresenta uma metodologia para determinação dos índices de produtividade das operações unitárias de mineração a céu aberto do minério de Bentonita, no Município de Boa Vista, interior da Paraíba. O objetivo deste trabalho é verificar possíveis procedimentos inadequados e passíveis de otimização na operação da mina Primavera, no município de Boa Vista, estado da Paraíba. As operações unitárias analisadas foram as etapas de carregamento e transporte. Neste trabalho realizou-se o estudo dos tempos e movimentos, para definir o ciclo ótimo das operações, número de caminhões adequados e a taxa de produtividade da escavadeira. Os resultados demonstrados neste artigo evidenciam que existe grande perda de tempo durante a operação de carregamento. O cálculo da produtividade média é 18, ou seja, esse é o número ótimo de caminhões que devem trabalhar em consórcio com a escavadeira. Atualmente a empresa trabalha com 21 caminhões e, constantemente, há formação de filas de

espera para carregamento. Três caminhões a menos representam uma severa diminuição bastante considerável nos custos de transporte. Além disso, para se obter otimização na etapa de carregamento a produtividade média do equipamento necessita ser de 217,14 m³/hora. Assim, foi possível definir medidas corretivas a serem tomadas para otimizar o processo de Operações Unitárias na Mina Primavera. Foi calculada uma projeção de produtividade de 1.737,12 m³/dia, considerando um dia de trabalho com 8 horas. Levando em conta que a Bentonita possui uma densidade de 1,5 ton/m³, o valor médio da produtividade pode ser expresso em 2.605,68 ton/dia.

Palavras-chave: Mineração; Produtividade mineral; Bentonita; Processos de otimização.

Abstract

This article presents a methodology for determining the productivity indexes of the unit operations of open pit mining of Bentonite ore, in the county Boa Vista, Paraíba country. The objective of this work is to verify possible inadequate procedures that can be optimized in the operation of the Primavera mine, in the county of Boa Vista, Paraíba country. The unit operations analyzed were the loading and transport stages. In this work, the study of times and movements was carried out to define the optimal cycle of operations, the number of suitable trucks and the productivity rate of the excavator. The results shown in this article show that there is a great loss of time during the loading operation. The average productivity calculation is 18, that is, this is the optimal number of trucks that must work in consortium with the excavator. The company currently works with 21 trucks and there are constantly queues for loading. Three fewer trucks represents a severe, rather considerable decrease in transportation costs. In addition, to obtain optimization in the loading stage, the average productivity of the equipment needs to be 217.14 m³ / hour. Thus, it was possible to define corrective measures to be taken to optimize the Unit Operations process at Mina Primavera. A productivity projection of 1,737.12 m³ / day was calculated, considering an 8-hour workday. Taking into account that Bentonite has a density of 1.5 ton / m³, the average value of productivity can be expressed in 2,605.68 ton / day.

Keywords: Mining; Mineral productivity; Bentonite; Process optimization.

Resumen

Este artículo presenta una metodología para la determinación de los índices de productividad de las operaciones unitarias de minería a cielo abierto de mineral de Bentonita, en el municipio de Boa Vista, interior de Paraíba. El objetivo de este trabajo es verificar posibles

procedimientos inadecuados que se puedan optimizar en la operación de la mina Primavera, en el municipio de Boa Vista, estado de Paraíba. Las operaciones unitarias analizadas fueron las etapas de carga y transporte. En este trabajo se realizó el estudio de tiempos y movimientos para definir el ciclo óptimo de operaciones, el número de camiones adecuados y el índice de productividad de la excavadora. Los resultados mostrados en este artículo muestran que existe una gran pérdida de tiempo durante la operación de carga. El cálculo de productividad promedio es 18, es decir, este es el número óptimo de camiones que deben trabajar en consorcio con la excavadora. Actualmente la empresa trabaja con 21 camiones y constantemente hay colas de carga. Tres camiones menos representan una disminución severa y bastante considerable de los costos de transporte. Además, para obtener una optimización en la etapa de carga, la productividad promedio del equipo debe ser de 217,14 m³ / hora. Así, fue posible definir las medidas correctivas a tomar para optimizar el proceso de Operaciones de la Unidad en Mina Primavera. Se calculó una proyección de productividad de 1.737,12 m³ / día, considerando una jornada de 8 horas. Teniendo en cuenta que la Bentonita tiene una densidad de 1,5 ton / m³, el valor medio de productividad se puede expresar en 2.605,68 ton / día.

Palabras clave: Minería; Productividad mineral; Bentonita; Procesos de optimización.

