



A UTILIZAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO E TRANSPORTE DE MINÉRIO

Ana Paula Oliveira dos Santos, Universidade de Uberaba, ana_pos@outlook.com
Fabricio Pelizer Almeida, Universidade de Uberaba, fabricio.pelizer@gmail.com
Graziela Cristina Benedito, Universidade de Uberaba, grazyengineer@gmail.com
Isabel Santana Borges Ferreira, Universidade de Uberaba, isabelengenharia@gmail.com
William Borges Dias, Universidade de Uberaba, bwill.gt@mail.com

A extração mineral é uma atividade humana essencial e responsável pela geração de lucros e criação de empregos. Nas etapas iniciais do processo de lavra é comum o uso de caminhões para a realização do transporte do minério de interesse da frente de lavra até um ponto de descarga no qual o minério é, geralmente, levado mecanicamente para uma pilha de homogeneização. A gestão logística do minério da frente de lavra até o ponto de descarga não é uma tarefa trivial e pode impactar toda a estrutura da indústria mineradora caso imprevistos ou instabilidades ocorram. Muito difundido em outras áreas de gestão e em especial a gestão da qualidade, o Controle Estatístico do Processo (CEP) é utilizado como ferramenta de monitoramento para solucionar problemas que envolvam a estabilidade do processo e melhorar sua performance. A finalidade deste trabalho foi verificar, com uso do Controle Estatístico do Processo (CEP), a possibilidade de se acompanhar a estabilidade do processo utilizando unicamente os dados de tonelage de minério descarregado gerados na etapa de transporte em um processo de desmonte, carregamento e transporte de minério em uma mina a céu aberto. Nesse sentido, o presente trabalho evidenciou a viabilidade do acompanhamento da estabilidade de um processo complexo de extração e transporte de minério com uso de um único dado de tonelage.

Palavras-chave: extração mineral, lavra, transporte, CEP, estabilidade do processo.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de extração mineral tem, por objetivo, a geração de lucro com a venda de um bem comercial obtido a partir da lavra de um minério de interesse. Sendo que a lavra é o conjunto de operações desde a extração do minério até o seu beneficiamento (COSTA, 1979).

A lavra a céu aberto é, em muitos casos, mais vantajosa que a extração subterrânea, principalmente no que se refere aos custos operacionais envolvidos e à segurança da operação (KOPPE, 2007). Porém, a gestão da operação do carregamento e transporte mineral se mostra complexa em ambas as atividades.

Em uma mina à céu aberto é comum o uso de caminhões para a realização do transporte do minério de interesse. Esses caminhões completam um ciclo de transporte quando se deslocam do ponto de descarga ao ponto de carregamento e, novamente, retornam ao ponto de descarga. O ponto de carregamento se localiza, geralmente, dentro da própria mina e o carregamento do caminhão é realizado com uso de retroescavadeiras e/ou outras máquinas de maiores proporções. O ponto de descarga recebe a carga transportada após a realização do basculamento do minério contido no caminhão e, por sua vez, leva o minério por correias transportadoras até uma pilha de homogeneização.

A principal dificuldade na gestão logística de uma operação de carregamento e transporte de minério é a falta de um padrão no ciclo do equipamento. Em uma visão mais ampla de gestão, é necessário que se faça considerações referente ao ciclo total da operação, bem como no ciclo individual para cada equipamento. A falta deste padrão gera variações indesejadas e por consequência



a mobilização de equipamentos ociosos, desta forma, gerando custos extras de produção. Por vezes, ao avaliar o gasto por ociosidade, o gestor desmobiliza o equipamento que por conseguinte inviabiliza o atingimento da meta de produção no ponto de descarga.

A gestão da operação do carregamento e transporte deve levar em conta o volume de produção da indústria - que se traduz na meta de produção no ponto de descarga -, as condições operacionais da mina, as condições laborativa dos trabalhadores e entre outros fatores. Ademais, a busca pela obtenção de maiores fatias de mercado para clientes cada vez mais exigentes - em um contexto global - vem motivando às empresas a serem protagonistas no que se refere ao aumento da produtividade aliada à redução dos custos de produção. Face ao exposto, as empresas estão sendo impelidas a investirem cada vez mais em novas tecnologias para realização de suas atividades bem como em eficientes ferramentas e métodos de gestão para uma melhor tomada de decisão.

O principal objetivo dos gestores na implantação de uma ferramenta de gestão com o consequente estabelecimento de um método de trabalho é a obtenção de uma forte padronização e, desta forma, a possibilidade de se otimizar a operação e os recursos envolvidos, tornando os resultados desta operação mais estáveis e previsíveis (CARPINETTI, 2016).

