



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

APLICAÇÃO INTEGRADA DA OEE COM FERRAMENTAS DA QUALIDADE A
UMA FROTA DE EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS
INDUSTRIAIS

Integrated application of OEE with quality tools to a fleet of industrial waste handling equipment

Larissa do Nascimento Sancheta¹ & Rita de Cassia Feroni^{2*}

^{1,2} [Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.](#)

¹ larissa.sancheta@gmail.com ^{2*} ritaferoni@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido em: 19.11.2021

Aprovado em: 14.12.2021

Disponibilizado em: 14.12.2021

PALAVRAS-CHAVE:

OEE; resíduos industriais; ferramentas da qualidade; TPM.

KEYWORDS:

OEE; industrial waste; quality tools; TPM.

*Autor Correspondente: Feroni, R. de C.

RESUMO

O conceito de Eficiência Global de Equipamentos (OEE) é comumente utilizado em processos industriais para a identificação e mitigação de desperdícios. A aplicação deste indicador na gestão de resíduos sólidos industriais ainda é escassa e merece ser explorada. O presente trabalho teve como objetivo aplicar a OEE para a análise da eficiência de equipamentos de movimentação de resíduos de uma indústria de papel e celulose, além de identificar e analisar as principais perdas que diminuem a eficiência dos equipamentos. A pesquisa foi conduzida junto à dois caminhões, um de biomassa e um de madeira não picada, cujas OEE's foram de 62% e 71%, respectivamente. Após a análise das principais perdas por meio da utilização de ferramentas da qualidade e implementação de ações de melhoria, conseguiu-se aumentar a taxa de ocupação das caçambas em 12%. O trabalho concluiu que a empresa deve expandir a aplicação da OEE para toda a frota de equipamentos a fim de atuar constantemente sobre os desperdícios do processo.

ABSTRACT

The concept of Overall Equipment Effectiveness (OEE) is commonly used in industrial processes to identify and mitigate wastes. The application of this indicator in the management of industrial solid waste is still scarce and deserves to be explored. This paper aims to apply the OEE for the analysis of the efficiency of waste handling equipment in a pulp and paper industry, in addition to identifying and analyzing the main losses that reduce the efficiency of equipment. The research was conducted with two trucks, one of biomass and one of unpicked wood, whose OEE's were 62% and 71%, respectively. After analyzing the main losses through the use of quality tools, and implementing improvement actions, it was possible to increase the bucket occupancy rate by 12%. The work concluded that the company must expand the application of OEE to the entire fleet of equipment in order to constantly act on the waste of the process.



1. INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se o segundo maior produtor de celulose do mundo no ano de 2018, ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América (IBÁ, 2019). Neste mesmo ano, o setor gerou 52,0 milhões de toneladas de resíduos sólidos no país, sendo 29,1% referentes às operações industriais (IBÁ, 2019).

O processo de fabricação da polpa celulósica mais utilizado no Brasil é o *kraft* (Maeda, Costa & Silva, 2010; Oliveira, Fineza & Oliveira, 2018), tendo destaque devido a sua proposta de recuperação química dos reagentes. As indústrias que utilizam este processo de fabricação são grandes geradoras de resíduos sólidos (Rodrigues *et al.*, 2016).

Os resíduos da indústria de celulose e papel enquadram-se, em geral, como resíduos do tipo classe IIA (Maeda, Costa & Silva, 2010), ou seja, tratam-se de resíduos não perigosos e não inertes (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004). Estima-se que o volume de resíduos gerados pelas fábricas brasileiras está em torno de 150 kg/tonelada de produto, sendo a lama de cal, casca suja, rejeito, cinzas e lodo da estação de tratamento de efluentes, os principais resíduos gerados por essa indústria (CETESB, 2008).

Segundo a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a disposição final ambientalmente adequada é aquela em que há distribuição ordenada de rejeitos em aterros (Brasil, 2010), sendo este método o mais utilizado pelas fábricas de papel e celulose a nível mundial (Bajpai, 2015).

Os aterros podem ser industriais (construídos e operados pelas fábricas), ou de propriedade independente, exigindo que as empresas paguem para dispor seus rejeitos na área (Bajpai, 2015). Em ambos os casos, existem custos para movimentação dos resíduos (da fonte geradora à destinação) e estes devem ser, sempre que possível, otimizados. Almeida (2019) destaca que o custo médio da movimentação e disposição desse resíduo em aterro industrial está em torno de R\$ 56,80/m³, valor expressivo para a indústria.

Neste contexto, surge como ferramenta a Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*, TPM) que tem em sua base a manutenção planejada, objetivando ter máquinas e equipamentos livres de problemas, produzindo produtos livres de defeitos para atender a satisfação total dos clientes (Ahmad & Shahwaz, 2015). A TPM busca minimizar todas as perdas potenciais na produção e operar equipamentos com capacidade total de projeto (Almeanazel, 2010). A Eficiência Global do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE) é uma ferramenta para a estimativa quantitativa da TPM (Brodny & Tutak, 2017).

O indicador OEE trata-se de uma ferramenta de análise do equipamento com base em sua disponibilidade, desempenho e taxa de qualidade (Lalkiya & Kushwaha, 2015; Mohammadi, Rai & Gupta, 2017). O uso deste indicador possibilita a identificação da utilização real dos equipamentos, mensuração da eficiência global, além de permitir a descoberta de custos ainda não mapeados (Santos *et al.*, 2019). Sua principal tarefa é identificar as causas do desperdício de tempo, e então, a partir disto, planejar as ações apropriadas para melhorar o fluxo produtivo (Czerwińska & Pacana, 2019).