1. Introdução

Ao longo da história da mineração vários equipamentos foram concebidos com o objetivo de maximizar o trabalho (Souza e Catalani, 1977). No que diz respeito ao carregamento e transporte de minério, atualmente utilizam-se máquinas capazes de movimentar centenas de toneladas de material por hora de trabalho. Estes equipamentos exigem o emprego de grandes quantidades de energia para realizar trabalho, o que implica em altos custos de operação (Borges, 2013).

Os equipamentos de grande porte usados na lavra de minério de Bentonita são, principalmente, escavadeiras, carregadeiras, tratores, além de caminhões para transporte do material extraído.

No intuito de aperfeiçoar a produtividade nas operações nas minas o uso de métodos de simulação tem sido muito utilizado, inclusive pesquisas bibliográficas indicam que essa metodologia tem sido utilizada desde a década de 60 (Shi e AbouRizk, 1997).

Desde a revolução industrial, a evolução de equipamentos vem sendo desenvolvida por vários fabricantes. Os modelos são projetados de acordo com o tipo de material e a escala

de produção requerida por cada projeto, sempre agregando alta tecnologia para corresponder aos mais complexos sistemas produtivos (Carvalho, 2018).

Na lavra a céu aberto, os custos operacionais dos equipamentos de transporte se aproximam da metade dos custos totais de operação. Assim, a seleção correta destes equipamentos é imprescindível para a viabilidade do empreendimento mineiro (Zimmermann e Kruse, 2006).

Para a definição do tipo de equipamentos e sistemas de transporte a serem utilizados, diversos aspectos devem ser considerados e avaliados, entre os quais: produção, distância de transporte, topografia do terreno, infraestrutura disponível, interferências com o meio ambiente e sociedade, além da economicidade (Hartman, 1987).

A produtividade da atividade extrativa é determinada de acordo com os tempos em que cada operação unitária é realizada e a capacidade de produção de cada equipamento envolvido. No ciclo produtivo da lavra de argila, neste caso a Bentonita, as principais operações unitárias são: desmonte do minério; carregamento e transporte. A duração de cada uma destas operações é denominada tempo de ciclo mínimo. Segundo Souza e Catalani (1977), o tempo de ciclo compreende um conjunto de operações em que um equipamento executa em um lapso de tempo, de maneira cíclica e apresentada em unidade de tempo.

Na lavra a céu aberto, para equipamentos de transporte, o tempo de ciclo de operação compreende os tempos de: carregamento; transporte carregado; manobras; basculamento, retorno vazio e paradas. Para escavadeiras, o ciclo é dado pelo tempo total de carregamento da caçamba, posicionamento para descarga, descarga e posicionamento para o novo carregamento da caçamba. Para as carregadeiras, o ciclo é definido pelo avanço até o corte, carga da caçamba, retorno carregado, manobras, avanço até o caminhão, descarga, retorno vazio e paradas (Souza e Catalani, 1977).

Estimar a produtividade possibilitará a quantificação dos impactos dos desvios dos Indicadores Chaves de Desempenho (ICDs) sobre a produtividade, que trazem benefícios como a determinação de ações que trazem melhores resultados com menor custo, caracterizando-se como fundamental para a otimização do sistema produtivo da mina. Por isso, a eficiência de um sistema produtivo depende da eficiência com que são utilizados os equipamentos, materiais e métodos e implica em identificar e eliminar as perdas associadas no processo produtivo, como equipamentos, pessoal, segurança e meio ambiente (Brandão e Tomi, 2011).

2. Metodologia

Para atender aos objetivos propostos neste artigo e contextualizar a problemática discutida separou a presente pesquisa em duas etapas.

Na primeira etapa foram realizadas pesquisas bibliográficas abordando aspectos sobre produtividade em lavras de minérios argilosos, neste caso a Bentonita.

Na segunda etapa realizou-se um estudo de caso, com pesquisa de campo na mina denominada Primavera, onde foi possível observar toda rotina dos trabalhos de lavra, contemplando as operações de carregamento e transporte de Bentonita.

Destaca-se que a metodologia aplicada no artigo proposto é de natureza quantitativa, pois se trata da aplicação de formulações matemáticas (Pereira et al., 2018).