Face ao exposto, muito se tem utilizado o Controle Estatístico do Processo (CEP) como uma ferramenta para a manutenção da estabilidade do processo. Desta forma, a ferramenta de gestão busca garantir uma melhora efetiva e contínua da qualidade e contribuir para o aumento da produtividade e a redução dos custos (MONTGOMERY, 2008).

Com vistas a avaliar a possibilidade da implantação do Controle Estatístico do Processo (CEP) como ferramenta de gestão para a operação de transporte de minério com uso de caminhões em uma mina a céu aberto, o presente trabalho buscou avaliar através do uso de cartas de controles individuais e de amplitudes móveis a estabilidade do processo de uma mineradora de grande porte da região do Alto Paranaíba.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. GESTÃO DA QUALIDADE E CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

A evolução dos sistemas empresariais possibilitou aos gestores superar vários desafios organizacionais nos últimos séculos, adaptando os resultados das empresas às necessidades dos clientes.

Montgomery (2008) considera que se um produto satisfaz às exigências do cliente, ele dever estar sendo produzido por uma metodologia padronizada que apresenta pouca variabilidade em torno das especificações estabelecidas para a qualidade do processo.

A concorrência e a competitividade entre as organizações exigem a melhoria continua nos processos evidenciando uma melhora na qualidade dos produtos e serviços. Nesse contexto a aplicação do Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma alternativa eficiente que possibilita entender o processo, analisa-lo, definir ações de melhoria para mantê-lo sem variações além de identificar a capacidade do mesmo.

Para solucionar problemas que envolvem a estabilidade de um processo e melhorar sua performance aumentando sua capacidade, é preciso diminuir a sua instabilidade e isso só é possível com uso de ferramentas específicas de monitoramento e, neste caso, o CEP é considerado a melhor técnica em gestão da qualidade disponível para satisfazer essa necessidade (BONILLA,1995).

Um processo deve acontecer de forma previsível e com variabilidade controlada, apresentando certa estabilidade e, com isso, estará sob controle produzindo produtos que atendam às necessidades exigidas. O uso do CEP favorece ao atendimento destas premissas e fornece parâmetros de avaliações



da estabilidade do processo e sua capacidade de gerar produtos que atendam às especificações do cliente.

Simplificadamente, o CEP atribui a realização do controle da qualidade simultaneamente ao controle do processo, em vez da conferência após a produção, em que se separam os produtos de qualidade daqueles defeituosos. Sua perspectiva consiste em evitar defeitos ou erros. Certamente, é mais fácil e econômico fazer certo na primeira vez, do que depender de seleção e retrabalho de produtos fora dos padrões de especificação.

2.2. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)

É um conjunto de ferramentas que emprega métodos estatísticos para averiguar o desempenho do processo produtivo para efetivar ações corretivas de melhoria, possibilitando mantê-los dentro de padrões preestabelecidos. O Controle Estatístico do Processo compreende a coleta, pesquisa e compreensão de dados com a finalidade de solucionar um problema específico (PARANTHAMAN, 1990).

O CEP possibilita acompanhar, avaliar, prever, monitorar e aperfeiçoar a variabilidade de certa característica de qualidade de um produto e visa melhorar a qualidade, a produtividade e a credibilidade do que está sendo produzido (SANCHO et al., 2013).

O CEP tem por objetivo melhorar a capacidade dos processos, diminuindo desperdícios, retrabalho e conseqüentemente o custo da má qualidade. Assim, ele possibilita às organizações a estrutura para aprimorar a qualidade de produtos e serviços ao mesmo tempo em que reduz consideravelmente o custo da falta de qualidade, além de melhorar a produtividade e a credibilidade do que está sendo fabricado ou fornecido.

Uma razão para se utilizar o CEP está relacionado ao método de amostragem, que possibilita analisar partes do processo e detectar problemas de qualidade capazes de impactar todos os produtos, sem que se faça a verificação de todas as unidades. Além disso, a aplicação do CEP no controle da qualidade promove uma queda nos custos, proveniente da diminuição no percentual de itens produzidos com falhas considerando as melhorias que podem ser realizadas ao longo da produção (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Para Werkema (2006) controle de qualidade de um processo abrange a execução das seguintes etapas: i) determinação de um padrão a ser alcançado para o produto através da padronização do processo; ii) inspeção para medir o que foi produzido e comparar com o padrão; iii) investigação das não conformidades e detalhamento dos desvios entre o que foi produzido e o padrão; iv) verificação das causas de não conformidades; v) eliminação corretiva para exclusão das causas e; vi) revisão, se necessário, dos padrões do produto e/ou do processo.

