

Análise da capacidade produtiva de um processo de manutenção por meio da simulação de eventos discretos

Jussara Nepomuceno Lima (IETEC – Instituto de Educação Tecnológica) juneplima@hotmail.com

Rafael Pinheiro Amantéa (IETEC – Instituto de Educação Tecnológica) rafaelamantea@yahoo.com.br

Resumo:

Atualmente, as empresas estão inseridas em um cenário que aumenta a cada dia o nível da concorrência. As mudanças tornaram-se ainda mais frequentes e com maior amplitude. Neste cenário, o setor de mineração, especificamente de minério de ferro, tem passado por transformações advindas das mudanças no mercado. Desta forma, os desafios de aumento de produtividade e redução de custos são desdobrados dentro da empresa para as diversas áreas. Neste contexto identifica-se a oportunidade e a necessidade de aprofundar os estudos em uma área responsável pela reforma dos componentes de equipamentos de Mina em uma empresa de mineração, pois existe um problema de restrição quanto à capacidade produtiva da oficina para atender toda a demanda. Este trabalho tem como objetivo geral modelar o processo de reforma de componentes de equipamentos de mina utilizando a técnica de simulação por eventos discretos. Realizou-se a coleta dos dados e tratamento estatístico das variáveis identificadas no modelo. Três cenários distintos foram analisados buscando mais eficiência do processo. Constatou-se por meio deste estudo, a existência de um desbalanceamento da carga de trabalho entre as células de trabalho do processo de reforma dos Comandos Finais. Tal diagnóstico afeta diretamente o resultado de produção, deixando de atender à demanda do cliente. Constatou-se também a existência de excesso de estoque parado no processo. Conclui-se que a técnica de simulação contribui muito para a análise de processos reais, permitindo identificar ineficiências e testar possíveis soluções antes mesmo de realizar qualquer alteração no cenário real dentro da empresa.

Palavras chave: Simulação por Eventos Discretos, Manutenção, Software Arena.

Capacity planning analysis of a maintenance process through the discrete event based simulation

Abstract

The mining sector has undergone changes due to changes in the national market. In this way, the challenges of increasing productivity and reducing costs are deployed in a firm of the mining sector. In this context, we identify an opportunity and a need to develop the studies in an maintenance area in a mining company. More explicitly, there is a problem of restriction regarding the productive capacity to fulfill all the demand. This work has as general purpose, modeling the process of reforming components of mine equipment by the discrete event simulation technique. Data collection and statistical treatment of variables were performed. Three different scenarios were analyzed seeking more efficiency of the process. It was confirmed through the study, an existence of an asymmetry of the work load between the work cells of the process of the maintenance process. It is concluded that the simulation technique contributes to an analysis of real processes, allowing to identify inefficiencies and recommend solutions.

Key-words: Discrete Event Based Simulation, Maintenance, Arena Software

1. Introdução

Mesmo as organizações de sucesso, com planejamentos estruturados e fundamentados, têm passado por necessidades de revisões permanentes, como forma de manterem-se competitivas. Processos consagrados de planejamentos estratégicos têm passado por mudanças profundas, baseando-se cada vez menos em análises e fundamentos do passado, e cada vez mais em alternativas sobre o futuro, ou mesmo prospectando um futuro desejado (RANGEL, 2012).

Em função do atual cenário competitivo, é possível perceber no ambiente de trabalho, o impacto e as constantes exigências por melhores resultados nos processos produtivos e áreas de apoio, onde a equipe é direcionada a buscar maior segurança, melhor qualidade, menor tempo de entrega e menor custo. Desta forma, os desafios de aumento de produtividade e redução de custos para se manterem competitivas no mercado são desdobrados dentro da empresa para as diversas áreas, as quais buscam alcançar seus desafios e contribuir para os resultados finais da organização.

Neste contexto identifica-se a oportunidade e a necessidade de aprofundar os estudos em uma área responsável pela reforma dos componentes de equipamentos de Mina, os quais possuem uma vida útil estimada e quando chegam ao fim desta vida são enviados para a reforma nas oficinas internas da própria empresa ou nos fornecedores externos. No entanto, as oficinas internas são estratégicas para a empresa no atual cenário de redução de custos, pois a reforma interna apresenta nível de qualidade compatível com os fornecedores e o custo de reforma é significativamente menor quando feita internamente. Portanto as áreas clientes estão cada vez mais priorizando a reforma dos componentes nas oficinas internas e novas demandas estão surgindo.

Identifica-se então, um problema de restrição quanto à capacidade produtiva da oficina para atender toda a demanda. Sendo assim, existe um desafio na área de aumentar a capacidade produtiva da oficina para absorver novas demandas, sendo necessário estudar de forma mais aprofundada o fluxo do processo buscando o auxílio na identificação de gargalos e contribuição para tomada de decisões no processo.