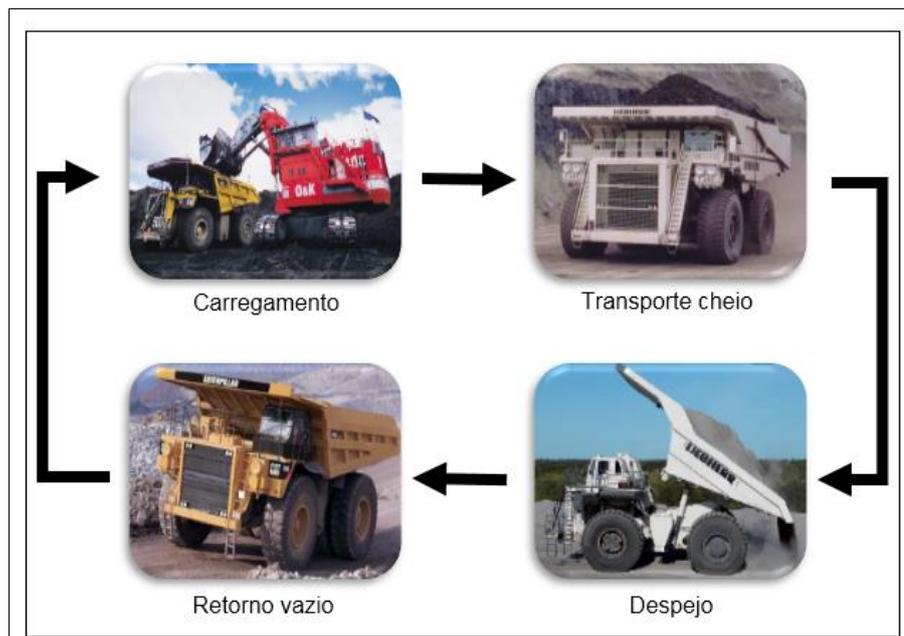
2. 1. Produtividade na lavra de argila

De acordo com Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos traz como objetivos principais o desenvolvimento do método de operação adequado: o objetivo é planejar um sistema, um conjunto de operações e procedimentos; padronizar a operação: após definir o método adequado para se executar uma operação, este deve ser fixado. Normalmente, o processo de execução é dividido em várias operações específicas, as quais devem ser descritas em detalhe; e determinar um tempo padrão: a análise dos movimentos e dos tempos poderá ser usada para determinar o tempo padrão que uma pessoa qualificada, devidamente treinada e com experiência, deve gastar para executar uma tarefa. Este tempo padrão, poderá ser utilizado no planejamento para estimativa de custos ou para controle de custos de mão-de-obra.

A seleção correta do porte dos equipamentos que irão operar em conjunto (escavadeiras, carregadeiras, caminhões, entre outros) visa aumentar a eficiência global da produção. O objetivo é evitar o uso de equipamentos e frotas que se mostrem incompatíveis com a produção necessária (Pereira, 2019). Na Figura 1 é possível notar os portes dos equipamentos utilizados na execução das operações de transporte e carregamento da mina Primavera.

Este sincronismo deve, inicialmente, basear-se em restrições físicas. Um primeiro condicionante refere-se as dimensões do equipamento de carregamento. A altura máxima da caçamba de um caminhão deve possibilitar que uma escavadeira ou carregadeira manobre sua concha sobre a balsa do caminhão sem haver colisões.

Figura 1. Operações básicas envolvidas no carregamento e transporte de minério.



Fonte: Os autores.

A altura entre o ponto de descarga do material pelo equipamento de carregamento e a altura da caçamba do caminhão também deve ser respeitado, de forma a não provocar danos estruturais ao equipamento de transporte. O superdimensionamento da caçamba de uma escavadeira ou carregadeira pode provocar derramamento da carga e conseqüentemente perda de produtividade (Caterpillar, 2009).

Deste modo, o alcance da descarga do equipamento de carregamento, é condicionante do porte do equipamento de transporte. Observadas esta restrição, a compatibilização dos equipamentos em operação conjugada deve, também, atender a outros fatores que irão afetar diretamente o rendimento da operação, tais como:

- O número de ciclos do equipamento de carregamento: para completar a capacidade de carga do equipamento de transporte, o número de ciclos deve estar compreendido entre 3 e 5. Um número menor seria evidentemente preferível, no entanto, é necessário observar se o tamanho da caçamba da unidade de transporte não seja muito pequena em comparação com o tamanho da caçamba da unidade de carregamento. Deve-se evitar danos devido a impactos sobre a suspensão e a estrutura do veículo (Caterpillar, 2009);
- Número excessivo de unidades da frota de transporte, ocasionando dificuldades no tráfego, manutenção e etc;
- Adequação do número de unidades de transporte necessária para cada unidade de carregamento. Se este for abaixo do ideal poderá ocorrer ociosidade da unidade de

carregamento, se houver o contrário, provavelmente ocorrerá filas dos equipamentos de transporte. A seguir, as fórmulas equilíbrio entre o número caminhões e escavadeiras ou carregadeiras serão abordadas com maior ênfase;

A determinação do número ideal de equipamentos em operação conjugada pode ser auxiliada com o cálculo do fator de balanceamento. Este é dado em função do tempo de ciclo mínimo das escavadeiras ou carregadeiras e caminhões, assim como mostrado na Equação 1 (Souza e Catalani, 1977).