As principais vantagens de utilização do CEP nos processos produtivos de uma empresa são: i) estabelecer o tipo de ação requerida (local ou no sistema) e posteriormente determinar a atribuição pela sua adoção (local ou no sistema); ii) diminuir a variabilidade das características críticas dos itens para se obter maior regularidade e confiança das unidades fabricadas; iii) possibilitar a definição da real possibilidade de atender às especificações do produto ou exigências dos consumidores, em condições normais de operação; iv) implementar soluções técnicas e administrativas que possibilitem a melhoria na qualidade e melhora da produtividade e; v) permitir o combate às causas dos problemas ao invés de seus efeitos a fim de elimina-los permanentemente do processo de trabalho.

Por óbvio qualquer processo produtivo apresenta alguma variabilidade. As variações existem em função da diversidade ou instabilidade entre operadores, lotes de matéria prima, máquinas, aparelhos de medição e entre outros. Contudo as causas de variação podem ser divididas em dois grupos: causas comuns e especiais.

As causas comuns ocorrem devido variações que atuam aleatoriamente no processo, ocasionando uma instabilidade própria do sistema. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo, sendo resultante do efeito acumulado de pequenas fontes de variabilidade que ocorrem cotidianamente mesmo quando o processo está operando sob condições normais de atuação. Por apresentar a mesma variabilidade no decorrer do tempo, o processo que possui somente causas comuns é considerado estável ou sob controle.

As causas especiais não são pequenas e não possuem um padrão aleatório (erros de set up, problemas nas máquinas ou aparelhos e lotes de matéria primas muito diferentes são alguns exemplos). São consideradas falhas operacionais e fazem com que o processo saia de seu padrão natural de execução. Elas restringem consideravelmente a performance do processo e devem ser reconhecidas e eliminadas, pois sua correção ocasiona ganhos financeiros no processo.

2.3. GRÁFICOS DE CONTROLE

Para Samohyl (2009) os gráficos de controle são componentes visuais para o controle de atributos dos produtos e processos. Esses gráficos possuem linhas estatísticas designadas de limites de controle: limite superior, uma média e o limite inferior. O objetivo desses gráficos é averiguar se o processo está sob controle, ou seja, sem apresentar causas especiais. Entretanto, se uma causa especial for identificada devesse realizar a correção imediata ou atuação com outras variáveis.

Considerando os limites de controles, eles são determinados de forma que se o processo está sob controle, todos os pontos da amostra estarão entre eles. Se os pontos estiverem entre os limites de controle, o processo é considerado sob controle e não apresenta necessidade de atuação. Entretanto se um ponto está fora dos limites de controle entendesse que o processo está fora de controle, e averiguações e ações corretivas são indispensáveis para extinguir a causa ou causas responsáveis por esse comportamento (MONTGOMERY, 2008).

É imprescindível a análise dos gráficos para que se possam criar estratégias de melhorias dos processos analisados, possibilitando o aperfeiçoamento do desempenho fabril e da confiabilidade de seus produtos e serviços.

3. METODOLOGIA

Para atender aos propósitos do presente trabalho, foram realizadas as seguintes etapas: i) elaboração de fluxograma do processo necessário para a realização do carregamento e transporte do minério ii) obtenção dos dados numéricos referente a nove pilhas de descarga de minério, numeradas de 89 à 97 e; iii) tratamentos dos dados através da elaboração das cartas de controle estatísticos.

Os dados obtidos referente a operação de transporte da mina representa a quantidade em toneladas por hora descarregada no ponto de descarga. Logo, esse número não representa a quantidade de um único descarregamento, mas sim a taxa de descarregamento em relação a unidade tempo de uma hora. Os dados referentes aos descarregamentos das nove pilhas de minério, numeradas de 89 à 97, são o resultado da exploração do mês de novembro de 2019.

Para melhor compreensão dos números obtidos e para um melhor entendimento dos resultados, foram realizadas entrevistas com os colaboradores da empresa em estudo, buscando o entendimento da dinâmica do processo, bem como, do contexto do ambiente de trabalho.

Destaca-se que a empresa mineradora não determinou limites superiores e inferiores de especificação de quantidade de minério a ser descarregado, mas somente determinou a meta de entrega de minério em 2005 ton/h.

Em relação à pesquisa, o método utilizado foi o de estudo de caso, definido por Yin (2010) como um método de caráter empírico, no qual analisa um fenômeno atual em seu contexto real, normalmente considerando que o limite entre o fenômeno e o contexto não são definidos claramente.