A aplicação da OEE pode ser vista no estudo de Mohammadi, Rai e Gupta (2017) que adaptaram o conceito de OEE para operações de mineração de superfície em grande escala, identificando assim, perdas relacionadas ao tempo operacional, velocidade e utilização da capacidade da caçamba dos caminhões. Ao associar a OEE com ferramentas da qualidade, o estudo de Santos *et al.* (2019), aplicado ao processo de destilação de uma indústria de biotecnologia, mostrou que o indicador permite analisar de forma eficiente a real utilização do equipamento, enquanto as ferramentas da qualidade possibilitaram analisar os gargalos do equipamento, visualizar melhor o problema, identificar a causa principal e aplicar ações de melhorias.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é aplicar a OEE para a análise da eficiência de equipamentos de movimentação de resíduos de uma indústria de papel e celulose, além de identificar e analisar as principais perdas que diminuem a eficiência dos equipamentos estudados. Por questão de sigilo, a empresa não será identificada no presente trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1 UNIDADE DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

Escolheu-se para a realização do presente estudo a frota interna de equipamentos de movimentação de resíduos de uma indústria de papel e celulose da Bahia. A empresa conta com aterro industrial próprio e terceiriza a movimentação de resíduos industriais, cujo escopo engloba o percurso fonte geradora de resíduo - disposição em aterro.

O acordo de fornecimento da prestadora de serviços contempla 25 equipamentos, sendo 12 caminhões. Atualmente, o único método de controle de eficiência da frota dá-se por meio do cálculo de disponibilidade dos equipamentos, que considera apenas os períodos de manutenção dos veículos. A Figura 1 apresenta a disponibilidade global da frota de movimentação interna de resíduos, calculada pela empresa terceira. Nota-se que a média anual acumulada é de 93%, valor acima da referência mundial de disponibilidade de 90% (Brodny & Tutak, 2017). Este valor de disponibilidade é uma das entradas para a mensuração e análise do OEE no presente trabalho.

A amostragem foi realizada de forma não probabilística, sendo uma maneira fácil, rápida e barata de coletar dados de uma população (Azid *et al.*, 2019). O primeiro período amostral ocorreu entre os dias 23 de setembro de 2020 a 23 de outubro de 2020, por meio da coleta de dados de dois caminhões do tipo caçamba, responsáveis pela movimentação de biomassa de madeira (Cam._Biomassa) e madeira não picada proveniente de reversões dos picadores de madeira (Cam._Reversão). Para tal, forneceu-se aos respectivos motoristas destes caminhões um formulário (Figura 2) para preenchimento dos tempos de paradas ocasionadas por situações que fogem da rotina, como falhas mecânicas, problemas na estrada, redução de velocidade, entre outras, além da pesagem dos resíduos para cálculo do volume ocupado na caçamba.

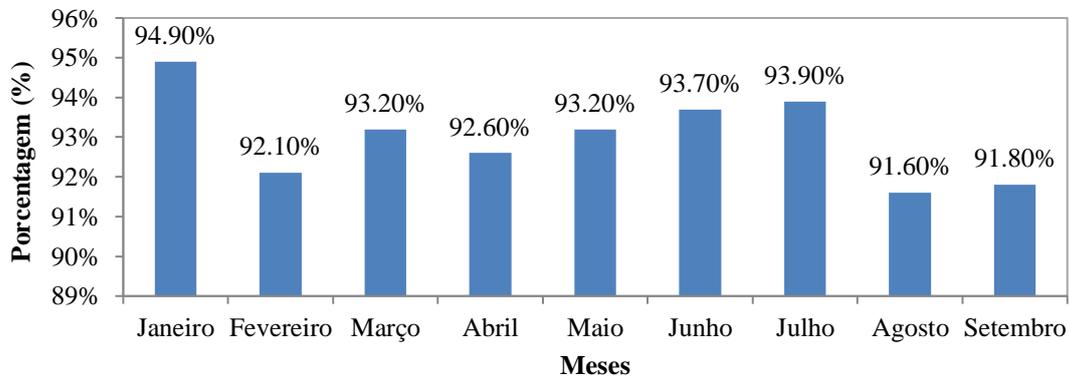
Após a análise dos resultados do primeiro período amostral, realizou-se uma segunda coleta de dados para os mesmos caminhões entre os dias 02 de novembro de 2020 e 08 de novembro de 2020. A proposta desta segunda amostragem foi o registro apenas das pesagens dos



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

caminhões, três vezes por turno. Utilizou-se o mesmo formulário para coletar os dados (Figura 2).

Figura 1. Disponibilidade global da frota de veículos de movimentação interna de resíduos



Fonte: Adaptado de dados fornecidos pela empresa prestadora de serviços.

Figura 2. Modelo de formulário para a coleta de dados

Objetivo: Registrar momentos de parada fora da rotina durante a jornada de trabalho (ex: equipamento ficou fora de operação devido manutenção, parada para setup, alguma falha ocasional, redução de velocidade devido a alguma anomalia, entre outros) e descrever o motivo da eventual parada/redução de velocidade.

Data: _____ **Placa do veículo:** _____

Motorista: _____ **Resíduo transportado:** _____

Pesagem na balança: _____

INÍCIO PARADA/REDUÇÃO DE VELOCIDADE	FINAL PARADA/REDUÇÃO DE VELOCIDADE	MOTIVO

Fonte: Elaborado pelos autores

Fonte: Autores (2021)