Em cenários de incerteza, escassez de recursos e consequente necessidade de tomada de decisão assertiva, não se permite ações que tenham como base tentativa e erro ou apenas experiências passadas e rotineiras (OZSAN et al., 2010). A pesquisa Operacional é uma ciência interdisciplinar dedicada ao planejamento ótimo, com fortes ligações com todas as áreas do conhecimento. Suas bases estão na pesquisa e aplicação de estratégias e métodos analíticos, numéricos e estatísticos, com objetivo de aprovar decisões racionais e significativas em problemas de decisão de diversos níveis de complexidade (MURUGESAN, 2011).

A modelagem e simulação de sistemas é uma das técnicas da pesquisa operacional que possui alta aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento. O objetivo das técnicas de simulação de sistemas é quantificar a performance e melhorias de sistemas demonstrando os efeitos da tomada de decisão e da variação de parâmetros sobre o sistema em estudo, permitindo o correto dimensionamento e a otimização do mesmo (ARES et al., 2012).

Técnicas como Dinâmica de Sistemas (GOODMAN, 1997) Simulação por Eventos Discretos (CHWIF; MEDINA, 2015) e Simulação com Base em Agentes (RAILSBACK et al., 2006), possuem baixo nível de exigência em conhecimentos matemáticos e lógica de programação, permitem a modelagem de sistemas reais por metodologias de baixa complexidade, além de possuírem softwares de baixo custo e preparados para a modelagem e simulação em todos os níveis de complexidade. Tais fatores tornam atrativas tais técnicas para a análise e otimização de sistemas nas diversas áreas do conhecimento.

A modelagem e simulação de sistemas por Eventos Discretos é uma técnica que tem como base a teoria de filas, o método de Monte Carlo e possui como característica o baixo nível de abstração em sua modelagem (PRADO, 2014). Usualmente os sistemas simulados são representados por fluxogramas dos processos em estudo, permitindo a fácil visualização e modelagem do processo. Aplicações usuais envolvem o projeto e melhorias de linhas de produção, assim como o planejamento e programação de decisões, permitindo uma melhor performance e estabilidade durante o processo de otimização (STEINEMANN et al., 2013).

Assim, este trabalho visa modelar o processo de reforma de componentes de equipamentos de mina utilizando a técnica de simulação de eventos discretos. De maneira específica, realizar-se-á coleta de dados e tratamento estatístico das variáveis identificadas no processo para posterior simulação e análise de sensibilidade dos parâmetros principais do modelo construído.

2. Metodologia

2.1 O processo de reforma dos Comandos Finais

O sistema em análise pertence ao departamento responsável por realizar a reforma dos componentes dos equipamentos de Mina e Usina em uma empresa de Mineração.

O Comando Final é um dos componentes que pertence aos caminhões fora de estrada. O objetivo do processo de reforma destes Comandos é garantir que o componente, ao chegar ao fim da vida útil, seja reformado e retorne para o caminhão para operar mais um ciclo de vida.

Este processo de reforma reduz a necessidade de descarte e compra de componentes ao fim da vida útil. Contribuindo para a redução de custo das áreas clientes, responsáveis pela manutenção dos equipamentos de Mina e Usina.

Portanto, o processo de reforma dos Comandos Finais deve atender à demanda dos clientes, com qualidade, na quantidade e tempo necessário, garantindo a disponibilidade física dos equipamentos.

O processo de modelagem de simulação por eventos discretos se inicia na representação do processo por meio da elaboração de diagramas ou fluxogramas para descrever as principais etapas e procedimentos do processo. Esta etapa tem como objetivo localizar no sistema em estudo os processos, entidades, recursos e especificidades para uma fiel representação da realidade no ambiente simulado. Neste texto o sistema de estudo (reforma do Comando Final) está representado por meio do fluxograma a seguir.

