

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA GERAL DE EQUIPAMENTO COMO SUPORTE PARA A GESTÃO DA QUALIDADE¹

Pedro Vieira Souza Santos²
Lucas di Paula Gama dos Santos

RESUMO

Avaliar o desempenho do processo produtivo e suas operações é um desafio para as empresas, a depender do contexto em que estão inseridas. Uma das formas de fazer tal avaliação é através do índice de eficiência geral do equipamento, o Overall Equipment Effectiveness (OEE). Trata-se de uma métrica chave da Manutenção Produtiva Total e do Lean Manufacturing que fornece uma estrutura geral para medir a eficiência da produção, considerando qualidade, performance e disponibilidade. Logo, diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a relação entre o indicador OEE e a gestão da qualidade, em uma empresa calcinadora de gesso, localizada em Trindade/PE. Verificou-se, a partir dos resultados encontrados, que todos os equipamentos obtiveram valor do OEE abaixo de 65,0 % o que os classifica como não aceitáveis quando comparados com parâmetros indicados pela literatura. Com os dados do OEE utilizados como entrada ao processo de gestão da qualidade, o principal produto está na consolidação da competitividade, traduzida pela obtenção de melhor gestão de custos, melhoria no prazo de entrega e assim por diante, adquirindo a chamada vantagem competitiva. No entanto, as vantagens surgem apenas quando as máquinas são capazes de executar as operações com alta eficiência. Por isso, analisar e controlar o OEE é fundamental para incorporar políticas de qualidade na empresa.

Palavras-chave: OEE. Gestão da Qualidade. Gesso. Araripe.

EVALUATION OF GENERAL EQUIPMENT EFFICIENCY AS A SUPPORT FOR QUALITY MANAGEMENT

ABSTRACT

Assessing the performance of the production process and its operations is a challenge for companies, depending on the context in which they operate. One way to make such an assessment is through the equipment's overall efficiency index, the Overall Equipment Effectiveness (OEE). It is a key metric for Total Productive Maintenance and Lean Manufacturing that provides a general framework for measuring production efficiency, considering quality, performance and availability. Therefore, in view of the above, the present study aimed to assess the relationship between the OEE indicator and quality management, in a gypsum, calcining company located in Trindade/PE. It was found, from the results found, that

¹ **Como citar este artigo:** SANTOS, P. V. S.; SANTOS, L. P. G. Avaliação da eficiência geral de equipamento como suporte para gestão da qualidade. *ForScience*, Formiga, v. 9, n. 1, e00914, jan./jun. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n1.e914.

² **Autor para correspondência:** Pedro Vieira Souza Santos, e-mail: pedrovieirass@hotmail.com.

all equipment obtained an OEE value below 65.0%, which classifies them as not acceptable when compared with parameters indicated by the literature. With the OEE data used as input to the quality management process, the main product is the consolidation of competitiveness, translated by obtaining better cost management, improving delivery times and so on, acquiring the so-called competitive advantage. However, the advantages arise only when the machines are able to perform operations with high efficiency. Therefore, analyzing and controlling the OEE is fundamental to incorporating quality policies in the company.

Keywords: OEE. Quality Management. Gypsum. Araripe.

1 INTRODUÇÃO

No contexto mercadológico cada vez mais competitivo e dinâmico, as empresas buscam ferramentas capazes de melhorar a produtividade, minimizar custos e garantir a sustentabilidade dos negócios. Tal fato é notório no ambiente da indústria 4.0, onde o sistema de manufatura enxuta é adotado com maior ênfase, atrelado à tecnologias diversas (SANTOS, 2020). Diversas vantagens podem ser alcançadas com aplicação de metodologias contemporâneas de gestão e avaliação de processos, com o potencial de melhorar a produtividade, garantir a satisfação do cliente, potencializar o lucro, solidificar a capacidade de resposta do cliente (SANTOS; SILVA, 2019).

Alguns estudos apontam para benefícios atrelados às práticas enxutas, tais como: manter níveis adequados de capacidade de produção, qualidade e a satisfação dos trabalhadores, diminuição dos custos operacionais, nível baixo de defeitos, prazos de entrega e ainda menor desperdício (ARAVINTHKUMAR; SATHISHKUMAR; RAJENTHIRAKUMAR, 2016; MACHADO; SANTOS, 2020). Entre as diversas ferramentas e técnicas enxutas, a Manutenção Produtiva Total (TPM) é uma das mais adotadas em empresas de manufatura. Em linhas gerais, o TPM significa uma manutenção que aumentará a produtividade (MAHMOOD; ABDULLAH; FAUADI, 2015).

Nesse sentido, a abordagem do TPM emprega a Eficácia Geral do Equipamento (OEE) como uma métrica de cunho quantitativo para medir o desempenho de um sistema produtivo. Em geral, o OEE é determinado para cada máquina usada em um processo de produção. Essa avaliação dos processos baseia-se em três índices: a disponibilidade, o desempenho e a taxa de qualidade da produção e observa as possíveis relações entre os diferentes parâmetros de influência, como apontado por Borkowski *et al.* (2014).

Um dos segmentos que representam grande importância econômica para o país é a indústria do segmento gesso, particularmente as empresas concentradas no polo do Araripe

em Pernambuco, devido ao alto volume de produção e a qualidade do minério. Contudo, trata-se de um ramo que carece de estudos que avaliem a eficiência do sistema de produção, assim como as melhorias em gestão, conforme apontam Barbosa, Ferraz e Santos (2014), Cândido, Santos e Clemente (2018), Sousa, Coelho e Clemente (2018) e Santos, Ferraz e Silva (2019).