2.2 CÁLCULO DO OEE

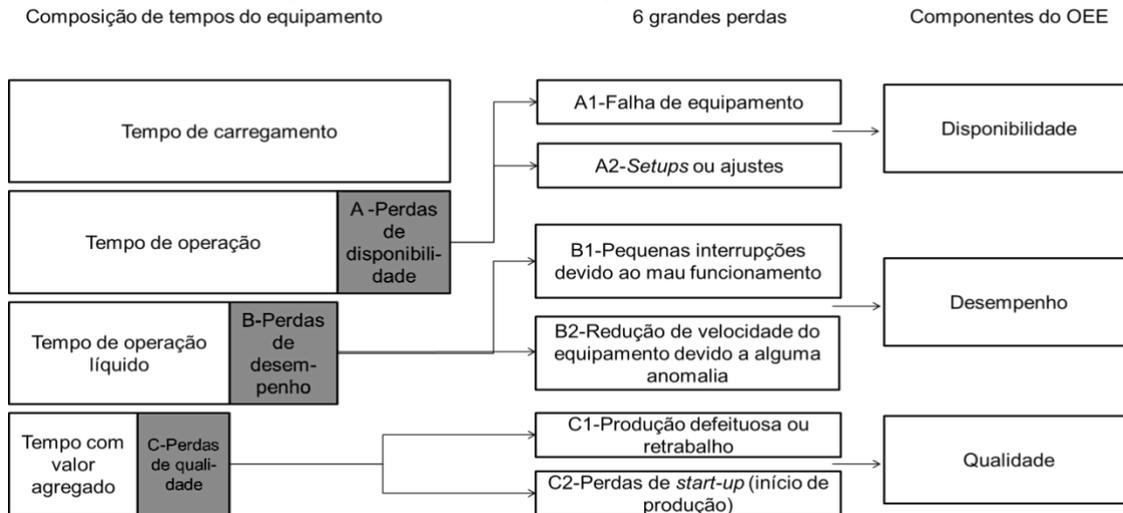
A dinâmica de cálculo para a OEE é mostrada na Figura 3, onde pode-se identificar que a OEE se apresenta como o resultado da multiplicação de três fatores: disponibilidade, desempenho e qualidade. Com o primeiro, objetiva-se medir o tempo total que o sistema não está operando devido a avarias, setups, ajustes e outras paradas, conforme mostra a Equação (1), baseada no estudo de Busso e Miyake (2013); o segundo considera o tempo real que o equipamento leva para fabricar um item removendo deste tempo as pequenas interrupções ou reduções de velocidade, conforme mostra a Equação (2), adaptada de Waqas *et al.* (2015); por último, o índice qualidade mensura a quantidade de produtos sem defeitos. Por se tratar de veículos transportando materiais, para o critério de qualidade foi utilizada a taxa de carregamento, indicado na Equação (3), onde seu cálculo dá-se pela razão entre o volume carregado e a capacidade total do veículo, conforme mencionado em Akande, Lawal e Aladejare (2013) e Waqas *et al.* (2015).



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

Para a aplicação das Equações (1), (2) e (3) e o cálculo da OEE identificou-se as seis grandes perdas, agrupadas em três classes: perdas de disponibilidade (A1 e A2), desempenho (B1 e B2) e qualidade (C1 e C2), conforme ilustrado na Figura 3. O valor ideal para cada componente da OEE, segundo os padrões da classe mundial, é de 90% para disponibilidade, 95% para desempenho e 99% para qualidade, obtendo como referência o valor aproximado de 85% para a OEE (Brodny & Tutak, 2017).

Figura 3. Cálculo dos componentes do indicador OEE.



Fonte: Adaptado de Busso e Miyake, 2013.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de carregamento} - \text{Perdas de disponibilidade}}{\text{Tempo de carregamento}} \quad (1)$$

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de operação} - \text{Perdas de desempenho}}{\text{Tempo de operação}} \quad (2)$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Volume carregado}}{\text{Capacidade de carregamento}} \quad (3)$$

2.3 ANÁLISE DE PERDAS

Concomitante ao cálculo da OEE, algumas ferramentas foram utilizadas visando à análise das perdas ocorridas durante a jornada de trabalho e posterior tratamento para que sejam minimizadas e/ou extintas. Utilizou-se o diagrama de Pareto a fim de priorizar as maiores perdas do processo. Na sequência, o diagrama de causa e efeito foi a ferramenta escolhida para identificar as causas que influenciam nas maiores perdas, a partir dos aspectos: método, matéria-prima, mão-de-obra, máquina, medida e meio ambiente. Para a aplicação desta, promoveu-se um *brainstorming* junto aos operadores dos equipamentos em estudo, visto que eles são os melhores conhecedores do processo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

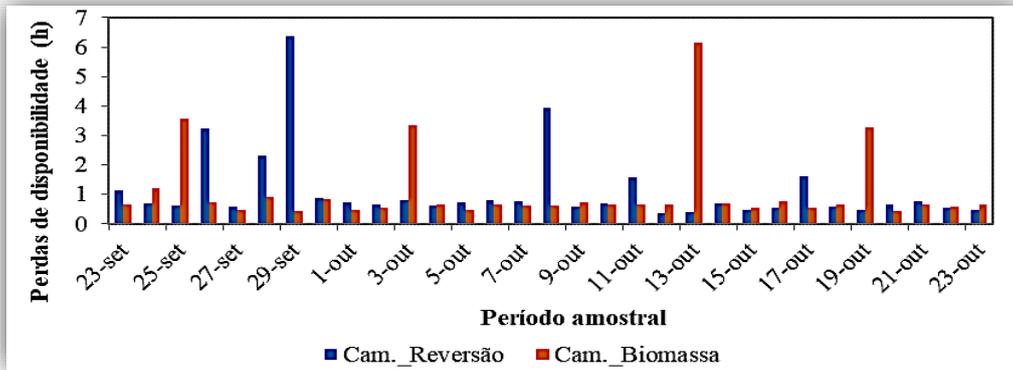
Os caminhões em estudo possuem jornada de trabalho de doze horas. Considera-se uma hora para almoço e duas horas para abastecimento e necessidades fisiológicas, resultando então em nove horas disponíveis como “Tempo de Carregamento”.