$$FB = \frac{N_c \cdot T_{ce}}{N_e \cdot T_{cc}} \quad (1)$$

Onde:

FB é o fator de balanceamento

N_c é o número de caminhões

T_{ce} é o tempo de ciclo mínimo da escavadeira ou carregadeira

N_e é o número de escavadeiras ou carregadeiras

T_{cc} é o tempo de ciclo mínimo do caminhão

Na equação 1 busca-se como resultados valores para FB mais próximos de 1, pois este é o fator de balanceamento ideal. Ao considerar o fator de balanceamento igual a 1, e número de escavadeiras ou carregadeiras igual a 1, obtém-se a equação do cálculo do número ideal de caminhões para uma dada unidade de carregamento, de acordo com a Equação 2.

$$N_c = \frac{T_{cc}}{N_{ca} \cdot T_{ce}} \quad (2)$$

Onde:

N_c é o número de caminhões

T_{ce} é o tempo de ciclo mínimo da escavadeira ou carregadeira

T_{cc} é o tempo de ciclo do caminhão

N_{ca} é o número de caçambadas do equipamento de carregamento

Para o cálculo da produtividade horária de escavadeiras e carregadeiras deve-se levar em consideração, principalmente o fator de caçamba, aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba de escavadeiras e carregadeiras que, basicamente, será função das características do material. As demais variáveis envolvidas no cálculo da produtividade são mostradas na equação 3:

$$P = \frac{C.E.f.\varphi}{T_{cm}} \quad (3)$$

Onde:

P se refere a produção (m³/h)

C é capacidade de carga (m³)

E é a eficiência do trabalho

φ é o fator de empolamento

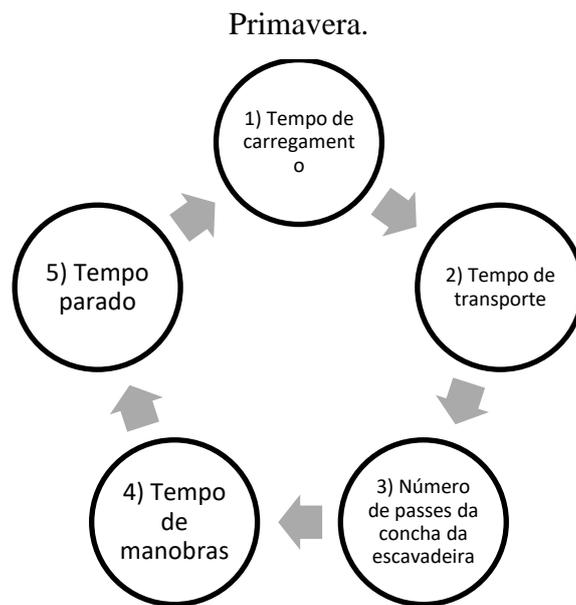
f é o fator de caçamba

T_{cm} é o tempo de ciclo mínimo (h)

2.2. Etapa de campo

Os dados coletados na etapa de campo foram classificados de acordo com as características dispostas na Figura 2:

Figura 2. Classificação dos tempos e movimentos nas operações unitárias da Mina



Fonte: Os autores.

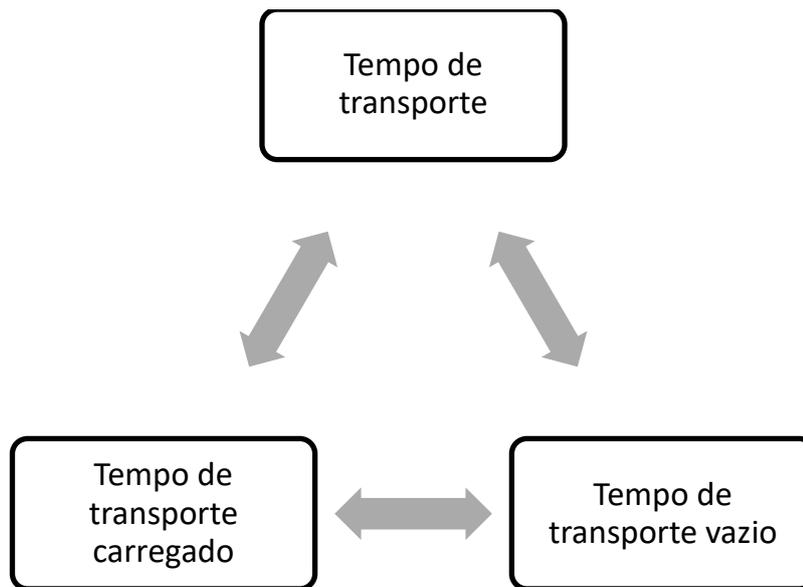
Os dados referentes aos tempos de ciclo foram coletados com auxílio de um cronômetro digital, sendo inseridos os valores de cada tempo em uma planilha eletrônica. Para cada tipo de informação foi criada uma coluna.