O gesso consiste no sulfato de cálcio hemihidratado, representado pela fórmula química $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Segundo Barbosa, Ferraz e Santos (2014) para a produção desse item, tem-se quatro etapas basicamente, sendo: a extração do gipso, preparação para calcinação, calcinação e seleção.

Entretanto, o foco desse estudo está no âmbito da calcinação, realizado em empresas denominadas de calcinadoras. Trata-se de um processo térmico, que ocorre em fornos na faixa de temperatura de 140 a 160°C, onde a gipsita é desidratada. Isto é, 75% da água de cristalização é removida da estrutura para obtenção do hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), conforme citam Lira *et al.* (2001) e tem como produto final o gesso em pó (BASTOS; BALTAR, 2003).

Como as demais empresas de manufatura, a qualidade é um dos objetivos principais para manter a sustentabilidade do negócio, principalmente em uma região onde a maior parte das organizações atua na comercialização do mesmo produto (gesso) e/ou serviço (mineração e logística). Diante do exposto, a presente pesquisa busca contribuir para com o campo científico, fomentando a discussão sobre a gestão da qualidade em operações de empresas do ramo de calcinação. Por outro lado, busca-se agregar informações à literatura sobre a avaliação da eficiência geral dos equipamentos utilizados no processo das calcinadoras, como forma de melhoria contínua.

Portanto, definiu-se como problemática da pesquisa: como a avaliação da eficiência geral do equipamento pode contribuir para com a gestão da qualidade, em uma empresa de gesso?. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a relação entre o indicador *Overall Equipment Effectiveness* e a gestão da qualidade, em uma empresa calcinadora de gesso localizada em Trindade/PE.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, os principais conceitos acerca da temática pesquisada são apontados. Isto é, definições e direcionamentos teóricos sobre a eficiência global de equipamento ou *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e ainda acerca da gestão da qualidade são apresentados.

2.1 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

A eficiência global dos equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness*) popularizou-se em meados dos anos 1980, com o intuito de identificar as origens das perdas de produção para que fosse possível analisar e promover melhorias (POUND; BELL; SPEARMAN, 2015). Em consonância com os autores anteriores, Slack *et al.* (2013) afirmam que a OEE é um método que verifica a eficácia da capacidade em relação a suas perdas e que, a partir deste conceito avalia o desempenho com base em três parâmetros:

- i. Disponibilidade (*a*): o tempo no qual o equipamento está disponível para operação. Esse índice considera as paradas não planejadas em comparação com as que foram planejadas. Essa variável pode ser reduzida por perdas causadas por falhas da máquina e, às vezes, mudanças ou configuração do equipamento. Uma pontuação de disponibilidade de 100% significa que o processo está sempre em execução durante o tempo de produção planejado;
- ii. Desempenho (*p*): a velocidade, ou taxa de processamento, do equipamento. Representa a eficiência geral da produção. Esse valor pode ser interferido quando se tem a redução da velocidade da máquina, quebras internas e outros eventos não planejados que reduzem a eficiência da máquina. Um desempenho de 100% indica que quando o processo está em execução, ele está sendo executado o mais rápido possível;
- iii. Qualidade (*q*): a qualidade do produto ou serviço que produz. Consideram, nesse sentido, os defeitos (incluindo retrabalho). Um índice de qualidade de 100% indica que não há defeitos, ou seja, apenas peças boas estão sendo produzidas.

Com base nestes três parâmetros é realizado o cálculo, por meio do produto dos índices referentes a Disponibilidade (tempo), Desempenho (ou velocidade) e Qualidade. Conforme Nakajima (1989), um OEE de 85% deve ser objeto de meta ideal para os equipamentos da empresa. O OEE é calculado seguindo a fórmula 1:

$$OEE = a \times p \times q \quad (1)$$

Onde *a* = taxa de disponibilidade, *p* = taxa de desempenho operacional, *q* = taxa de qualidade do produto ou serviço. A Figura 1 ilustra o cálculo para encontrar cada parâmetro. Para que o equipamento opere de forma eficaz, ele precisa alcançar altos níveis de desempenho nessas três dimensões.