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

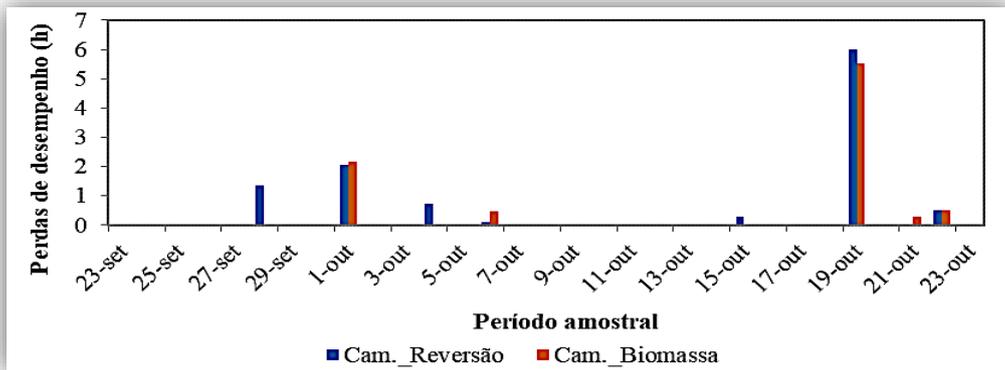
O estudo iniciou coletando informações das “Perdas de disponibilidade” e “Perdas de desempenho”, seguindo os princípios da Figura 3. Além disso, para o cálculo do “Volume carregado”, apresentado na Equação 3, registrou-se a pesagem amostral diária dos caminhões. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam os resultados consolidados para perdas de disponibilidade, perdas de desempenho e peso do carregamento dos caminhões, respectivamente.

Figura 4. Perdas de disponibilidade (em horas)



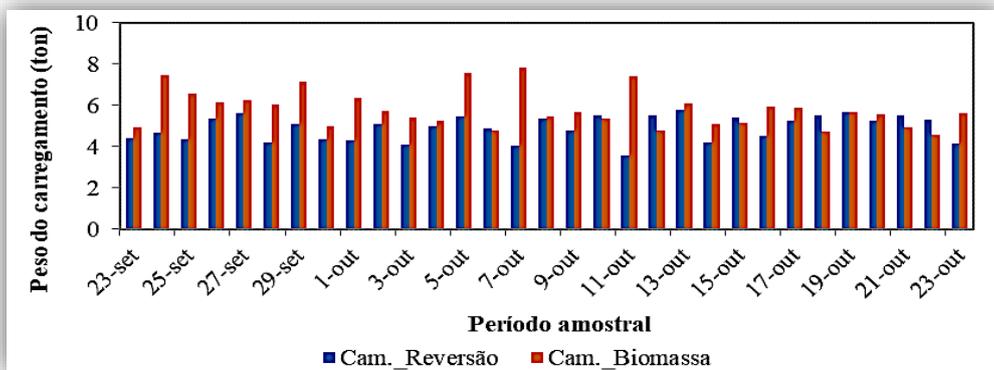
Fonte: Autores (2021)

Figura 5. Perdas de desempenho (em horas)



Fonte: Autores (2021)

Figura 6. Peso do carregamento (em toneladas)



Fonte: Autores (2021)



A partir da coleta de dados iniciou-se o cálculo das componentes da OEE. Para o cálculo da “qualidade” (Equação 3) utilizou-se a informação que ambos os veículos possuem caçamba com volume de 24 m³ e seus resíduos transportados possuem densidade conhecidas, sendo 0,24 ton/m³ para o veículo Cam._Reversão e 0,33 ton/m³ para o veículo Cam._Biomassa. Sendo assim, para obter o volume ocupado nas caçambas, fez-se a divisão entre pesagem diária do veículo carregado (em toneladas) sobre a densidade específica (ton/m³). A Figura 7 mostra os valores médios obtidos para as componentes “qualidade”, “disponibilidade”, “desempenho” e a OEE em cada período.

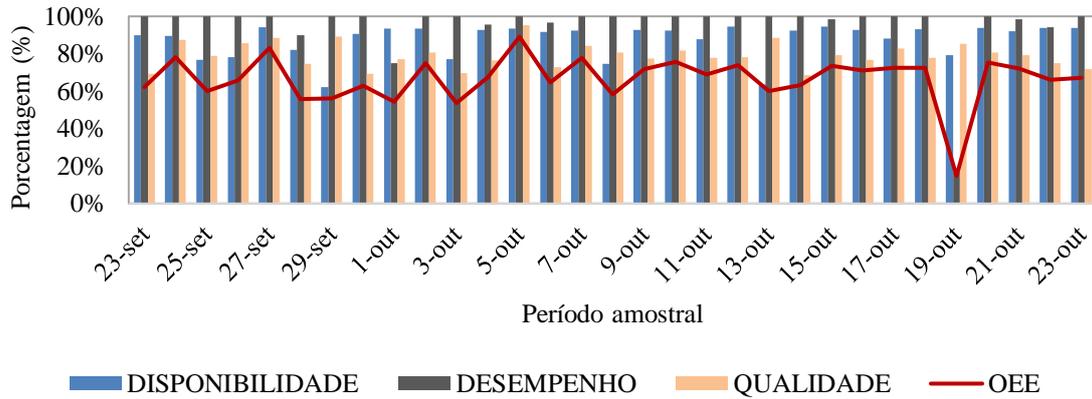
Pela Figura 7 é possível identificar que a utilização apenas do indicador “disponibilidade” (metodologia utilizada atualmente pela empresa) não reflete a situação real da eficiência dos equipamentos, visto que em todo o período amostral o valor da OEE esteve abaixo do percentual de disponibilidade, chegando a uma diferença de 65% no dia 19/10. Além disso, a disponibilidade média foi de 88%, abaixo do valor médio anual de 93% até set/2020 calculado pela empresa terceirizada (Figura 1), o que demonstra uma possibilidade de análise errônea ao se considerar somente os períodos de manutenção da frota e não demais eventos que comprometam a operação.