O presente trabalho utilizou-se do *software* estatístico Minitab® em sua versão 18.1 para geração das cartas de controle individuais e de amplitude móvel, em que, na elaboração das cartas de valores individuais, a linha central, \bar{X} , representa a média dos valores plotados conforme formulação matemática apresentada pela equação. 1 e os limites superiores e inferiores de controle, LSC e LIC, representam a variação da média de acordo o desvio padrão, σ , multiplicado pelo parâmetro k de valor igual a 3 por padrão, equações 2 e 3 abaixo.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$LSC = \bar{X} + k\sigma \quad (2)$$

$$LIC = \bar{X} - k\sigma \quad (3)$$

Em relação à carta de amplitude móvel, a linha central, \overline{AM} , é calculada pela exp. 4 em que N é o número de observações e W é o comprimento da amplitude móvel de valor 2 por padrão e, ainda, tendo AM_i obtida pela equação. 5 apresentada abaixo.

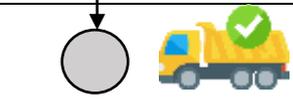
$$\overline{AM} = \frac{\sum_{i=W}^N AM_i}{N - W + 1} \quad (4)$$

$$AM_i = \max(x_i) - \min(x_i) \quad (5)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 01 apresenta as características importantes bem como valores estabelecidos para cada operação e ainda o fluxograma simplificado contendo a forma de operacionalização da extração e transporte mineral.

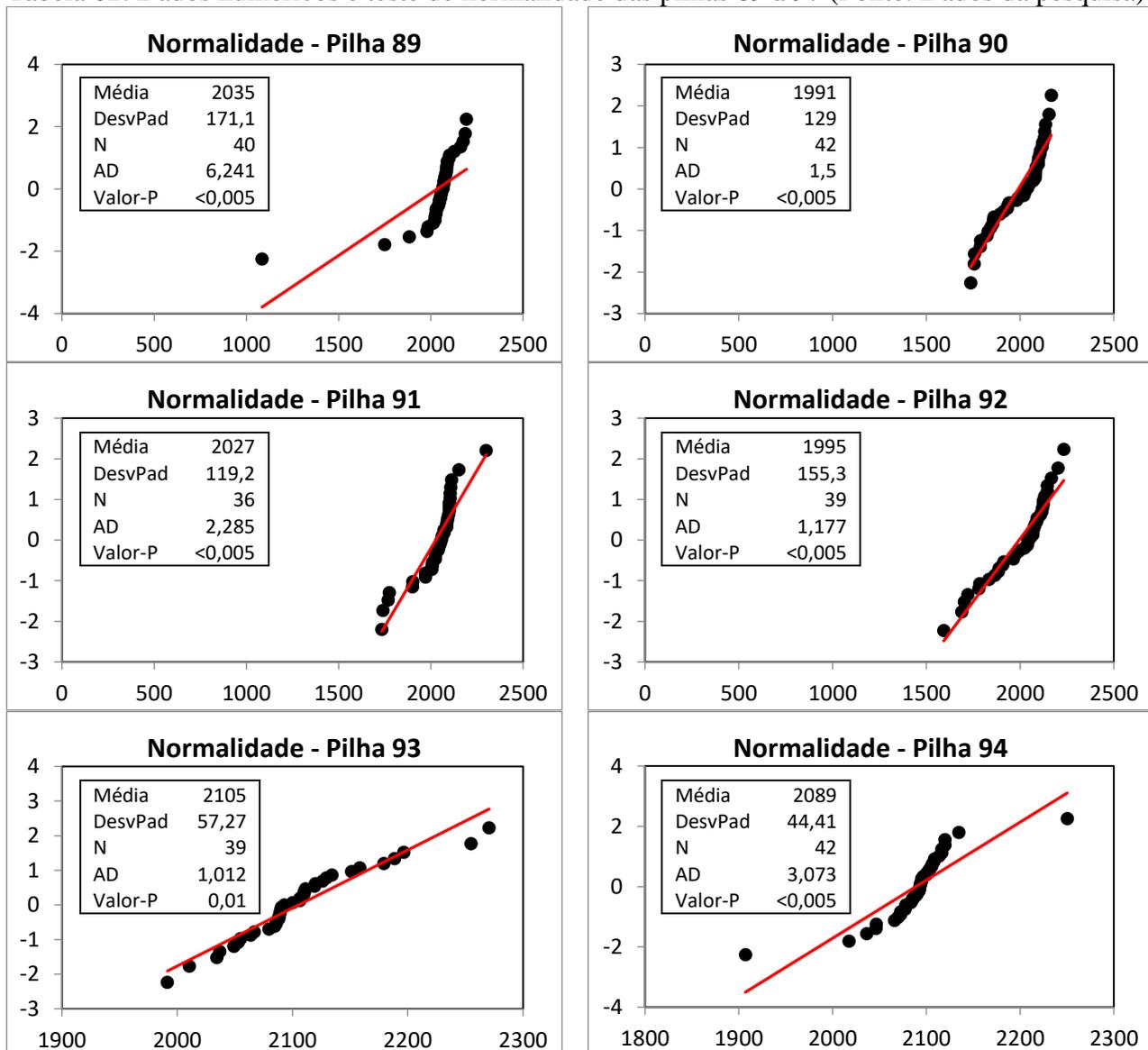
Tabela 01: Características de operação da extração e transporte mineral (Fonte: Dados da pesquisa).