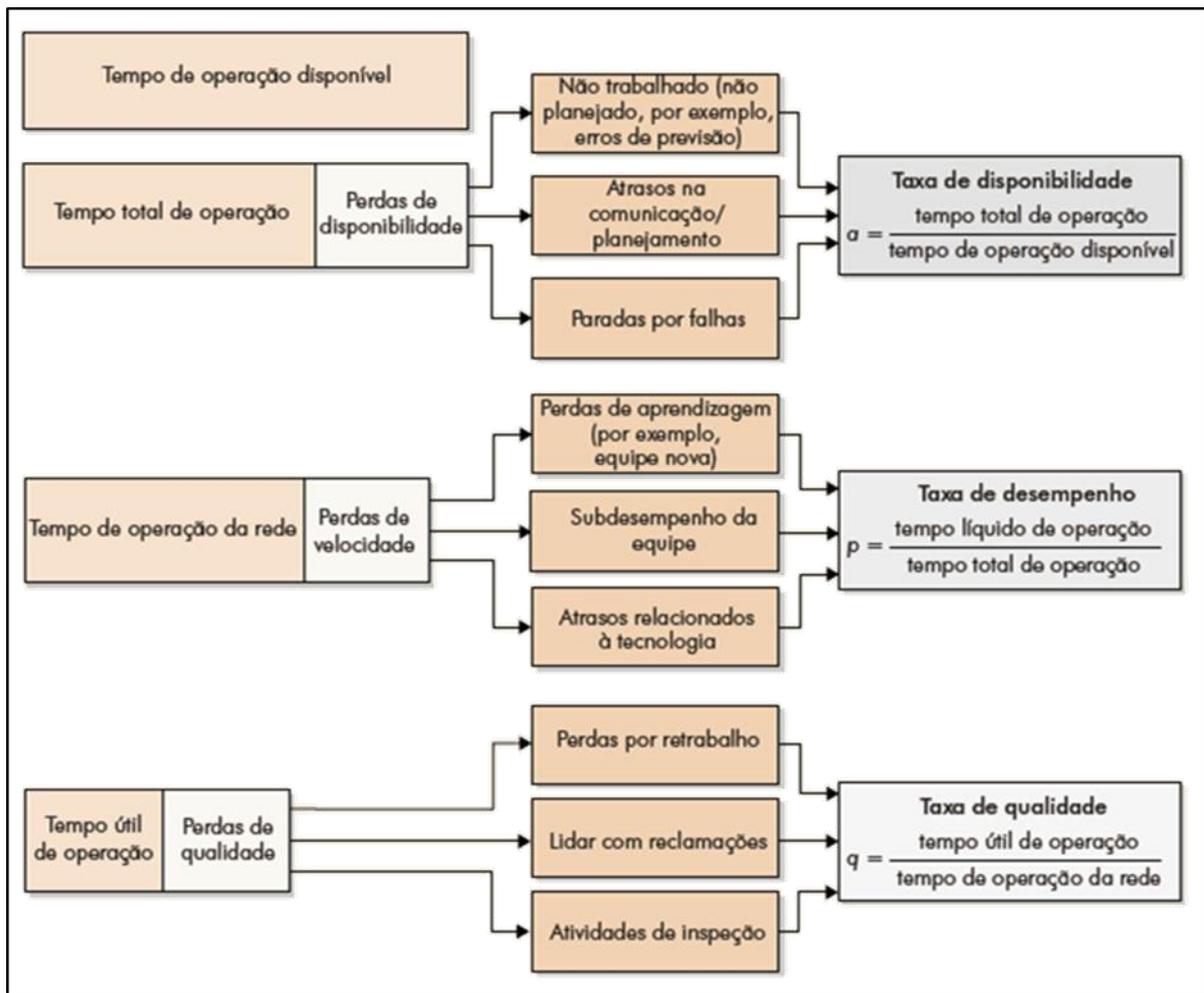


Figura 1 - Eficiência global dos equipamentos (OEE)
 Fonte: Slack *et al.* (2013).

Nesse contexto, seguindo o ponto de vista de Hansen (2006) o resultado global da eficiência pode ser classificado seguindo os níveis:

- Abaixo de 65%: considera-se um índice inaceitável e devem ser tomadas ações imediatamente;
- Entre 65% e 75%: considerado bom ou adequado, com necessidade de melhoria;
- De 75% a 85%: muito bom o que demonstra capacidade de atingir o nível mundial.

Conforme apresentado na Figura 1, nota-se que a taxa de disponibilidade representa a relação entre tempo total de operação e o tempo de operação disponível. Para essa razão, observam-se como entrada as perdas por paradas por falhas e/ou atrasos no planejamento. Por outro lado, o índice de desempenho pode ser relacionado com o tempo líquido de operação e o tempo total de operação. Esse valor vai ser influenciado, sobretudo, por perdas de velocidade.

Por fim, não menos importante, o valor da taxa de qualidade vai ser relacionado com o tempo útil de operação e o tempo de operação da rede. A razão dessa métrica é influenciada, por exemplo, por retrabalho e ainda por atividades de inspeção, como cita Slack *et al.* (2013).

Segundo Santos (2018), quando se analisa cada parâmetro separadamente, ressalta que mesmo a medição de cada indicador de forma individual, sendo importante para o desempenho da planta, não fornecem uma imagem completa da eficácia global da máquina. Para Kumar, Varambally e Rodrigues (2012) somente é perceptível o efeito combinado das três medidas calculado pela multiplicação dos três indicadores individuais.

Sendo assim, o indicador OEE revela-se de suma importância, pois a partir do seu resultado é possível verificar o desempenho local por meio dos parâmetros acima citados. Santos (2018) conclui que tais métricas ajudam a avaliar a efetividade da empresa e estimam a produtividade com base nas perdas que ocorrem dentro do processo.

2.2 Gestão da Qualidade

Para Garvin (1992), a qualidade pode ser entendida de diferentes aspectos a partir da percepção de cada indivíduo, em que pode segundo o mesmo pode ser descrita de 5 perspectivas diferentes:

- A Visão Transcendental: a qualidade é algo que pode ser reconhecer, mas não definida;
- A Visão Do Usuário: a qualidade é adequação ao propósito pretendido;
- A Visão Da Produção: a qualidade é a conformidade com a especificação;
- A Visão Do Produto: a qualidade está relacionada às características inerentes ao produto.

Nesse contexto, outros estudiosos passaram a trazer suas próprias definições de qualidade. Segundo Falconi (2004), um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente. Portanto, em outros termos pode-se dizer: projeto perfeito, sem defeitos, baixo custo, segurança do cliente, entrega no prazo certo no local certo e na quantidade certa. Para Moreira (2011) a qualidade é traduzida normalmente como um atributo intrínseco aos produtos e/ou serviços, mas pode referir-se a tudo que é feito pelas pessoas também.