A componente “desempenho” esteve acima da referência mundial de 95% (Brodny & Tutak, 2017) durante 90% do período amostral, tendo seu maior declive no dia 19/10 em função de fortes chuvas na região, o que reduziu a velocidade dos caminhões devido às condições da estrada. Esta situação também impactou na eficiência de equipamentos de mineração, como mencionado em Waqas *et al.* (2015), onde os autores relataram que as maiores perdas de velocidade identificadas no trabalho se deviam às más condições da estrada, o que gerava maior resistência ao rolamento e proporcionava uma redução na velocidade do caminhão. Adicionalmente, Kulula e Akande (2018) relataram em seu trabalho a relação entre condições climáticas como chuva, névoa e vento, frente a perdas de produção decorrentes da lentidão dos caminhões no percurso.

No presente trabalho, a componente “qualidade” obteve valor médio de 79% e não atingiu a referência mundial de 99% (Brodny & Tutak, 2017) em nenhum momento, sendo o maior valor registrado igual a 95% no dia 05/10. García-Arca, Prado-Prado e Fernández-González (2018) destacaram a taxa de enchimento de caminhões, ou seja, a fração entre carga e capacidade, como um indicador chave de desempenho (KPI) para a melhoria do sistema rodoviário. No trabalho de Waqas *et al.* (2015) os autores encontraram um percentual de 90% de utilização da capacidade volumétrica dos caminhões, devido principalmente à experiência do operador e a estratégia de carregamento utilizada. Já Akande, Lawal e Aladejare (2013) identificaram que sobrecarga dos veículos, com percentual de 110%, pode acarretar custos operacionais devido à maior troca dos pneus, além de consumir tempo, o que afeta a disponibilidade e, por consequência, o OEE.



Figura 7. Média das componentes “disponibilidade”, “desempenho”, “qualidade” e OEE dos equipamentos



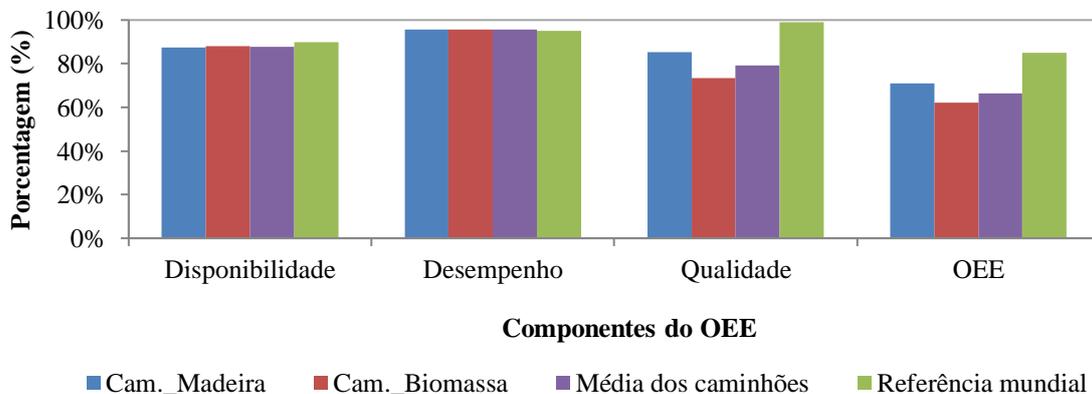
Fonte: Autores (2021)

A Figura 8 apresenta a comparação entre os valores obtidos na pesquisa e os citados como referência por Brodny e Tutak (2017). Nota-se que a componente qualidade possui a maior influência sobre os baixos valores da OEE obtidos para ambos os equipamentos. Este ponto reforça a importância de acompanhar a utilização real do volume das caçambas dos equipamentos que, no momento, está abaixo do ideal.

Os resultados obtidos nesta etapa foram apresentados à gerência e aos colaboradores da empresa, de modo a conscientizá-los sobre o impacto das perdas no processo. Tendo em vista que a componente qualidade teve o menor desempenho durante o período amostral, acordou-se que a empresa, a partir do dia 02/11, incluiria em seu procedimento operacional o percentual mínimo de ocupação das caçambas de 90%, com pesagens semanais da frota, em que os veículos seriam convocados para a balança em diferentes horários.

Visando avaliar os impactos da nova instrução sobre a componente qualidade, decidiu-se realizar, por uma semana (02/11 a 08/11) uma nova pesquisa amostral referente à utilização da capacidade das caçambas. Para esta análise, foram consideradas três amostragens aleatórias diárias de pesagem dos veículos. Os resultados obtidos para o percentual de ocupação são apresentados na Figura 9.

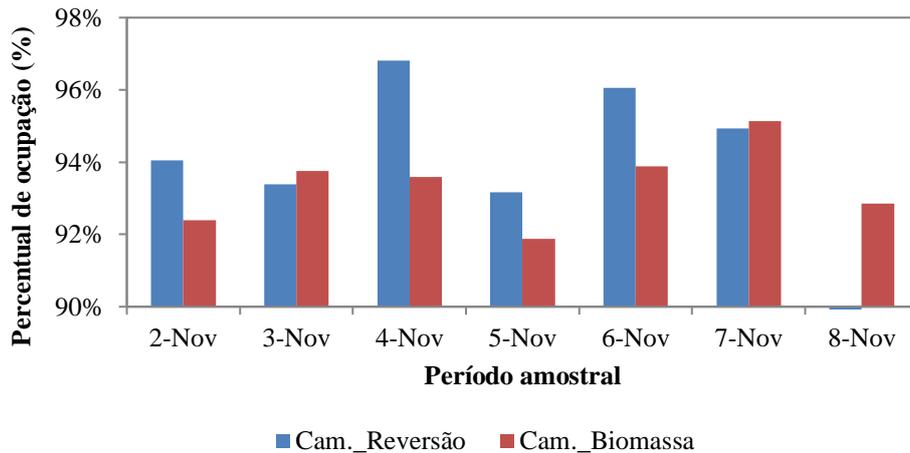
Figura 8. Comparação entre valores obtidos na pesquisa e referências mundiais, conforme Brodny e Tutak (2017)