Foi realizado o preenchimento de dados de 38 ciclos de carregamento e transporte. As informações foram organizadas, compiladas e analisadas, obtendo-se as médias das operações unitárias, os maiores e menores tempos, capacidade de produção horária média e número ótimo de caminhões.

Foi executado o cálculo do volume da concha do equipamento de carregamento, que neste estudo de caso se refere a uma escavadeira EC210 da fabricante Volvo, cuja capacidade foi calculada em 1,7 metros cúbicos.

O tempo de transporte foi determinado em duas partes (Figura 3). A primeira parte é composta pelo tempo de transporte carregado, sendo medida desde o instante em que o caminhão carregado deixa a mina até chegar para o basculamento, que fica a 12 km do ponto de carregamento. A segunda parte é composta pelo tempo de retorno vazio, desde o local de basculamento até o ponto de espera para ser carregado novamente. Entre estes dois tempos, existe ainda o tempo de basculamento, também coletado.

Figura 3 – Tempo de transporte na operação da Mina Primavera.



Fonte: Os autores.

O tempo de carregamento foi medido considerando deste o momento em que a primeira concha é despejada no caminhão até o momento em que o caminhão inicia o transporte carregado. Neste período, também foi computado o número de passes que o equipamento de carregamento necessitou dar para encher completamente o caminhão.

No cálculo da produtividade média da escavadeira foram considerados os seguintes parâmetros:

- a) Eficiência $E = 1$;
- b) Fator de caçamba $f = 1,3$
- c) Fator de empolamento $\phi = 0,8$.

A Tabela 1 resume todos os dados coletados na etapa de campo, entre os dias 16 e 31 de março de 2020.

Tabela 1. Dados da produtividade coletados.

Tomada de tempo	Escavadeira				Caminhões			
	Tempo de ciclo mínimo de carregamento (seg.)	Nº passe	Tempo médio de passe (seg.)	Tempo de posicionamento para carregamento (seg.)	Tempo de transporte carregado (min.)	Tempo de basculamento (seg.)	Tempo de transporte vazio (min.)	Tempo total do ciclo de transporte (min.)
01	215	12	18	15	35	25	29	64,7
02	214	13	16	12	36	26	28	64,6
03	199	11	18	11	35	25	28	63,6
04	198	11	18	14	35	27	29	64,7
05	203	12	17	13	35	26	31	66,7
06	209	12	17	13	36	25	28	64,6
07	223	12	19	14	37	26	27	64,7
08	210	13	16	16	34	25	28	62,7
09	241	14	17	20	35	25	28	63,8
10	203	12	17	13	36	26	27	63,7
11	199	12	17	14	34	26	27	61,7
12	232	13	18	15	37	27	26	63,7
13	214	14	15	19	35	25	27	62,7
14	216	12	18	17	36	26	28	64,7
15	197	12	16	13	34	25	28	62,6
16	219	12	18	13	37	27	27	64,7
17	222	13	17	14	33	25	29	62,7
18	219	13	17	13	35	26	26	61,7
19	207	13	16	15	36	25	28	64,7
20	195	14	14	16	35	25	27	62,7
21	199	11	18	15	34	27	26	60,7
22	217	12	18	15	36	25	26	62,7
23	214	14	15	14	35	27	29	64,7
24	200	12	17	12	35	27	28	63,7
25	213	11	19	14	36	26	27	63,7
26	218	13	17	15	36	25	25	61,7
27	196	13	15	13	34	26	28	62,7
28	201	13	15	17	35	27	27	62,7
29	224	14	16	20	34	28	27	61,8
30	229	12	19	15	36	26	29	65,7
31	221	11	20	17	37	26	27	64,7
32	217	11	20	18	35	27	26	61,8
33	222	14	16	19	35	26	27	62,8
34	237	12	20	21	36	26	26	62,8
35	210	11	19	22	35	27	26	61,8
36	278	12	23	15	35	26	28	63,7
37	255	13	20	21	36	27	29	65,8
38	203	12	17	22	36	27	28	64,8