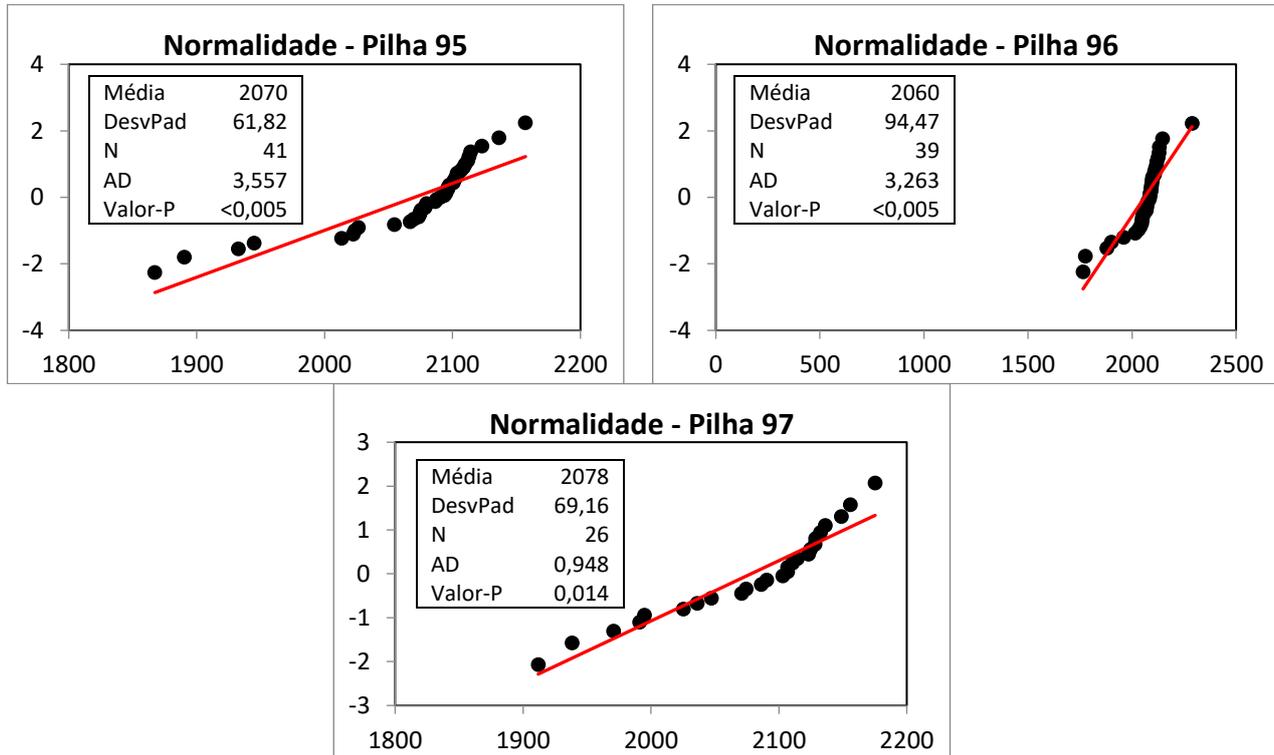
Fluxograma	Operação	Característica da Qualidade	Valor Estabelecido
	Desmonte	Material Desmontado	1000 ton/h
	Carregamento	Carga Padrão	41 ton/carga
	Transporte	Transporte de Material	Tempo de Ciclo

Conforme apresentado no fluxograma, um trator de esteira faz o desmonte da pilha de minério a uma taxa estabelecida em 1000 ton/h. O material desmontado é carregado em caminhões para transporte com uso de uma escavadeira a uma taxa de carregamento de 41 ton/carga. Os caminhões carregados são então direcionados para o ponto de descarga. O ciclo de transporte individual se completa quando o caminhão retorna ao ponto de carregamento, após a realização da operação de descarga de minério.