Fonte: Autores (2021)



Figura 9. Percentual de ocupação das caçambas de resíduos durante nova amostragem



Fonte: Autores (2021)

Pela Figura 9 é possível identificar a evolução da ocupação das caçambas, que saiu de um percentual médio de 79% na primeira campanha amostral para 94% na segunda, atingindo a meta definida de 90%. Considerando o percentual médio geral de disponibilidade e desempenho anterior e utilizando o novo percentual médio de qualidade, tem-se um ganho de eficiência representado pela OEE de 12%, sendo 67% na primeira amostragem e 79% na segunda, estando mais próximos da referência mundial de 85%. Tal evolução na carga de resíduos transportada por viagem possibilita redução no custo de disposição de resíduos em aterro industrial.

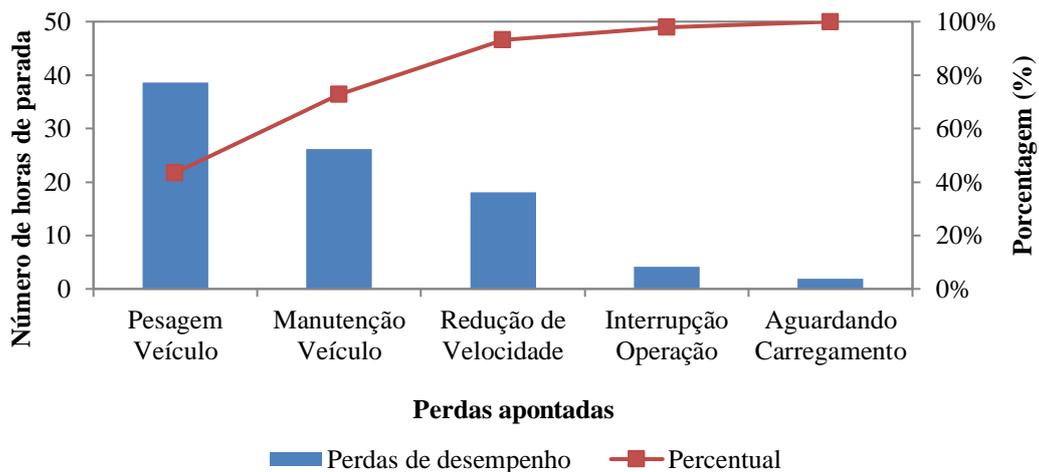
Nota-se que a causa principal do resultado mediano da componente qualidade na primeira amostragem é referente à desinformação da importância de se acompanhar esse percentual. Espera-se que com o acompanhamento constante dessa nova métrica, a empresa possa elevar, cada vez mais, a eficiência da sua frota.

Além da componente qualidade, percebe-se que há a necessidade de melhorias em outras áreas do processo de movimentação de resíduos, uma vez que os valores das componentes disponibilidade e desempenho não atingiram os parâmetros mundiais durante todo o período amostral. Dessa maneira, visando otimizar a operação da frota, iniciou-se um trabalho para identificar e eliminar desperdícios conforme os princípios da Manutenção Produtiva Total. Para isso, elaborou-se o diagrama de Pareto abaixo (Figura 10) a partir das perdas apontadas pelos motoristas durante o primeiro período amostral de 30 dias. As perdas relacionadas à pesagem de veículos, manutenção e interrupção da operação fazem parte do grupo de perdas de disponibilidade, enquanto redução de velocidade e aguardando carregamento enquadram-se como perdas de desempenho.

Na Figura 10 é possível notar que as principais perdas estão relacionadas a momentos de parada para pesagem e manutenção dos veículos, representando 73% do tempo total. Nota-se, portanto, que as perdas de disponibilidade são as mais representativas no processo atual.



Figura 10. Distribuição de frequência das perdas de eficiência



Fonte: Autores (2021)

Como rotina para a mensuração e análise da OEE, o presente trabalho propõe a pesagem diária dos veículos. Durante o período de amostragem, a pesagem dos veículos, ocupou, em média, 18 minutos diários, equivalente a 43% dos tempos de parada dos equipamentos durante o período amostral. A balança utilizada está sob responsabilidade da área de logística industrial, que já possui projetos para implementação da pesagem automática dos veículos.

A manutenção de veículo trata-se da segunda maior perda apontada na Figura 10, com valor em torno de 29%, sendo possível supor que há incidência significativa de paradas para manutenções corretivas durante a jornada de trabalho. Os estudos de Santos (2018) e Silva, Bezerra e Ferreira (2020) mostraram que perdas associadas à manutenção corretiva é uma das variáveis que vêm causando redução da disponibilidade de equipamentos. Cordeiro e Assumpção (2016) identificaram em seus estudos que cerca de 80% do total de paradas dos equipamentos referiam-se a manutenções corretivas. Nota-se, a partir da literatura científica, que há a necessidade de ampliar estudos relacionados a esse tema, aplicados a movimentação de veículos.

As perdas de redução de velocidade mostram valores próximos a 20% do total e referem-se a ocasiões de chuva forte que necessitam de cautela para acesso ao aterro industrial, cuja estrada não é asfaltada e pode ocasionar atolamento do veículo. Perdas por más condições da estrada foram citadas anteriormente no estudo de Waqas *et al.* (2015) enquanto a influência de condições meteorológicas foram citadas por Kulula e Akande (2018). Em consonância, para a situação de atolamento, registraram-se perdas catalogadas como interrupções da operação (5%).