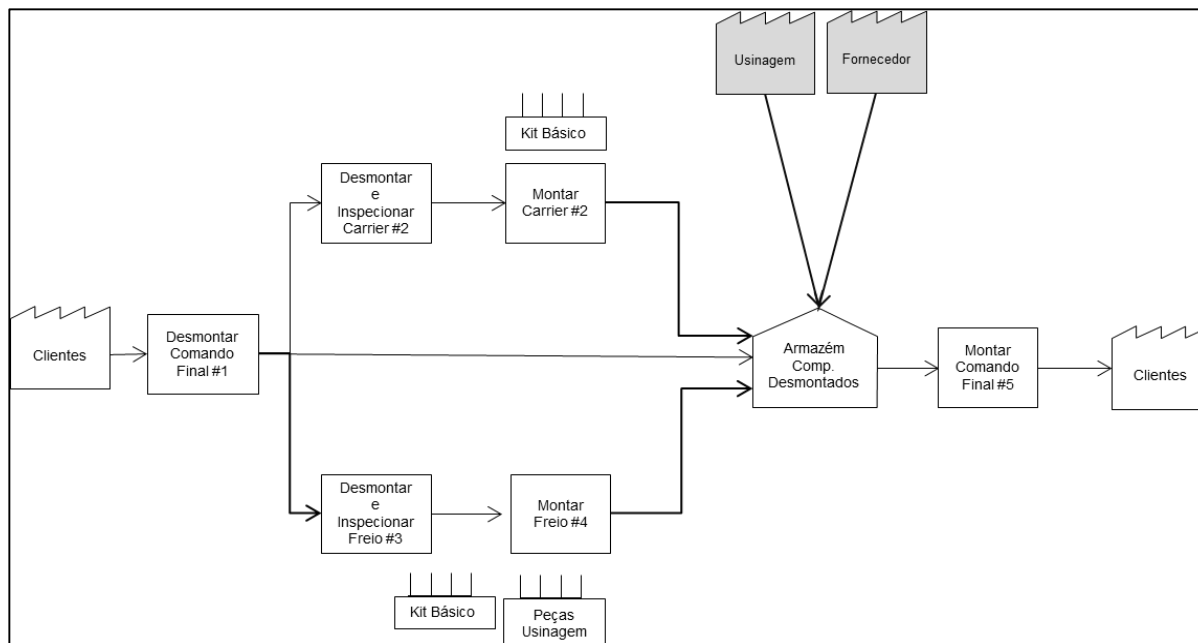


Figura 1. Representação do processo de reforma do comando final

A partir da necessidade de atender a uma demanda do cliente o componente é programado para reforma. A primeira atividade realizada é a desmontagem e inspeção inicial do comando, utilizando o recurso de um empregado e é realizada na célula 01.

Durante a desmontagem na célula 01 o comando é subdividido em seis partes, e duas delas (Carrier e Freio) são direcionados para as células 02 e 03 e as outras quatro são processadas juntas na célula 01. Na célula 02 é realizada a atividade de desmontagem e inspeção do Carrier e posteriormente a montagem do mesmo.

Na célula 03 é realizada a atividade de desmontagem e inspeção do freio que é enviado para a célula 04 para conclusão da atividade de montagem. Cada uma das células dispõe do recurso de um empregado para realização das atividades. O Carrier e Freio após montados e o restante das partes do Comando são enviados para um armazém interno para aguardar suprimento de materiais e peças para dar sequência ao processo.

Após o recebimento de todos os materiais e peças no Armazém, o comando final é programado para a montagem final na célula 05. Esta é a última atividade realizada no processo de reforma do Comando Final.

2.2 Coleta de dados

Para estudo do processo descrito acima utilizando a técnica de simulação por eventos discretos foram coletados os dados dos intervalos entre chegadas das entidades e dos tempos de atendimentos em cada um dos processos. Em seguida, ajustou-se as distribuições estatísticas para as mesmas seguindo os critérios de validação propostos por (CHWIF; MEDINA, 2015). A tabela 1 a seguir lista as distribuições ajustadas para cada processo.

Processo	Equação Distribuição Estatística
Desmontagem Inicial Carrier	TRIA(0, 2.7, 9)
Desmontagem Inicial Anelar	EXPO(1.61)

Desmontagem Inicial Cubo	-0.001 + EXPO(0.95)
Desmontagem Inicial Cesto	UNIF(-0.001, 0.73)
Desmontagem Inicial Freio	-0.001 + EXPO(0.237)
Desmontagem Inicial Eixo	-0.001 + EXPO(0.286)
Desmontagem Carrier	1.03 + LOGN(0.665, 0.528)
Desmontagem Freio	TRIA(1, 2.05, 9)
Inspeção Carrier	UNIF(0.12, 8)
Inspeção Inicial	TRIA(0.999, 10, 11)
Inspeção Freio	NORM(6.5, 1.64)

Tabela 1 –Distribuições estatísticas ajustadas para cada parte do processo de manutenção

3. Resultados

No processo de avaliação e validação dos resultados da simulação foi definido como variável de referência a quantidade de Comandos Finais produzidos ao final do ciclo. Esta variável é muito importante para o processo, pois retrata o quanto a linha é capaz de produzir para atender o cliente.

3.1 Condições de Simulação

Para realizar a simulação do processo foi definido o período de um mês de trabalho. Os resultados obtidos na simulação foram comparados com os resultados de produção real no mesmo período de um mês para validação do modelo.

Para simular um mês foram considerados 22 dias de trabalho. Para cada dia de trabalho foram consideradas 7,5 horas de jornada.

A simulação foi feita inicialmente considerando 10 replicações para verificação e comparação dos resultados com a realidade dos processos. A avaliação dos resultados foi feita por meio do intervalo de confiança, utilizando a quantidade de Comandos produzidos.

O resultado obtido com as 10 replicações foi aceitável, pois representa a quantidade real produzida no processo (média 8,9 comandos) e a variação foi de 0,226 Comandos, menor que 10% da média e também aceitável para o processo.

3.2 Análise dos Recursos

A realização da simulação permite avaliar qual o comportamento de utilização dos recursos existentes no processo. Com base nos dados apresentados no gráfico abaixo (figura 2), é possível afirmar que existe um desbalanceamento da carga de trabalho dentro da equipe. Ou seja, os recursos disponíveis possuem índices de utilização com diferenças significativas. Os Mecânicos de Desmontagem Inicial e Montagem Final são os mais sobrecarregados. Já o Mecânico de Desmontagem do Carrier está com a utilização muito baixa, seguido do Mecânico Montagem e Mecânico de Desmontagem do Freio, respectivamente. Este cenário demonstra que existem oportunidades de melhoria na divisão da carga de trabalho dentro da equipe, o que pode afetar positivamente os resultados de produção no processo.