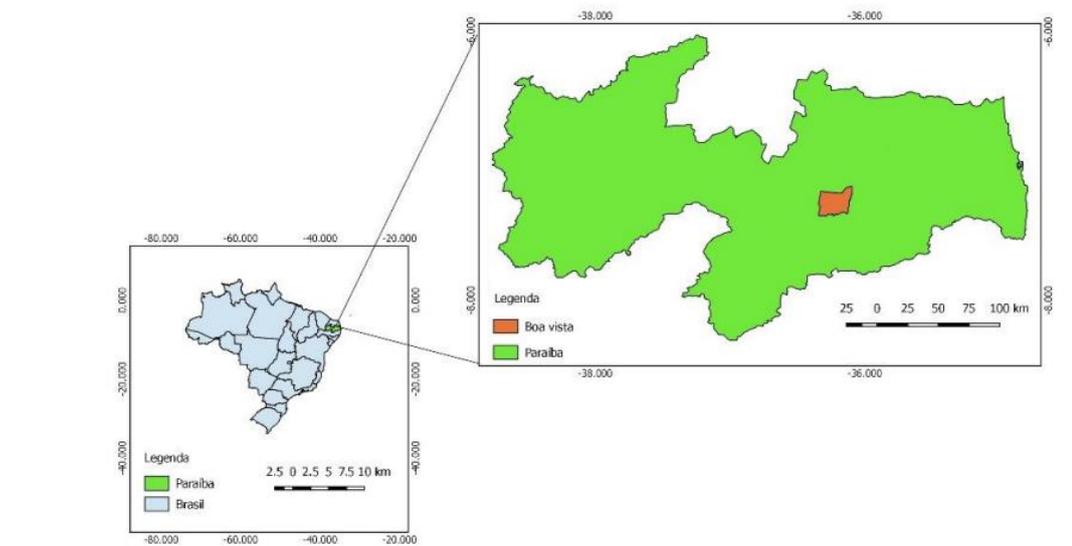
Fonte: Os autores.

3. Resultados e Discussão

A área de estudo localiza-se no município de Boa Vista, no estado da Paraíba, nordeste do Brasil (Figura 4). As principais jazidas de Bentonita em operação no Brasil estão localizadas no município de Boa Vista/PB (Coelho e Cabral, 2010).

A Figura 5 se refere a Operação Unitária de Carregamento, na Mina Primavera.

Figura 4. Mapa de localização da mina Primavera.



Fonte: Os autores.

Figura 5. Operação de carregamento na mina Primavera – Boa Vista, Paraíba.



Fonte: Os autores.

O minério de Bentonita pode ser definido como uma rocha constituída essencialmente por argilominerais do grupo das Esmectitas. A estrutura cristalina da Bentonita permite o

processo de adsorção de cátions e isso atribui propriedades características especiais para esse argilomineral, como plasticidade e elevada capacidade de troca catiônica. Essa propriedade é de grande importância para a indústria, como a construção civil, aglomerante de minérios (pelotização de minério de ferro e de areias de moldagem em fundição). Além disso, A Bentonita é capaz de transformar substâncias do estado viscoso para o líquido após agitação, por isso é utilizado em sondagem, nas lamas de perfuração. É também utilizado como carga mineral em tintas, esmaltes e vernizes. O minério de Bentonita possui cerca de 140 usos industriais, tendendo a aumentar o seu consumo nos países em desenvolvimento (Coelho e Cabral, 2010).

A partir de 1960 iniciou-se o interesse pelo minério de Bentonita na região de Boa Vista, após pesquisas geológicas (Araújo, Farias e Sá, 2008).

A Empresa de extração de Bentonita cujos dados foram coletados desenvolve suas atividades de extração de argila bentonítica no município de Boa Vista, estado da Paraíba.

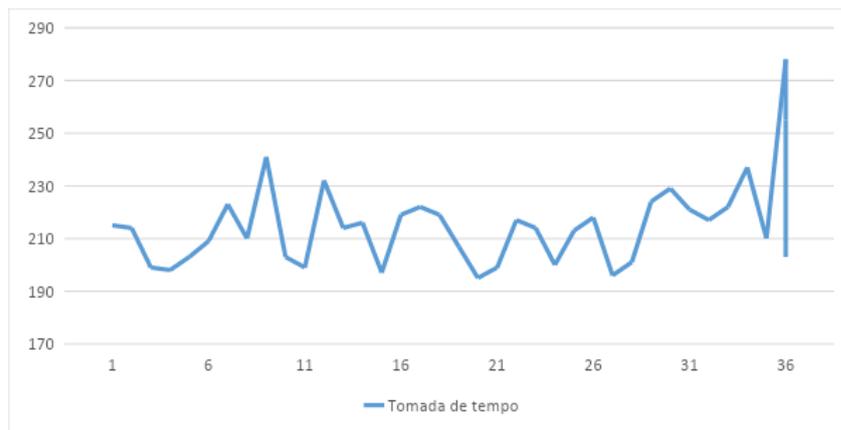
A extração do bem mineral pela empresa de mineração usa o método a céu aberto por tiras. Este método foi escolhido principalmente levando-se em consideração a gênese da reserva mineral. A Bentonita está disposta em pequenas profundidades (entre 2 e 20 metros) e é encontrada em camadas horizontais sobrepostas. Este método possibilita que o minério seja extraído camada por camada, sem contaminação com outros materiais.