A Tabela 02 evidencia os dados numéricos obtidos referente a extração das nove pilhas de minérios já apresentado o teste de normalidade para as mesmas.

Tabela 02: Dados numéricos e teste de normalidade das pilhas 89 à 97 (Fonte: Dados da pesquisa).





Pelo teste de normalidade conclui-se que, à exceção dos dados referente as pilhas e 93 e 97, os dados obtidos não seguem uma distribuição normal e foram descartados para efeito de avaliação por este trabalho. Pode-se concluir ainda que os dados são compostos, em média, de 38 observações e que o desvio padrão médio é de 100,2 ton/h, sendo 171,1 e 44,41 ton/h respectivamente o maior e menor valor observado do conjunto dos desvios padrões das pilhas.

Conforme visto acima, apenas as pilhas 93 e 97 tiveram o resultado de normalidade confirmadas para um nível de significância de 5%, sendo, desta forma, as únicas duas pilhas tomadas para análise por este estudo.

A carta de valores individuais e de amplitude móvel para a pilha 93, Fig. (1) e (2) respectivamente, estão demonstradas abaixo, em que é possível afirmar que, sabendo que os dados seguem distribuição normal com nível significância de 5%, a estabilidade do processo não pode ser garantida visto que dois pontos, (11 e 39), estão fora do limite superior de controle na carta individual, Fig (1), o que corresponde a valor superior de 5,13% dos dados observados (sendo o valor de aceitabilidade para estabilidade de 0,7%). Em relação à carta de amplitude móvel, Fig (2), dois pontos (11 e 39), correspondentes à 5,26% dos dados observados, estão fora de controle visto que ultrapassam o limite superior de controle de amplitude, sendo que esta variação pode, inclusive, afetar os limites de controle na carta individual (em que o valor de aceitabilidade para estabilidade é de 0,9%). É importante frisar que o número de observações é de apenas 39 dados sendo que o recomendado seria de, no mínimo, 100 dados para uma melhor aplicabilidade das cartas de controle.

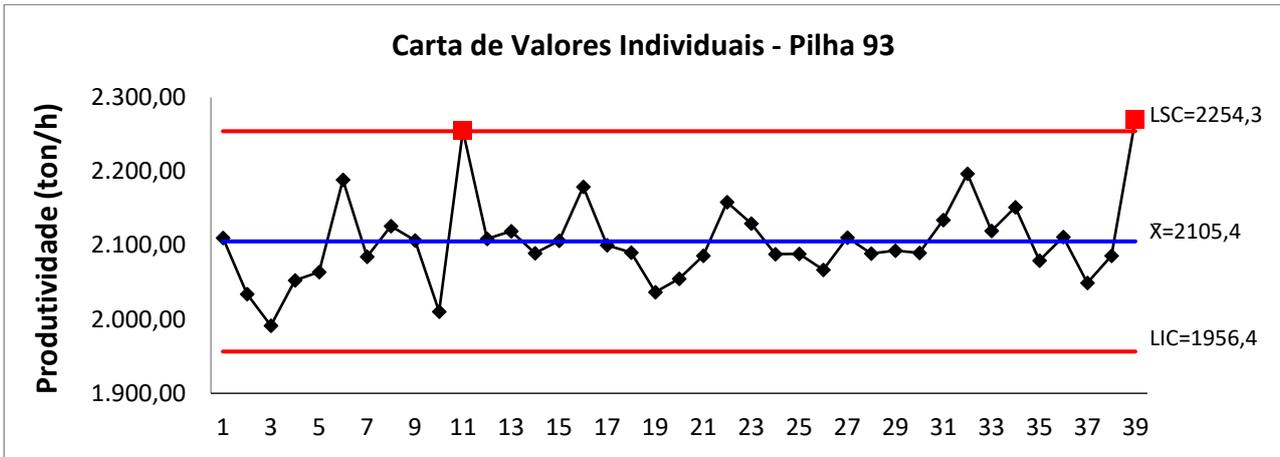


Figura 01: Carta de Controle de Valores Individuais da Pilha 93 (Fonte: Dados da pesquisa).