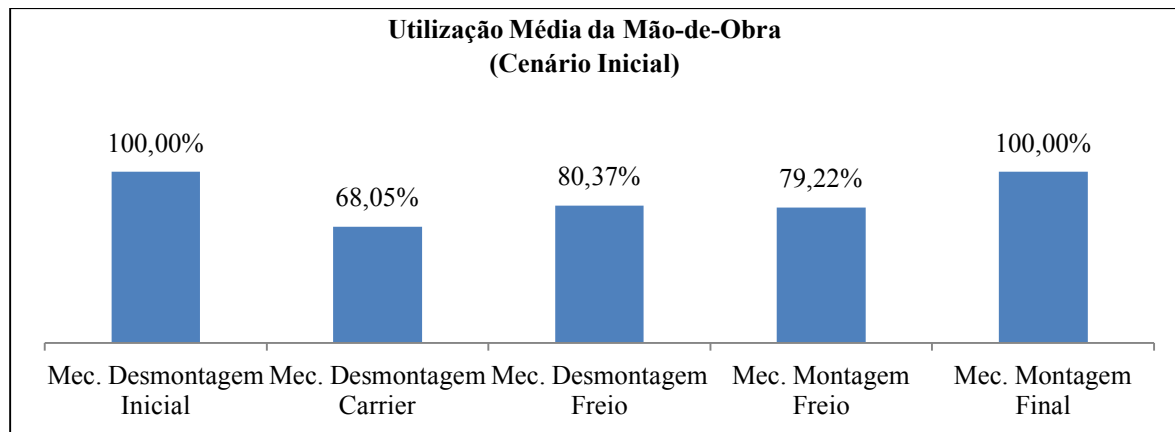


Figura 2 Utilização Média da Mão-de-Obra_Cenário Inicial (%)

3.3 Análise das Filas

Assim como é possível avaliar a utilização dos recursos, a simulação também permite avaliar o comportamento do fluxo do componente ao longo do processo, ou seja, como o componente passa pelas células de trabalho. Neste caso é possível identificar possíveis gargalos através da formação de filas e do tempo de espera nestas filas.

As figuras 3 e 4 a seguir, apresentam as informações sobre as filas e pode-se observar que houve uma redução de 17 para aproximadamente 13 comandos no pulmão em relação a condição inicial da simulação, mas ainda representa uma fila significativa antes da etapa de Montagem Final.

Dentre as demais etapas do processo aparece uma fila de espera de 3,6 comandos, ou 46 horas, antes da Desmontagem Inicial e nas demais etapas a fila é bem pequena. A análise das filas, complementa a análise de desbalanceamento da mão-de-obra, demonstrando que existe uma sobrecarga na célula de Desmontagem Inicial e Montagem Final.

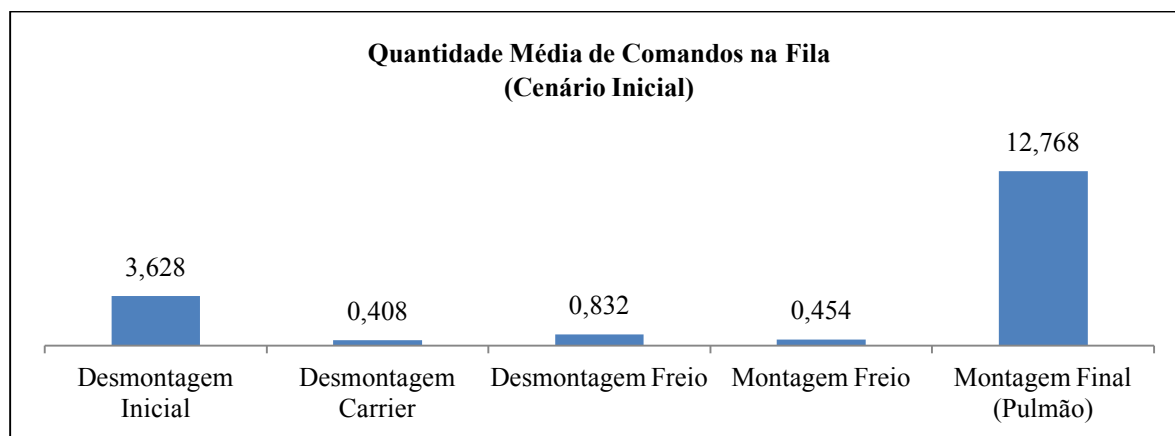


Figura 3 Quantidade Média de Comandos na Fila_Cenário Inicial (unidade)