Por outro lado, na visão de Deming (1990) a qualidade pode ser definida conforme as exigências e as necessidades do consumidor. Como elas estão em permanente mudança, às especificações de qualidade devem ser alteradas constantemente. O autor ainda salienta que não é suficiente apenas cumprir as especificações, mas devem-se utilizar os instrumentos de controle de qualidade, em vez da mera inspeção de produtos.

Do ponto de vista técnico, o termo qualidade pode ser traduzido em três vertentes, de acordo com a Sociedade Americana de Qualidade, sendo:

- Baseada nas percepções do cliente sobre o *design* de um produto/serviço e quão bem o mesmo corresponde às especificações originais;
- A capacidade do produto/serviço de satisfazer as necessidades declaradas ou implícitas;
- Pautada na conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos em uma organização.

Nesse contexto, o sucesso nos negócios pode ser entendido como uma consequência da capacidade que a organização tem de produzir um produto e/ou serviço de qualidade mais alta do que seus concorrentes são capazes de fazer, com um preço competitivo (SANTOS, 2019a). Em síntese, o conceito de qualidade trazidos pelos estudiosos da área estão sempre ligados a percepção do cliente, em atender as expectativas, necessidades, anseios dos consumidores, de modo a proporcionar a satisfação almejada (TAKALO *et al.*, 2013; SANTOS, 2019b).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Natureza metodológica

Considerando o aspecto metodológico deste estudo, o mesmo pode ser enquadrado como pesquisa de natureza exploratória. Nesse caso, Gil (2009, p. 41) afirma que esse tipo de análise busca “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses”. Além disso, a abordagem indicada pelo artigo caracteriza-se como um estudo de caso. Yin (2005) cita que abordagens dessa natureza são indicadas, em especial, para realizar análise e/ou investigação acerca de um conjunto de eventos contemporâneos, dentro de um contexto real.

3.2 Fases da pesquisa

- a. Apresentação e discussão acerca da proposta de análise de eficiência: inicialmente, foi discutido junto à gestão da calcinadora, a importância de analisar a eficiência de equipamentos por meio da aplicação do OEE no processo produtivo; dúvidas foram esclarecidas e os objetivos e a metodologia foram definidos;
- b. Definição dos equipamentos: os equipamentos escolhidos para submissão à análise foram: o britador de mandíbula (equipamento 01), o moinho AT05 (equipamento 02) e a máquina de ensaque (equipamento 03). Para escolha do maquinário, observou-se o histórico de manutenção, isto é, os equipamentos com maior registro de defeitos nos últimos cinco (5) anos. Além da contribuição do equipamento para com a linha de produção;
- c. Obtenção de dados: por meio de coleta, *in loco*, os dados primordiais para os cálculos dos três índices foram registrados e adicionados em uma planilha. Os dados foram coletados entre os meses de janeiro e março de 2020. Para tal, considerou-se os registros internos da empresa, isto é, relatórios extraídos do sistema de gestão local (*software*), com informações sobre: históricos de manutenção, paradas na linha de produção, tempo programado para produção (por equipamento), número de retrabalho e volume produzido por turno. Esses dados foram tabulados e organizados conforme demanda para aplicação nas fórmulas matemáticas dos índices do OEE. Deve-se destacar que, para efeito de cálculo, os valores obtidos para cada índice foram submetidos em forma de mediana;
- d. Cálculo do *Overall Equipment Effectiveness*: de posse dos dados necessários para aplicação na fórmula matemática, os indicadores relativos a disponibilidade (a), desempenho (p) e qualidade (q) foram obtidos para cada um dos três equipamentos. Para obter o índice de disponibilidade (a) empregou-se a equação $(TPP - TPnP)/TPP$. Sendo: TPP = Tempo de produção planejado e TPnP = Tempo de paradas não planejadas. No que tange o cálculo do indicador de desempenho (p) usou-se a fórmula: $(TCU - QPP)/TP$, onde: TCU = Tempo de ciclo por unidade, QPP = Quantidade de produtos processados e TP = Tempo em produção. Para calcular a qualidade (q) utilizou-se a fórmula $(QPP - QPR)/QPP$. Onde: QPP = Quantidade de produtos processados e QPR = Quantidade de produtos de refugo. Todas essas equações foram adotadas conforme recomenda Corrêa e Corrêa (2004). Ao final, o OEE individual foi indicado, por meio do produto entre a, p e q, isto é: $OEE = a \times p \times q$;

- e. Gestão da qualidade e plano de ação: como forma de evidenciar a relação do OEE com a área de gestão da qualidade, criou-se um plano de ação com o intuito de definir atividades que guiarão a administração da calcinadora a melhorar a eficiência dos equipamentos e aprimorar estratégias de gestão da qualidade.

Assim, as etapas da metodologia da pesquisa seguiram o fluxo apresentado pela Figura 2.