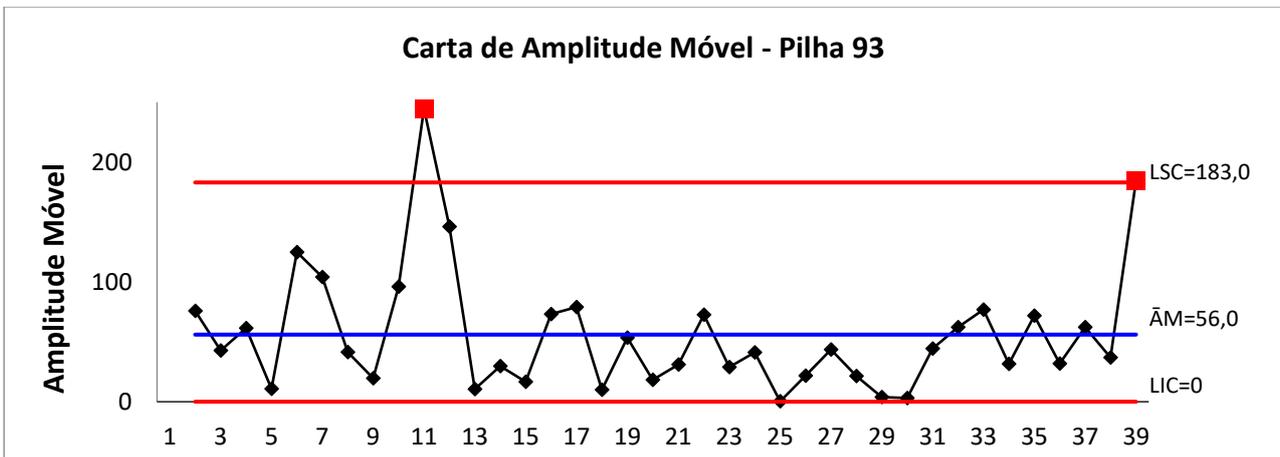


Figura 02: Carta de Controle de Amplitude Móvel da Pilha 93 (Fonte: Dados da pesquisa).

A carta de valores individuais e a carta de amplitude móvel para a pilha 97, Fig. (3) e (4) respectivamente, são apresentadas juntamente com os comentários pertinentes abaixo.

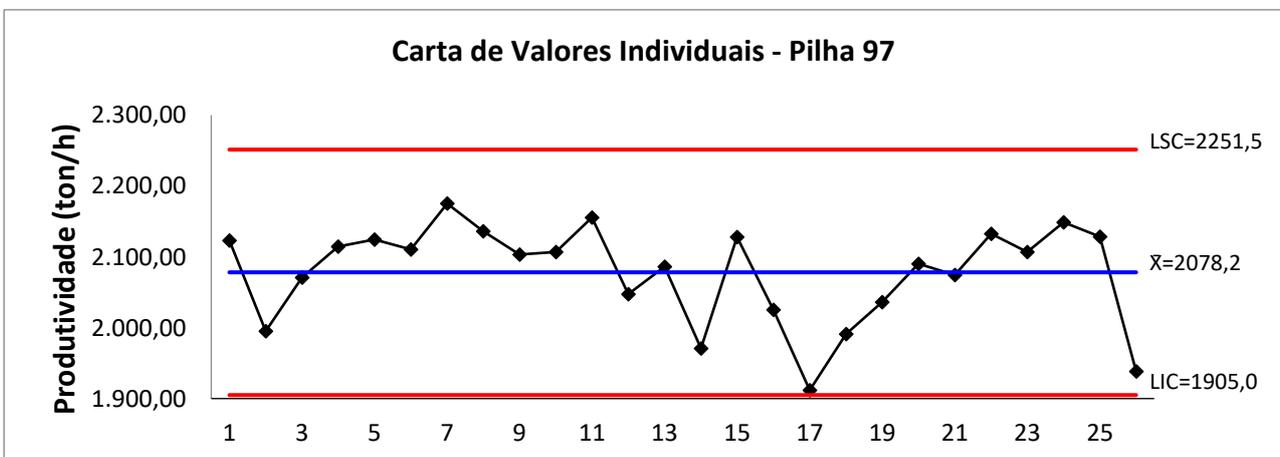


Figura 03: Carta de Controle de Valores Individuais da Pilha 97 (Fonte: Dados da pesquisa).