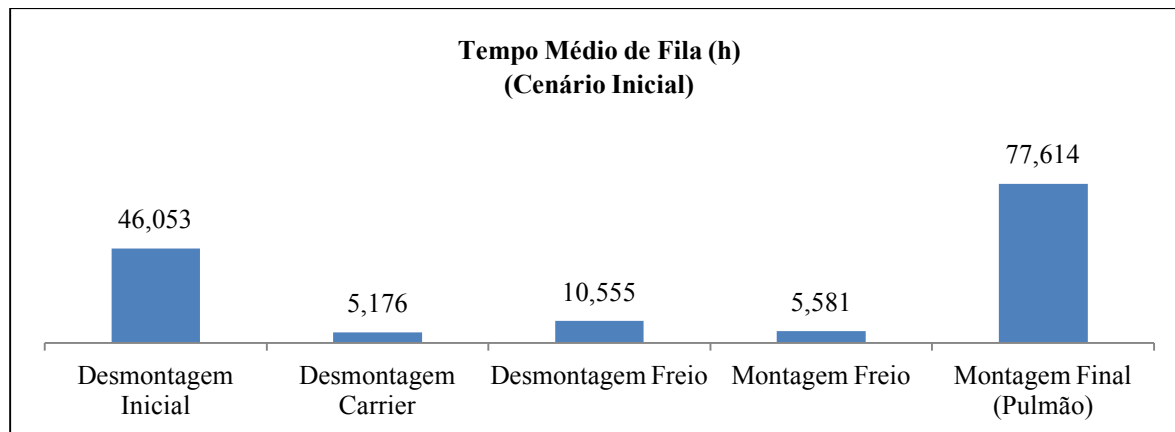


Figura 4 Tempo Médio de Fila_Cenário Inicial (hora)

3.4 Análise da Produção

Outra informação importante obtida com a simulação é a capacidade produtiva de cada célula, pois representa a capacidade de atendimento à demanda dos clientes, ou seja, quantos Comandos Finais o processo é capaz de produzir e entregar ao cliente.

Na figura 5, observa-se também que as células de Desmontagem Inicial e Montagem Final possuem a capacidade produtiva inferior às demais.

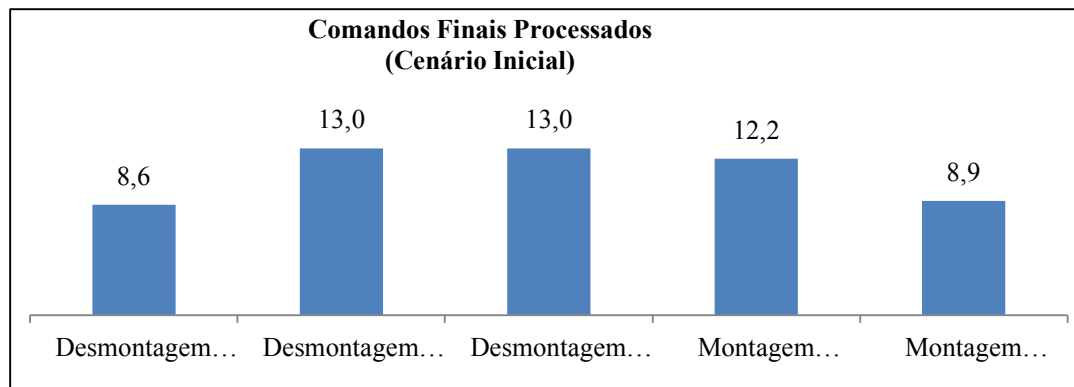


Figura 5 Comandos Finais Processados_Cenário Inicial (unidade)

Este cenário demonstra que o processo não consegue atender a demanda de 13 Comandos, pois o cliente recebe no máximo 9 Comandos por mês, conforme apresentado na tabela 2 a seguir.

Etapa Processo	Mínima	Média	Máxima
Desmontagem Inicial	6,0	8,6	11,0
Desmontagem Carrier	13,0	13,0	13,0
Desmontagem Freio	13,0	13,0	13,0
Montagem Freio	10,0	12,2	13,0
Montagem Final	8,0	8,9	9,0

Tabela 2 Quantidade de Comandos Finais Processados

3.4.1 Análise dos Cenários

Conforme apresentado no item acima, a simulação da situação atual do processo de reforma do Comando Final demonstrou que há uma ineficiência no processo quanto ao atendimento da demanda do cliente e há também um desbalanceamento da carga de trabalho entre as células.

Visando estes dois pontos foram feitas algumas alterações no modelo, como teste, para avaliar a possibilidade de melhoria dos resultados obtidos no Cenário Inicial.

3.4.2 Cenário 1: Realocação Mecânico Desmontagem Carrier

O primeiro teste realizado foi em relação a baixa utilização do Mecânico de Desmontagem do Carrier.

Foi feita uma remodelagem no sistema de forma que, toda vez que o Mecânico de Desmontagem do Carrier estiver ocioso ele passa a ajudar o Mecânico da Desmontagem Inicial a realizar a inspeção inicial das peças.

Com esta alteração foi possível observar que a sobrecarga de trabalho sobre o Mecânico de Desmontagem Inicial reduziu de 100% de utilização para 88,51%, trazendo mais conforto para o executante. Outro ganho obtido foi em relação a capacidade produtiva da célula de Desmontagem Inicial, cuja produção saiu de uma média de 8,6 para 13 Comandos Finais.