A classificação “aguardando carregamento” (2%) compete aos momentos em que os equipamentos chegam ao local para carregamento e não há pás carregadeiras disponíveis para atendimento imediato, logo, precisam aguardar. De forma similar, essa perda também foi citada no estudo de Akande, Lawal e Aladejare (2013), onde os autores identificaram que um dos maiores contribuintes para a baixa disponibilidade dos caminhões refere-se ao tempo de espera para o carregamento, que representou 37% das perdas totais e foi causada principalmente por filas, espera da limpeza e nivelamento feito pela pá carregadeira.



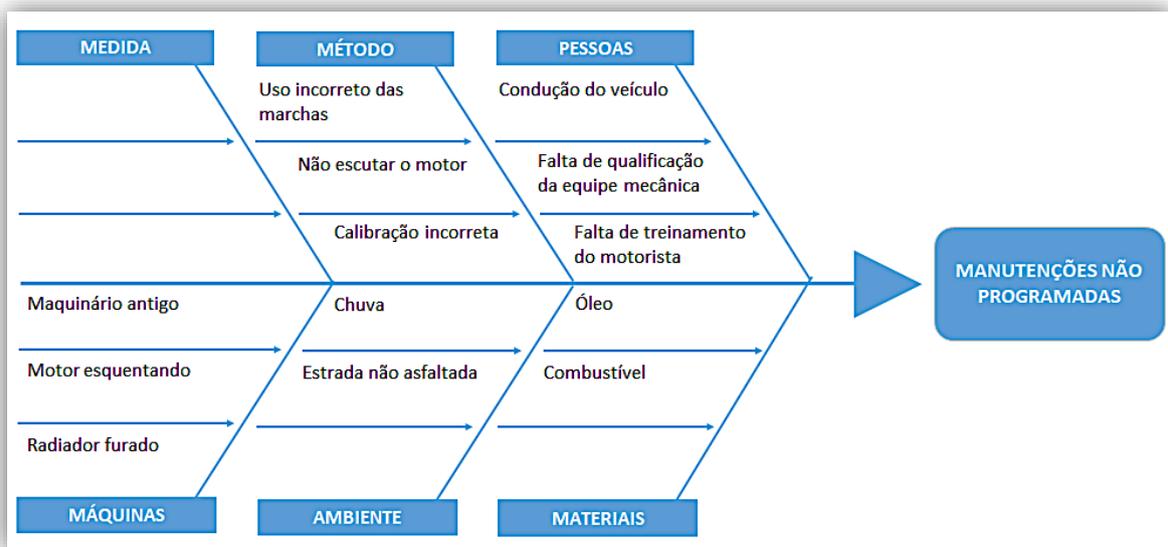
Tendo em vista que o processo de pesagem dos equipamentos já está em tratativa pela equipe de logística, optou-se por analisar, por meio de ferramentas da qualidade, os fatores que influenciam nas paradas para manutenção dos veículos.

Pela pesquisa identificou-se que as manutenções apontadas são, em sua maioria (64%), corretivas, ou seja, não programadas. Sendo assim, em conjunto com os motoristas dos veículos em estudo neste trabalho, fez-se o diagrama de causa e efeito para essa situação-problema, apresentado na Figura 11.

Na categoria “pessoas”, foram elencadas a má condução do veículo, falta de qualificação da equipe da manutenção e falta de treinamento para os motoristas sobre manutenção mecânica preventiva/preditiva. Quanto aos materiais, foram citados problemas com óleo e combustível. No ambiente, as condições meteorológicas, em especial chuvas, em conjunto a estradas não asfaltadas corroboram para problemas mecânicos. As máquinas foram apontadas como antigas e com problemas no motor e radiador. Por fim, o método contempla o uso incorreto das marchas, calibração incorreta e não escutar o motor.

Portanto, pode-se identificar que as causas principais para a ocorrência de manutenções não programadas estão relacionadas à falta de qualificação da equipe (tanto operacional quanto mecânica). A partir disso, sugere-se que a empresa ofereça, para a equipe operacional: capacitação sobre mecânica básica, predição de problemas mecânicos e direção segura, além de estabelecer procedimento para inspeção diária do veículo pelos motoristas; para a equipe mecânica: capacitação técnica em mecânica automotiva. De forma similar, Kurniawan *et al.* (2019) propuseram como alternativa para o aumento da OEE de caminhões, o treinamento de mecânicos, operadores e gerentes com atualização trimestral para melhorar as habilidades e o conhecimento dos operadores dos caminhões.

Figura 11. Diagrama de causa e efeito para manutenções não programadas.



Fonte: Autores (2021)

Adicionalmente, de forma a melhorar a gestão de falhas mecânicas, indica-se que a empresa realize o mapeamento das potenciais falhas do processo por meio da ferramenta Análise de



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

Modo e Efeito de Falha Potencial (*Failure Mode and Effect Analysis - FMEA*). A partir desta análise é possível apontar ações que eliminem ou reduzam as possibilidades de ocorrência de falhas (Zeferino *et al.*, 2017). Desta forma, conhecendo as potenciais falhas do processo, a empresa conseguirá revisar seu plano de manutenção da frota de veículos a fim de garantir maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a aplicação da ferramenta OEE para o cálculo da eficiência de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. Durante o primeiro período de amostragem, apenas a componente “desempenho” apresentou média superior ao parâmetro de referência mundial. Verificou-se ainda, que a utilização apenas do indicador “disponibilidade”, metodologia utilizada atualmente pela empresa, não reflete a situação real da eficiência dos equipamentos, visto que em todo o período amostral o valor da OEE esteve abaixo do percentual de disponibilidade, chegando a uma diferença de 65%. Adicionalmente, a componente “qualidade” foi a que se mostrou mais crítica, ficando 20% abaixo da referência mundial para a média dos dois equipamentos.

A partir de um *brainstorming*, a empresa firmou o compromisso de atingir, no mínimo, 90% da ocupação de suas caçambas, o que mostrou-se possível na segunda amostragem realizada, com ganhos de 12% na OEE médio. Ao transportar mais resíduos por viagem, até o limite de não sobrecarga, possibilita-se a redução no custo de disposição de resíduos em aterro industrial.