A crescente demanda pela eficiência na extração da Bentonita exige que todas as variáveis relacionadas aos custos de extração sejam analisadas. Os possíveis processos identificados como inadequados devem ser modificados, a fim de se obter significativo incremento na taxa de produção horária e redução de custos.

A escala de produção na mina é dada em milhares de toneladas por mês, as pequenas variações nos parâmetros relativos a produtividade podem gerar grandes impactos nos resultados.

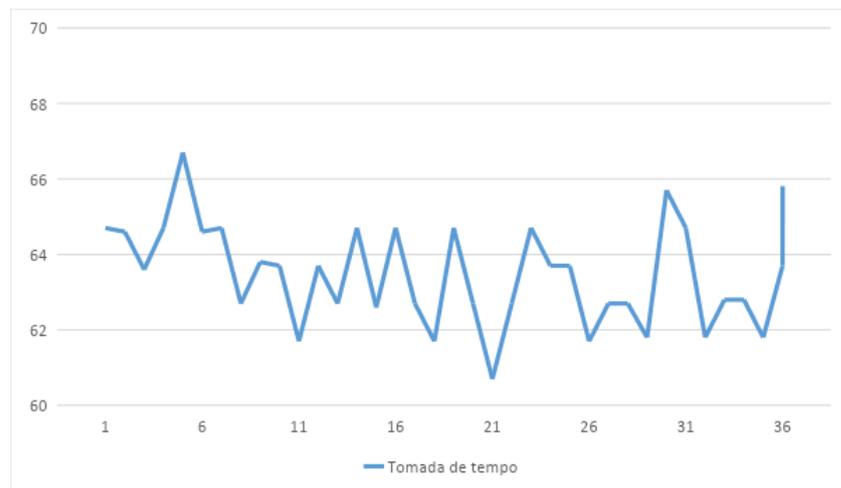
A seguir, os Gráficos 1 e 2 mostram as variações existentes nas diferentes tomadas de tempo, com base nos dados obtidos na Tabela 1.

Gráfico 1. Tempos de ciclo mínimo de carregamento.



Fonte: Os autores.

Gráfico 2. Tempos de ciclo mínimo de transporte.



Fonte: Os autores.

Tomando como base os valores médios obtidos na Tabela 01, foi possível calcular o número ideal de caminhões para a operação de transporte, usando a Equação 2, resultando no cálculo abaixo.

$$N_c = \frac{T_{cc}}{N_{ca} \cdot T_{ce}} = \frac{64min}{3,59min} = 17,82 \cong 18 \text{ caminhões}$$

Atualmente, a empresa trabalha com 21 caminhões em sua operação de transporte, um valor superestimado, conforme demonstrado os cálculos da equação 2.

A produtividade média da escavadeira foi calculada também utilizando os valores médios disponíveis na Tabela 01, aplicando-se a Equação 3, resultando no cálculo abaixo.

$$P = \frac{C.E.f.\varphi}{T_{cm}} = \frac{1,7m^3 \times 1 \times 1,3 \times 0,9}{(17 + 16)seg \text{ ou } 0,00916 \text{ horas}} = 217,14 \text{ m}^3 \text{ por hora}$$

O cálculo da produtividade média da escavadeira necessita ser de 217,14 m³/hora com 18 caminhões para realizar a operação de transporte, e assim maximizar a produtividade.

Os resultados demonstrados neste artigo evidenciam que existe grande perda de tempo durante a operação de carregamento da mina Primavera. A primeira causa para esclarecer essa questão é devido ao posicionamento inadequado dos caminhões, que ficam ao lado da escavadeira, resultando um ângulo de carregamento maior do que o recomendado. A variação de até 1,38 minutos é resultante, principalmente, do posicionamento inadequado do caminhão na hora do carregamento, implicando em um ângulo de carregamento maior que o recomendado.

Para redução do tempo de carregamento é necessário que o ângulo de carregamento entre a escavadeira e o caminhão seja o menor possível, nunca ultrapassando 90°.

A segunda causa do aumento do tempo de ciclo mínimo de carregamento é a falta de uniformidade no volume preenchido por argila em cada concha. Algumas conchas possuem maior quantidade de argila que outras, acarretando excesso ou falta de argila em alguns caminhões. Quando há a falta, é necessário efetuar mais um passe para completar a capacidade de carga do caminhão, aumentando o tempo de ciclo.