Porém a entrega para o cliente depende da quantidade de Comandos Finais entregues na célula de Montagem Final. Apesar de ter subido um pouco a média, de 8,9 para 9,1 Comandos Finais, ainda não foi suficiente para atender a demanda. Sendo assim, outros testes foram feitos no modelo.

3.4.3 Cenário 2: Realocação Mecânico Montagem Freio

O segundo cenário modelado foi com o objetivo de aumentar a capacidade de entrega na célula de Montagem Final. Deste modo foi feita uma remodelagem no sistema de forma que, toda vez que o Mecânico de Montagem do Freio estiver ocioso ele passa a ajudar o Mecânico da Montagem Final.

Com esta alteração foi possível observar que a utilização do Mecânico de Montagem Final permanece 100%, ou seja, ainda continua sobrecarregado. A razão desta sobrecarga é o pulmão de 17 Comandos Finais que existe antes da célula de Montagem Final, fazendo com que o executante tenha 100% de ocupação mesmo recebendo ajuda do Mecânico de Montagem do Freio.

Apesar da utilização do Mecânico de Montagem Final permanecer em 100%, a ajuda do Mecânico de Montagem do Freio refletiu positivamente na entrega dos Comandos Finais na célula, passando de uma média de 8,9 para 12,4 Comandos Finais entregues ao cliente, ficando bem próximo dos 13 necessários.

3.4.4 Cenário 3: Junção do Cenário 1 + Cenário 2

Observa-se que a modelagem proposta no Cenário 01 contribui para redução da sobrecarga do Mecânico de Desmontagem Inicial e aumento da produção na célula de Desmontagem Inicial.

E a modelagem proposta no Cenário 02 contribui com o aumento da entrega de Comandos na célula de Montagem Final. No entanto, foi realizada uma terceira modelagem, associando os Cenários 1 com o 2 para verificar o comportamento dos resultados ilustrados nas figuras 6, 7 e 8.

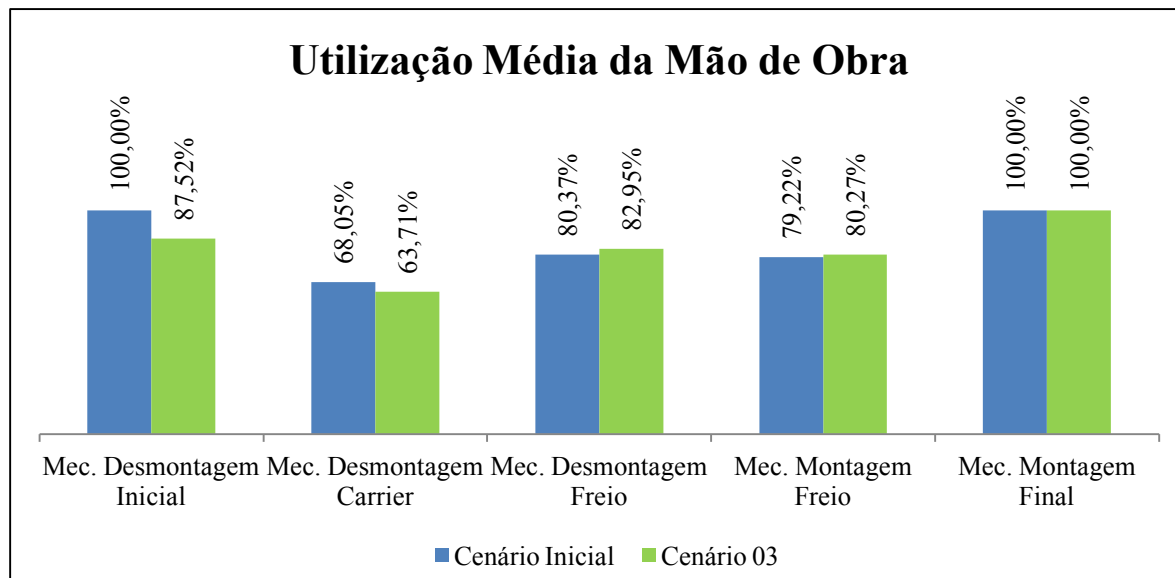


Figura 6 Utilização Média da Mão-de-Obra_Cenário 03 (%)

Este cenário modelado apresenta uma melhor distribuição da utilização da mão-de-obra dentre as células, proporcionando melhor balanceamento da carga de trabalho entre os executantes. Apenas o Mecânico de Montagem Final continua com 100% de utilização devido ao pulmão de Comandos Finais que existe antes desta célula.