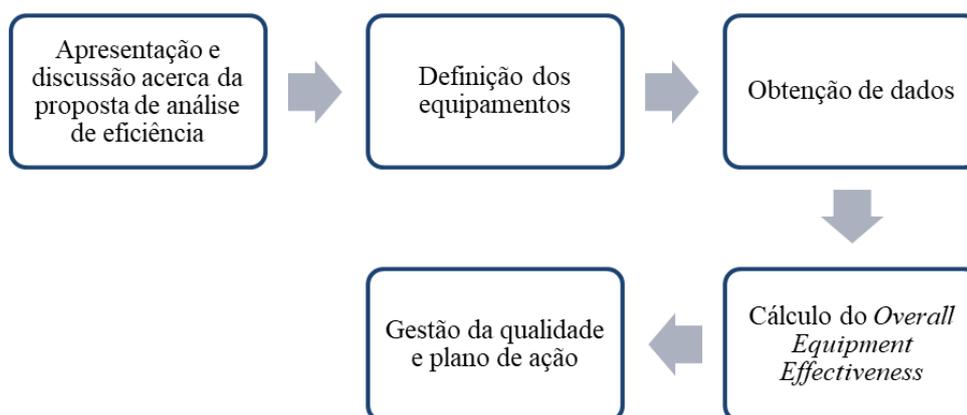


Figura 2 – Sequência de etapas da metodologia da pesquisa
Fonte: Autores (2020).

Como resultado dessa sequência de atividades da pesquisa, tem-se o plano de ação com as recomendações para a empresa avaliada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo produtivo local da calcinadora funciona em ritmo padrão de oito horas (08h00min) por dia, das quais quatro horas (04h00min) são realizadas no primeiro período, com um intervalo de 01h30min para almoço e, às quatro horas (04h00min) restantes são completadas no segundo período do dia.

O processo de produção do gesso é composto, basicamente, por seis etapas: britagem, moagem, homogeneização, calcinação, estabilização térmica e ensacamento. Na fase que compreende a britagem, tem-se a fragmentação do bloco de minério; utilizam-se, nesse processo, os britadores de mandíbulas. Na fase de moagem, o minério é submetido ao rebitador

para atendimento à granulometria padrão (definida em norma técnica). Em seguida, o material é alocado em silos para garantir a homogeneização.

Em sequência, tem-se o processo de calcinação. Basicamente, nessa atividade, há um processo no qual o objetivo é garantir a remoção da água, dióxido de carbono (CO₂), por meio do aquecimento da gipsita em fornos; desidrata-se o material. Na estabilização térmica, o gesso é armazenado em silos e, em seguida, há o ensacamento do produto acabado.

Conforme indicado anteriormente na sessão 3.2 b da metodologia, os equipamentos selecionados para avaliação estão representados como: britador de mandíbula (equipamento 01), moinho AT05 (equipamento 02) e máquina de ensaque (equipamento 03). Ressalta-se que os valores inerentes aos três índices que compõem o OEE são representados na seção 4.2 na forma de média, relativa ao período de vinte e dois (22) dias de coleta, entre janeiro e fevereiro de 2020.

4.1 Cálculo dos índices (a, p, q)

Inicialmente, o índice relacionado à disponibilidade (a) foi obtido, com as informações coletadas. Essa métrica representa o tempo que o equipamento esteve disponível para realizar a operação em comparação com a quantidade programada (TPP). Para a unidade de tempo em minuto, obteve-se:

Para o Britador de mandíbula (equipamento 01), o tempo de produção planejado (TPP) foi de 480 minutos e o tempo de paradas não planejadas (TPnP) foi igual a 65 minutos. Logo, a disponibilidade do equipamento pode ser obtida conforme:

$$a1 = (TPP - TPnP)/TPP$$

$$a1 = (480 - 65) / 480$$

$$a1 = 86,46\%$$

Para o moinho AT05 (equipamento 02), registrou-se o TPP igual a 480 minutos e, por outro lado, o TPnP foi de 71 minutos. Por isso, o indicador de disponibilidade desse equipamento foi igual a:

$$a2 = (TPP - TPnP)/TPP$$

$$a2 = (480 - 71) / 480$$

$$a2 = 85,21\%$$

Para máquina de ensaque (equipamento 03), observou-se 480 minutos de produção planejada em comparação com 53 minutos de tempo de paradas que não foi planejado, sendo:

$$a3 = (TPP - TPnP)/TPP$$

$$a3 = (480 - 53) / 480$$

$$a3 = 88,96\%$$

Em relação ao índice de desempenho (p), tem-se a relação entre perdas e o volume a ser produzido dentro do período especificado pelo setor, considerando o Tempo de Ciclo por Unidade (TCU), a Quantidade de produtos processados e o Tempo em produção. O TCU é calculado seguindo a relação: $TCU = \text{tempo de produção}/\text{quantidade produzida}$ no tempo de produção. Logo, os seguintes valores foram notados:

Para o Britador de mandíbula (equipamento 01), o Tempo de Ciclo por Unidade (TCU) foi igual a 45 minutos; a quantidade de produtos processados (QPP) igual a 13 unidades e o tempo em produção (TP) sendo 55 minutos. Portanto, o índice de desempenho foi calculado como:

$$p1 = (TCU - QPP)/TP$$

$$p1 = (45 - 13)/55$$

$$p1 = 58,18\%$$

Para o moinho AT05 (equipamento 02), notou-se a mediana para o TCU como sendo igual a 41 minutos; a QPP igual a 23 unidades e o TP correspondente a 50 minutos. O índice de disponibilidade para o moinho foi, nesse caso, igual a:

$$p2 = (TCU - QPP)/TP$$

$$p2 = (41 - 23)/50$$

$$p2 = 36,00\%$$

Para máquina de ensaque (equipamento 03), calculou-se a mediana dos valores de TCU como sendo 25 minutos; a quantidade de produtos igual a 9 e o tempo em processo como 22 minutos. Logo:

$$p3 = (TCU - QPP)/TP$$

$$p3 = (25 - 9)/22$$

$$p3 = 72,72\%$$

Por fim, mas não menos importante, notou-se o índice associado à qualidade (q), que envolve o número total de itens produzidos em conformidade, em comparação com o número total produzido, sendo definido como:

Para o Britador de mandíbula (equipamento 01), a quantidade de produtos processados (QPP) foi igual a 2351 unidades; a quantidade de produtos de refugo (QPR) como sendo 125 unidades. Logo, o índice de qualidade foi obtido conforme cálculo abaixo:

$$q1 = (QPP - QPR)/QPP$$

$$q1 = (2351 - 125) / 2351$$

$$q1 = 94,68\%$$

Para o moinho AT05 (equipamento 02), registrou-se 2250 unidades processadas e 365 como itens refugados, dando o valor de qualidade correspondente a:

$$q2 = (QPP - QPR)/QPP$$

$$q2 = (2250 - 365)/2351$$

$$q2 = 83,78\%$$

Para máquina de ensaque (equipamento 03), tem-se 2100 unidades de produtos processados (QPP) versus 364 itens enquadrados como refugo (QPR). Assim, obtém-se:

$$q3 = (QPP - QPR)/QPP$$

$$q3 = (2100 - 364) / 2100$$

$$q3 = 65,33\%$$

O valor final da eficiência global (OEE), para cada equipamento, é definido em função do resultado do produto entre os três índices (a, p e q), sendo calculado pela fórmula:

$$OEE = a \times p \times q$$

Logo, todos os valores do OEE, para cada equipamento, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valor do OEE por equipamento

Equipamento	a (%)	p (%)	q (%)	OEE (%)	Critério
1	86,46	58,18	94,68	47,63	Não aceitável
2	85,21	36,00	83,78	25,70	Não aceitável
3	88,96	72,72	65,33	42,26	Não aceitável
Média	86,88	55,63	81,26	-	-

Fonte: Autores (2020).

Verifica-se, a partir dos resultados expostos na Tabela 2, que todos os equipamentos obtiveram valor do OEE abaixo de 65,0% o que os classifica como não aceitáveis quando comparados com parâmetros indicados pela literatura. A avaliação do OEE, em relação ao critério de aceitação, baseou-se nas faixas de valores recomendadas por Hansen (2006).

De acordo com o autor, quando o valor do OEE está abaixo de 65%, considera-se um índice inaceitável e devem ser tomadas ações imediatamente. Caso o índice esteja na faixa entre 65 e 75%, enquadra-se como bom ou adequado, porém com necessidade de melhoria. Caso se obtém um OEE entre 75 a 85%, indica-se como muito bom, o que demonstra capacidade de atingir o nível mundial.

Esses valores são visualmente representados pela Figura 2 abaixo.

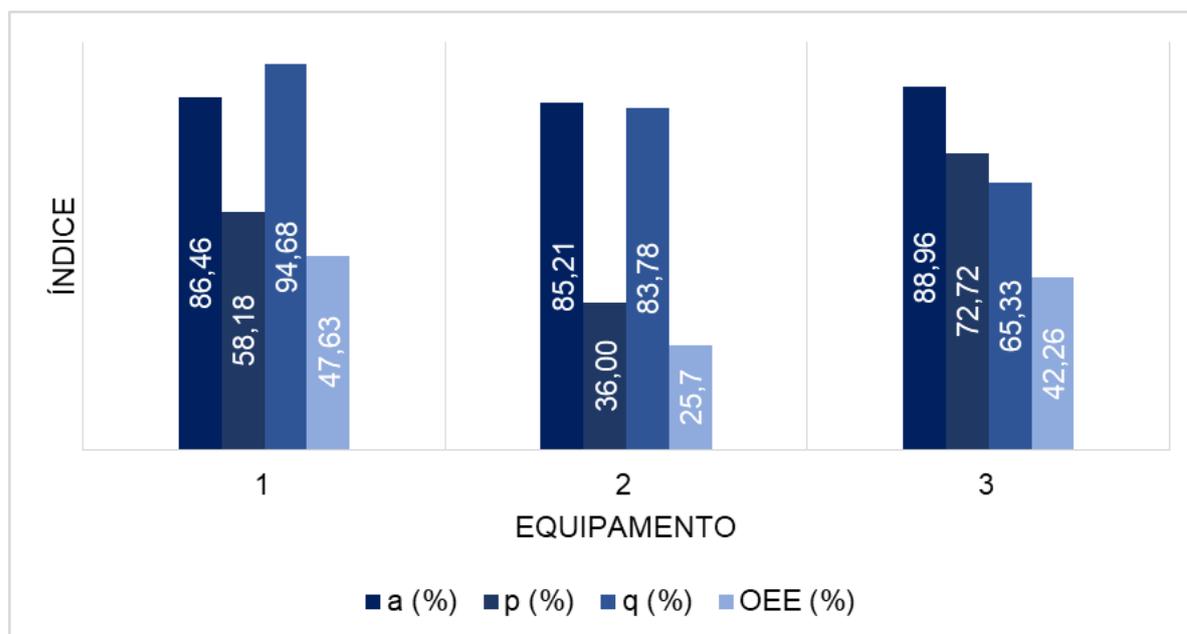


Figura 2 – Dados OEE obtidos por equipamento
Fonte: Autores (2020).

Nota-se, por meio dos indicadores do OEE, que o britador de mandíbulas (equipamento 1) é o que possui maior valor do índice de eficiência geral, com 47,63%. Essa máquina está localizada no início do processo e sua principal função é reduzir o tamanho dos blocos de gipsita, em termos de granulometria, para atendimento aos padrões técnicos exigidos. Nesse caso, tem-se um equipamento que possui papel fundamental no que tange o ritmo de produção, uma vez que qualquer parada acarreta em menores níveis de insumo para o processo de calcinação.