Levando em consideração que nos resultados apresentados, o número de passes da concha da escavadeira necessário para completar a carga de um caminhão foi em média 17 passes, pode-se afirmar que é necessário redimensionar o equipamento de carregamento. O ideal é que o número de passes para completar a carga do caminhão seja de 3 a 5 passes, ou seja, é recomendado uma escavadeira de maior porte.

Com relação ao tempo de ciclo de transporte, foi encontrada uma média de 64 minutos. Obteve-se também uma variação de até 6 minutos entre o menor e o maior valor. Neste caso, esta diferença está relacionada, principalmente, as diferenças de potências dos motores dos caminhões, variável não tangível de solução em curto prazo, dado o alto custo na substituição da frota.

Como a taxa de produtividade horária foi calculada em 217,14 m³ por hora. Considerando um dia de trabalho com 8 horas, é projetada uma produção de 1.737,12 m³/dia. Levando em conta que a argila bentonítica possui uma densidade de 1,5 ton/m³, o valor médio da produtividade pode ser expresso em 2.605,68 ton/dia.

4. Considerações Finais

A metodologia aplicada no levantamento da produtividade das operações unitárias, estudo de tempos e movimentos na lavra de argila bentonítica no município de Boa Vista, no estado da Paraíba é uma poderosa ferramenta, adequada para a definição dos tempos de ciclo individual dos equipamentos, determinação da produtividade média e eficiência global dos sistemas produtivos na mina Primavera.

Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que existe relevante variação no tempo de ciclo mínimo de carregamento, devido a questões de posicionamento de caminhões.

Por fim, foi calculado o número ótimo de caminhões que devem trabalhar em consórcio com a escavadeira. Atualmente a Empresa trabalha com 21 caminhões e, constantemente, há formação de filas de espera para carregamento. Os cálculos revelaram que é necessário apenas a utilização de 18 caminhões, sem redução da produtividade horária. Três caminhões a menos representa uma severa diminuição nos custos de transporte.

Neste artigo foi possível depreender que ferramentas para determinação da estimativa de produtividade em operações unitárias de mina são importantes para propor ações que trazem melhores resultados e menor custo.

É sugerido para trabalhos futuros o estudo dos custos envolvidos nestas operações de carregamento e transporte, cruzando os dados com as informações contidas neste artigo, afim de verificar a relevância monetária do aumento da taxa produtividade.

Referências

Araújo, J. S. B., Farias, P. S. C., & Sá, A. J. (2008). Mineração e industrialização da Bentonita e as transformações/permanências no espaço agrário de Boa Vista-PB: um estudo de caso dos Sítios Bravo e Urubu. *Revista de Geografia*, 25(3), 122-142.

Barnes, R. M. (1977). Estudo de tempos e movimentos: projeto e medida de trabalho. *São Paulo: Edgard Blucher*.

Brandão, R., & Tomi, G. D. (2011). Mining productivity estimation and management methodology. *Rem: Revista Escola de Minas*, 64(1), 77-83.

Borges, T. C. (2013). Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas descarregamento e transporte em mineração. Recuperado de <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3411/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20An%C3%A1liseCustoOperacionais.pdf>.

Caterpillar. (2009). Manual de Produção. (39ª ed.) *Caterpillar inc. USA*, 110f.

Coelho, J. M., & Cabral Junior, M. (2010). Estudo Prospectivo da Bentonita: tendências de mercado. CETEM/UFPE.

Carvalho, L. S. C. (2018). Despacho eletrônico: Uso como ferramenta de aumento de produtividade nas minas de Itabira.

Souza Ricardo, H., & Catalani, G. (1977). *Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha*. McGraw-Hill do Brasil.

Hartman, H. L. (1992). *SME mining engineering handbook* (Vol. 2). S. G. Britton, J. M. Mutmansky, D. W. Gentry, W. J. Schlitt, M. Karmis, & M. M. Singh (Eds.). Denver: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica.

Pereira, B. I. (2019). *Seleção e dimensionamento da frota de carregamento via simulação estudo de caso mina Ferro+ Mineração*. Recuperado de <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1999>.

Shi, J., & AbouRizk, S. M. (1997). Resource-based modeling for construction simulation. *Journal of construction engineering and management*, 123(1), 26-33.

Zimmermann, E., & Kruse, W. (2006, September). Mobile crushing and conveying in quarries-a chance for better and cheaper production!. In *RWTH Aachen-Institut für Bergbaukunde III, 8th International Symposium Continuous Surface Mining*. 481-487. Recuperado de < <https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2015/12/mobile-crushing.pdf> >.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Carlos Zanoni Alves Silva 60%

Camila Nascimento Alves 25%

Kempes Francisco Pereira Magalhães 15%