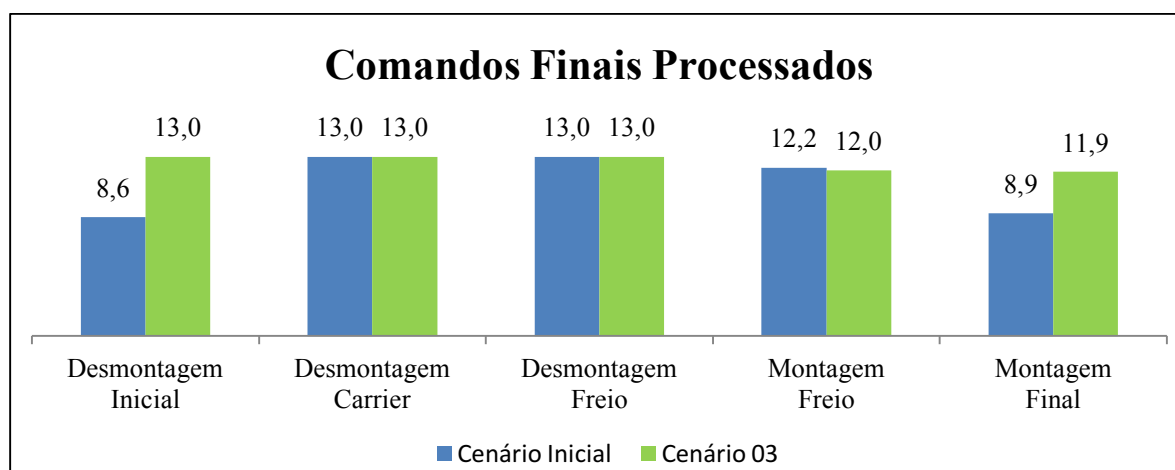


Figura 7 Comandos Finais Processados_Cenário 03 (unidade)

Com relação à quantidade de Comandos Finais entregues em cada célula, observa-se que os resultados obtidos na simulação do cenário 3 são bem melhores e se aproximam muito da real necessidade do cliente. Apesar da média apresentada na célula de Montagem de Freio e Montagem Final ser ainda inferior aos 13 Comandos demandados pelo cliente, na tabela abaixo

é possível verificar que em ambos os casos a quantidade máxima produzida atinge esta demanda.

Etapa Processo	Mínima	Média	Máxima
Desmontagem Inicial	13,0	13,0	13,0
Desmontagem Carrier	13,0	13,0	13,0
Desmontagem Freio	13,0	13,0	13,0
Montagem Freio	11,0	12,0	13,0
Montagem Final	10,0	11,9	15,0

Tabela 3 Quantidade de Comandos Finais Processados_Cenário 03

Outra informação obtida com a simulação do cenário 3 é o comportamento das filas. O tempo de espera na fila reduziu nas células de Desmontagem Inicial e Montagem Final, as quais receberam ajuda das demais células. E apesar de apresentar um aumento no tempo de espera das outras células, este não impactou o resultado da produção destas células.

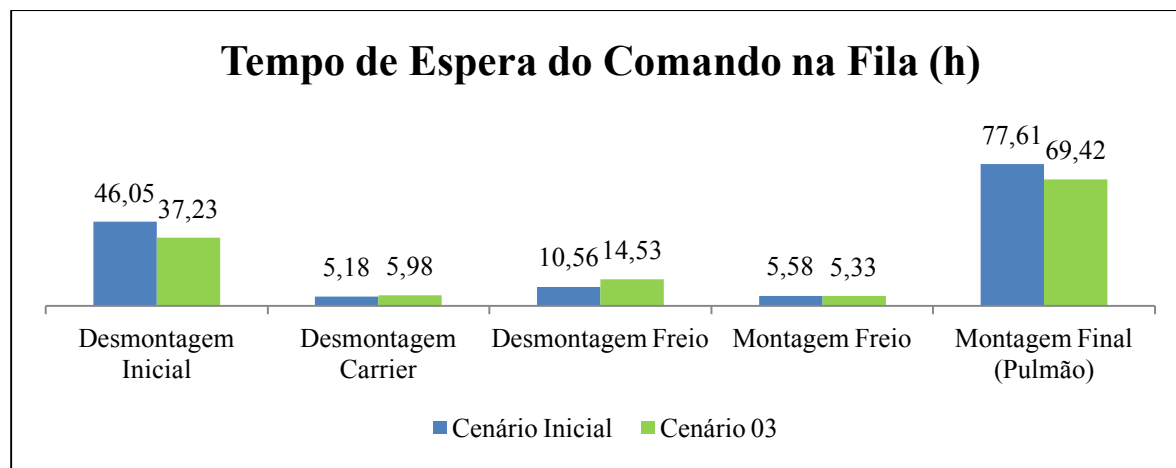


Figura 8 Tempo de Espera do Comando na fila_Cenário 03 (hora)

Desta forma entende-se que a proposta de alteração do processo apresentada no cenário 3 é uma boa estratégia para melhorar os resultados de produção dos Comandos Finais, atendendo à demanda do cliente.

3.4.5 Cenário 4: Cenário 3 com redução do pulmão

Embora o cenário 3 já apresente um resultado aceitável para melhoria dos resultados do processo de reforma dos Comandos Finais, o pulmão existente antes da célula de Montagem Final chama atenção.

No processo real, existe a necessidade de espera por recursos para dar sequência na Montagem Final. Esta espera está representada no modelo pela quantidade de Comandos existentes em estoque, ou seja, no pulmão.

Não é o objetivo deste trabalho estudar os processos de apoio, responsáveis pela reposição dos recursos, porém é interessante entender se este pulmão é realmente necessário para atingir a produção demandada pelo cliente.