O equipamento, o moinho modelo AT05, é empregado com o intuito de tornar a granulometria do minério adequada quanto à sua finalidade, especificada pela norma NBR 12127:2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Esse equipamento, assim como o britador de mandíbula, é essencial para manter o ritmo de produção, pois ele alimenta os silos de armazenamento com o gesso em pó, para posterior ensaue. Por isso o controle acerca da disponibilidade do equipamento é crucial para manter a produção em atividade. O OEE do moinho foi o mais baixo, com 25,70%, o que indica que ações pontuais nesse equipamento devem ser executadas, com vistas a elevar o indicador em termos não apenas de disponibilidade, mas de desempenho e qualidade.

No equipamento 3, a máquina de ensaue, o baixo valor no indicador de qualidade contribuiu para que o OEE geral mantivesse em um patamar não considerável. A qualidade no processo de ensaue é atribuída em grande parte a habilidade do operador, que muitas vezes não é treinado para a função. Além disso, a atividade de ensaue está localizada no final da linha de produção, sendo apenas sucedida pelo processo de empilhamento e armazenamento. Em detrimento dessa natureza operacional, o ensaue e a máquina utilizada para tal deve ser verificado de modo que atendam a um melhor funcionamento e garanta a qualidade do processo.

4.2 Informações de entrada (*input*) para a gestão da qualidade

Do ponto de vista da disponibilidade, que associa o tempo de execução e o tempo planejado da produção, consideram-se todos os tempos de inatividade que o processo local enfrenta durante o período em que deveria estar em execução, como planejado. Nesse caso, pode ocorrer ao longo da operação, paradas não planejadas que deriva de vários fatores, como a falha própria do equipamento ou ainda a falta de insumos para produção (que no caso da calcinadora é, em grande parte, o minério de gipsita). Do mesmo modo que podem ser registradas paradas planejadas causadas pela troca de ferramenta, em alguns casos. Quando relacionados, tem-se o chamado de tempo de execução ou disponibilidade.

São pontos a serem observados no caso de (a), comum a todos os equipamentos:

- Ausência de Manutenção preventiva e/ou preditiva;
- Avarias prolongadas nos equipamentos;
- Troca de ferramental;
- Indisponibilidade de material (Gipsita);
- Indisponibilidade do operador;

- Interrupções ou paradas da planta;
- Programação de limpeza.

Ademais, quando observado o indicador de desempenho, tem-se em consideração qualquer ação que possa ser capaz de reduzir a velocidade da fabricação ao nível menor que a velocidade máxima da máquina, incluindo pequenas paradas. No caso da calcinadora, observam-se os seguintes gargalos do processo que afetam (p):

- Obstruções ao fluxo do produto (comum a todos os equipamentos);
- Sensores incorretos (equipamentos 1 e 3);
- Desgaste do equipamento (equipamentos 2 e 3); e
- Falta de treinamento ou ineficiência do operador (equipamento 2).

Quando se trata do indicador de qualidade, envolvem-se os itens fabricados durante o processo de produção e observa-se a perda de qualidade, que se traduz como o produto que não atendeu aos padrões de qualidade e possui algum defeito que demanda retrabalho para adequação. O fator de qualidade leva em consideração todos os itens processados, atendendo ou não aos padrões de qualidade. O (q) no caso em avaliação, pode ser minimizado por:

- Ausência de ferramentas de produção enxuta (comum a todos os equipamentos);
- Mapeamento do processo com déficit de informação (comum a todos os equipamentos); e,
- Controle de refugo por turno (equipamento 2).

Os dados obtidos com o cálculo do OEE podem ser empregados como input para ações de melhoria no processo local. Ou seja, servem de base para direcionar a gestão da empresa no que tange a gestão da qualidade, por exemplo. Na calcinadora, a eficiência do maquinário, assim como em outras organizações industriais, desempenha um papel relevante, uma vez que pode minimizar o desperdício por baixa e/ou falta de qualidade e ainda para alcançar maior produtividade de modo geral. Por isso, essa análise de eficiência global do equipamento pode ser interpretada como uma oportunidade importante para a organização evoluir em termos de efetividade e excelência das suas operações.

Com destaque para o porte da empresa, o controle de eficiência do equipamento desempenha um papel importante para diminuir o número de refugo e ainda obter maior produtividade. Isso é particularmente significativo no contexto dinâmico das Pequenas e Médias Empresas (PME), onde os equipamentos industriais com alta confiabilidade e desempenho são componentes primordiais para aumentar a performance e a lucratividade do sistema de fabricação. Em outras palavras, a OEE é um método de avaliação de desempenho alternativo e analítico para as PME.

Fundamentando-se nas informações observadas e no contexto das operações das calcinadoras, estabeleceu-se como meta para o OEE dos equipamentos, o valor de setenta por cento (70%), a ser alcançada até o final do primeiro semestre de 2020, conforme Figura 3.