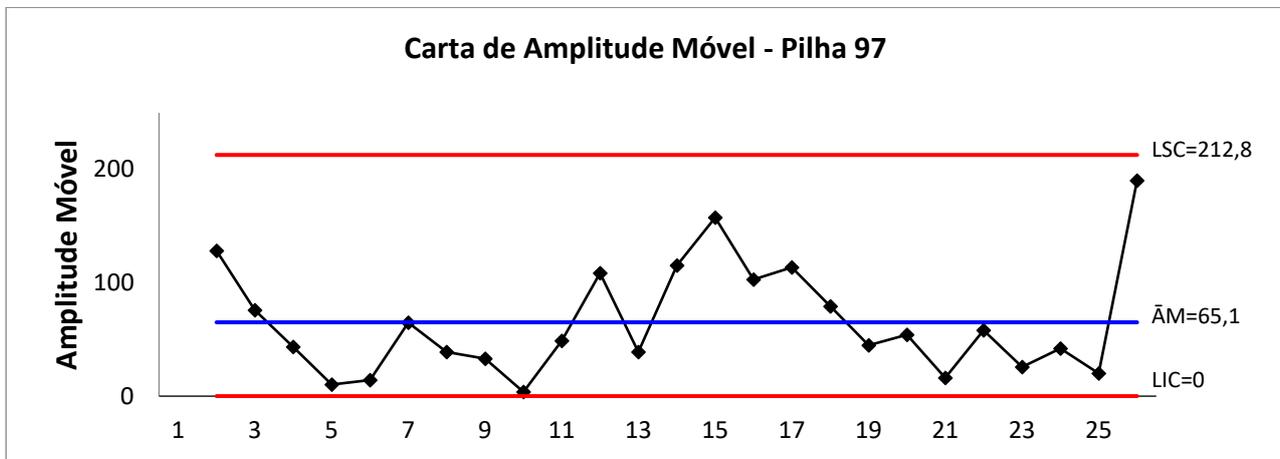


Figura 04: Carta de Controle de Amplitude Móvel da Pilha 97 (Fonte: Dados da pesquisa).

Para as Figuras 03 e 04 é possível afirmar que, sabendo que os dados seguem distribuição normal com nível significância de 5%, a variação e a média do processo estão estáveis e não é observado nenhum ponto fora de controle em ambas as cartas para os dados tratados da pilha 97. Porém o número de observações também é pequeno (de apenas 26) em relação ao recomendado de 100 observações para uso adequado da carta de controle.

Em relação à capacidade do processo, não foram avaliados os valores para C_p e C_{pk} visto que a mineradora não determinou limites superiores e inferiores de especificação, mas tão somente determinou o valor alvo de 2005 ton/h. Desta forma, mesmo considerando o valor alvo como sendo o limite inferior de especificação, qualquer generalização por parte dos autores não refletiriam a real necessidade da mineradora.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou a viabilidade e os benefícios da implantação do Controle Estatístico do Processo (CEP) para a operação de transporte de minério extraído em uma mina a céu aberto.

Para o caso estudado, verificou-se que duas das nove pilhas de minério extraídas apresentaram dados que seguiam a distribuição normal e utilizou-se estes dados para a criação das cartas de controle a fim de avaliar a estabilidade do processo.

Pôde-se observar que existiam variações de prováveis causas especiais tanto de caráter de extrapolação dos limites das cartas de controle quanto por tendências globais ou cíclicas. Como também pode ser observado a estabilidade do processo em relação a uma das pilhas.

Apesar da impossibilidade da avaliação da capacidade do processo, devido ao fato de o cliente não ter determinado os limites superiores e inferiores de especificação, a metodologia apresentada neste trabalho pode auxiliar a equipe de gestão quanto a estabilidade do processo de desmonte, carregamento e transporte do minério com um único dado de recepção de minério do ponto de descarga.

Recomenda-se um estudo mais aprofundado, por parte da mineradora, para identificação e listagem das causas especiais para fins de evitar as ocorrências destas. Recomenda-se ainda a implantação de limites superiores e inferiores de especificação por parte da mineradora de forma a tornar possível o acompanhamento da capacidade do processo e o norteamento de tomadas de ações de melhoria com uso da ferramenta.



6. REFERÊNCIAS

- BONILLA, J. A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. 2. ed. Contagem: Littera Maciel, 1995.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- COSTA, A. F. B; EPPRECHT, E. K; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- COSTA, R. R. **Projeto de Mineração**. 1ª edição. Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto, 1979.
- GALUCHI, L. **Modelo para implementação das ferramentas básica do controle estatístico do processo - CEP - em pequenas empresas manufatureiras**. Florianópolis, UFSC, 2002. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção).
- KOPPE, J. **A lavra e a indústria mineral no Brasil: Estado da arte e tendências tecnológicas**. In: Fernandes, F.; Castilhos, Z.; Luz, A. B.; Matos, G.(eds.), *Tendências - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral - Tecnologia Mineral, CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro 2007*.
- MONTGOMERY, D. **Introduction to statistical quality control**. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2008.
- PARANTHAMAN, D. **Controle de qualidade**. São Paulo: McGraw- Hill Ltda, 1990.
- SANCHO, J. et al. **Evaluation of harmonic variability in electrical power systems through statistical control of quality and functional data analysis**. *Procedia Engineering*, v. 63, p. 295-302, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813014379>>. Acesso em: 22 dez. 2020
- SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico da qualidade**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2006.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.