Portanto foram feitos testes no modelo, reduzindo-se o pulmão e avaliando o impacto na produção final.

O primeiro resultado é em relação à quantidade de Comandos Finais necessários para alcançar o resultado próximo ao obtido na simulação do processo inicial, ou seja, a capacidade atual do processo. Neste caso, no cenário 3 seriam necessários entre 5 e 6 Comandos para se obter o resultado de produção semelhante ao praticado atualmente. Isto significa que existem 11 Comandos em estoque que poderiam ser reduzidos sem afetar o resultado atual de produção.

A segunda análise feita, foi em relação ao melhor resultado obtido com a proposta simulada no cenário 3. Observa-se que os resultados de produção são idênticos, com o pulmão variando entre 12 e 17 Comandos. Isto demonstra que poderia haver uma redução de 5 Comandos no estoque, sem afetar o resultado alcançado.

Vale ressaltar também, que para alcançar a produção demandada pelo cliente, obtém-se a produção máxima de 13 Comandos a partir de 7 Comandos no pulmão.

A redução da quantidade de peças no pulmão também causou impacto na utilização da mão-de-obra e no tempo de espera do Comando na fila. Desta forma, conclui-se que há uma oportunidade de melhoria nos processos de apoio, resultando na redução de estoque dentro do processo. A redução deste estoque pode refletir na redução da sobrecarga de trabalho desnecessária sobre o Mecânico da Montagem Final, reduz o tempo de fila do Comando para ser montado e pode resultar em outros ganhos que não estão sendo analisados neste modelo, como a redução de custos com estoque parado.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral modelar o processo de Reforma de Componentes de Equipamentos de Mina utilizando a técnica de simulação de eventos discretos.

Desta forma, foi feita a modelagem do processo de reforma dos Comandos Finais, componente que pertence ao caminhão fora de estrada, um dos equipamentos de Mina. Para elaboração do modelo foi feita uma coleta de dados em todas as células do processo, com o objetivo de obter informações reais da reforma dos Comandos. Este modelo foi validado com o cenário real do processo na empresa, utilizando como variável principal para validação, a quantidade de Comandos Finais produzidos durante o período de um mês.

A simulação do cenário real do processo permitiu verificar o comportamento de vários parâmetros do processo, como a produção de cada célula, utilização dos recursos, tempo de espera na fila, dentre outra. Baseado nestes resultados, foi possível identificar possíveis ineficiências e gargalos e sugerir possíveis alterações no processo.

Identificou-se a existência de um desbalanceamento da carga de trabalho entre as células, que pode afetar o resultado de produção final do processo, deixando de atender à demanda do cliente. Através de algumas propostas de simulação concluiu-se que é possível melhorar a distribuição da carga de trabalho entre as células e consequentemente aumentar a produção de Comandos Finais.

Outro aspecto importante, foi à conclusão de que não são necessários 17 Comandos Finais no pulmão para garantir a produção da célula de Montagem Final. Desta forma, mesmo não sendo foco deste modelo, pode-se afirmar que há uma possibilidade de ganho nos processos de apoio que são refletidos pelo pulmão, podendo obter redução de custos com a redução de estoque

parado no processo, redução da sobrecarga desnecessária sobre o Mecânico de Montagem Final e redução da fila antes da célula de Montagem Final.

Referências

- ARES, E.; PELAEZ, G.; FERREIRA, L. P.; PRIETO, D.; CHAO, A.** *Optimisation of a production line using simulation and lean techniques*. 2012 Operational Research Society Simulation Workshop, SW 2012, v. 2012, p. 177–183, 2012.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C.** *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2015.
- GOODMAN, M.** *Study notes in system dynamics*. Journal of the Operational Research Society, vol. 48, p.114–1150, 1997.
- KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; STURROCK David T.** *Simulation With Arena*. 4th ed. New York: McGraw-Hill. 2007. 630p.
- MURUGESAN, P.** *Importance of quantitative techniques in managerial decisions*. AMET Journal of Management, 71, n. June, p. 71–76, 2011.
- OZSAN, O.; SIMSIR, F.; PAMUKCU, C.** *Application of linear programming in production planning at marble processing plants*. Journal of Mining Science, v. 46, n. 1, p. 69–77, 2010.
- PRADO, Darci S.** *Teoria das filas e da simulação*. 2. ed. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 2014. 127p.
- RAILSBACK, S. F.; LYTIMEN, S. L.; JACKSON, S. K.** *Agent-based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations*. Simulation, v. 82, n. 9, p. 609–623, 2006.
- RANGEL, E. P.** *Desenvolvimento de uma análise sistêmica de cenários prospectivos para o setor de pelotas de minério de ferro brasileiro*, 2012. Universidade Federal de Minas Gerais.
- STEINEMANN, A.; TAIBER, J.; FADEL, G.; WEGENER, K.; KUNZ, A.** *Adapting discrete-event simulation tools to support tactical forecasting in the automotive industry*. CoDesign, v. 9, n. 3, p. 159–177, 2013.