O trabalho ainda analisou as principais perdas de eficiência no processo e, por meio de ferramentas da qualidade, como o diagrama de Pareto e o diagrama de causa e efeito, concluiu que as paradas recorrentes para manutenção dos veículos davam-se em função da falta de qualificação da equipe operacional e mecânica. Identificou-se ainda a oportunidade da utilização da ferramenta FMEA para mapeamento das possíveis falhas e seus efeitos, de forma a promover ações de eliminação de gargalos operacionais. Dessa forma, para continuidade do trabalho, sugere-se que a empresa expanda a implementação da OEE para toda a frota de equipamentos além da elaboração dos formulários FMEA para cada subsistema dos caminhões, como cabine, direção, parte elétrica, freio, dentre outros, de forma a diminuir a ocorrência de eventos de manutenção não previstos no planejamento do processo.

REFERÊNCIAS

Akande, J. M., Lawal, A. I., & Aladejare, A. E. (2013). Optimization of the overall equipment efficiency (OEE) of loaders and rigid frame trucks in NAMDEB Southern Coastal Mine Stripping fleet, Namibia. *Earth Science*, 2(6), 158-166.

Almeanazel, O. T. R. (2010). Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4(4).

Almeida, A. A. R. (2019). *Avaliação técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de lodos como combustível em fábrica de celulose* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira.



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

Ahmad, S., & Shahwaz, S. M. (2015) Implementation of total productive maintenance in thermal power station (Barauni Refinery). *International Journal of Engineering Research*, 1 (3), 7–16.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *ABNT NBR 1004: Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro – RJ.

Azid, N. A. A, Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., & Samat, H. A. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012050.

Bajpai, P. (2015). *Management of pulp and paper mill waste*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 03 ago. 2010. p. 2.

Brodny, J., & Tutak, M. (2017). Application of Elements of TPM Strategy for Operation Analysis of Mining Machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95 (4).

Busso, C. M., & Miyake, D. I. (2013). Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. *Production*, 23(2), 205-225.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose - Série P+L: relatório técnico*. São Paulo, 2008.

Cordeiro, J. C. A, & Assumpção, M. R. P. (2016). Indicadores para gestão na manutenção corretiva. *Exacta*, 14(2), 173-182.

Czerwińska, K., & Pacana, A. (2019). Analysis of the efficiency of machine use on the production line of interior door. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 22(2), 2-6.

García-Arca, J., Prado-Prado, J. C., & Fernández-González, A. J. (2018). Integrating KPIs for improving efficiency in road transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório Ibá 2019: relatório técnico*. São Paulo, 2019.

Kulula, M. I., & Akande, J. M. (2018). Effects of Machine Parameter and Natural Factors on the Productivity of Loading and Haulage Equipment. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 6, 139-153.

Kurniawan, S., Azaria, A., Alzena, T., & Dwicahyo, Y. H. (2019). The Measurement and Improvement of Effectiveness in K-440 Haul Truck Using Overall Equipment Effectiveness in Coal Mining Company. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 10(2), 43-48.

Lalkiya, M., & Kushwaha, D. K. (2015). Optimizing & Analyzing Overall Equipment Effectiveness Through TPM Approach: A Case Study In Cement Industry. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2 (5), 807-8011.

Maeda, S., Costa, E. R. O., & Silva, H. D. da. *Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel*. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 1 CD-ROM.



Citação (APA): Sancheta, L. do N. & Feroni, R. de C. (2021). Aplicação integrada da oee com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.

Mohammadi, M., Rai, P., & Gupta, S. (2017). Performance evaluation of bucket based excavating, loading and transport (BELT) equipment—an OEE approach. *Archives of Mining Sciences*, 62(1), 105-120.

Oliveira, A. L., Fineza, A. G., & Oliveira, M. J. A. (2018). Influência do resíduo grits da fabricação da celulose nas propriedades mecânicas de uma argamassa. *Revista Científica Univiçosa*, 10(1).

Rodrigues, L. R., Francisco, M. A. C. O., Sagrillo, V. P. D., Louzada, D. M., & Entringer, J. M. S. (2016). Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos. Congresso Brasileiro De Engenharia e Ciência Dos Materiais, 22., 2016, Natal. *Anais... Natal, RN: CBECiMat*, p. 750-760.

Santos, P. V. S. (2018). Aplicação do indicador overall equipment effectiveness (OEE): um estudo de caso numa retífica e oficina mecânica. *Brazilian journal of production engineering*. 4(3), 1-18.

Santos, A. C. S. G., Ribeiro, I. M., Salve, A. S., Ji, C. M., Ferreira, L. A. F., & Hora, H. R. M. (2019). Indicador OEE e ferramentas da qualidade: uma aplicação integrada no processo de destilação de uma indústria de biotecnologia. *Exacta*, 17(2).

Silva, D. J. S., Bezerra, M. D. L. M., & Ferreira, F. G. D. (2020). Manutenção Autônoma Aplicada para Melhoria da Disponibilidade de um Equipamento de Tela para Coluna de uma Indústria Siderúrgica. *Revista Eletrônica da Estácio Recife*, 6(1).

Waqas, M., Tariq, S. M., Shahzad, M., Ali, Z., & Saqib, S. (2015). Performance measurement of surface mining equipment by using overall equipment effectiveness. *Pakistan Journal of Science*, 67(2), 212.

Zeferino, F. M., Franco, L. J. V., Leite, J. F., Resende, A. R. N., & Oliveira, M. A. (2017). Aplicação da ferramenta FMEA como método de diagnóstico de falhas em caminhões fora de estrada. CONEMI - Congresso Nacional De Engenharia Mecânica E Industrial, XVII.