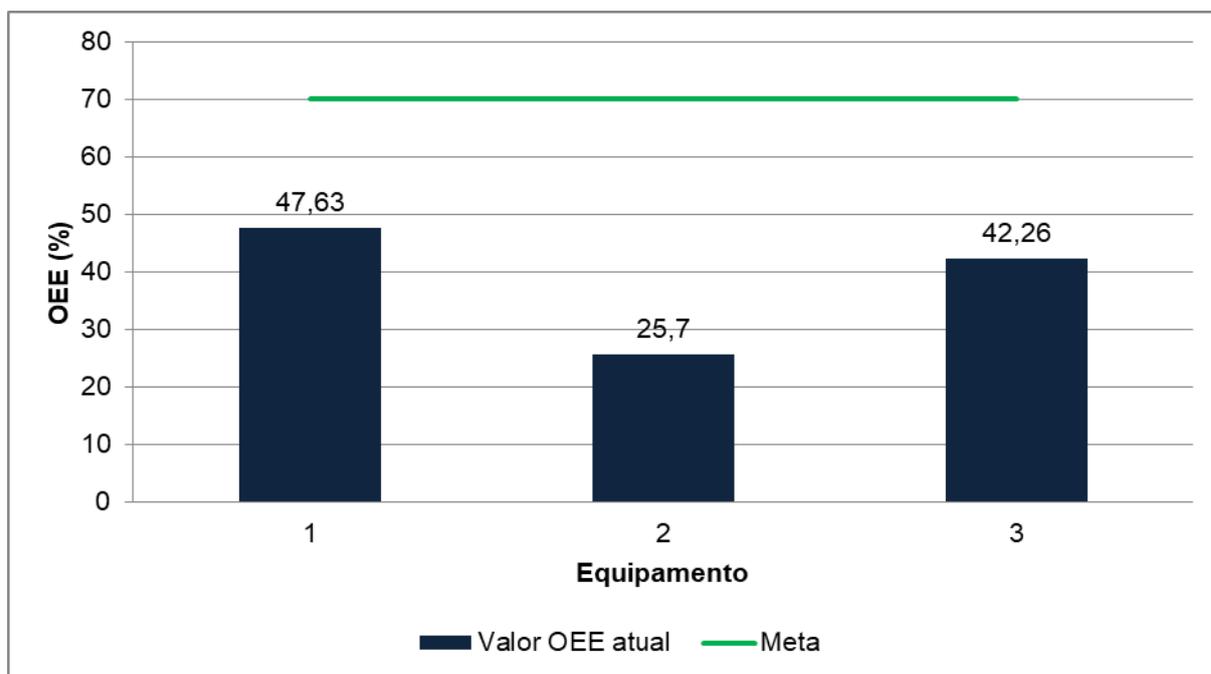


Figura 3 – Meta *versus* valor real
Fonte: Autores (2020).

A literatura indica que acima de 65% pode-se classificar o OEE como aceitável. Isto posto, o valor de 70,00% foi definido como uma projeção linear, de modo que todos os equipamentos analisados nesse estudo possam atingi-lo e mantê-lo igual ou acima desse nível, considerando desvio padrão para mais ou para menos. Para que isso seja possível, o plano de ação foi elaborado.

4.3 Plano de ação

Uma das ferramentas tradicionais atreladas à gestão da qualidade é o plano de ação. Trata-se de um documento lista as atividades que devem ser realizadas para concluir um objetivo ou projeto. No plano são descritos quais recursos são necessários para atingir o objetivo, o motivo, de que modo e quem realizará e qual será o prazo para tal. Logo, um plano de ação foi definido, conforme apresentado no Quadro 1.

O quê (<i>What</i>)	Por quê (<i>Why</i>)	Onde (<i>Where</i>)	Quem (<i>Who</i>)	Quando (<i>When</i>)	Como (<i>How</i>)
Estratificar tempo gasto por equipamento em paradas não planejadas (PnP)	Melhorar o índice de disponibilidade (a)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 30 dias	Observação documentada em planilhas, para cada equipamento
Programar aquisição de insumo (gipsita)	Melhorar o índice de disponibilidade (a)	Produção	Supervisor de Produção (SP) e setor financeiro	Em até 30 dias	Elaborar plano mestre de produção
Implementar manutenção preditiva	Aumentar o índice de disponibilidade (a) e evitar paradas para manutenção corretiva	Manutenção	Supervisor de Manutenção (SM)	Em até 60 dias	Treinamento de equipe de manutenção e Tecnologia da Informação (TI)
Garantir a disponibilidade do operador	Melhorar o índice de disponibilidade (a)	Produção	Supervisor de Produção (SP) e setor recursos humanos (RH)	Em até 60 dias	Por meio de escala de trabalho/jornada escalonada
Detectar perdas por falta de treinamento dos funcionários	Melhorar o índice de desempenho (p)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 45 dias	Observação individual (por funcionário) <i>versus</i> número de refugo médio
Conscientizar equipe sobre o mau uso de equipamentos	Aumentar o índice de desempenho (p)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 10 dias	Capacitação sobre operação de máquinas.

Realizar manutenção nos sensores	Aumentar o índice de desempenho (p)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 20 dias	Manutenção corretiva
Analisar impacto do refugo no OEE	Aumentar o índice de qualidade (q)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 30 dias	Estratificar e registrar quantidade de refugo por equipamento
Executar e revisar o mapeamento do processo	Aumentar o índice de qualidade (q)	Produção	Supervisor de Produção (SP)	Em até 50 dias	Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor - MFV

Quadro 1 – Plano de ação
Fonte: Autores (2020).

Com os dados do OEE utilizados como entrada ao processo de gestão da qualidade, o principal produto está na consolidação da competitividade, traduzida pela obtenção de melhor gestão de custos, melhoria no prazo de entrega e assim por diante, adquirindo a chamada vantagem competitiva. No entanto, as vantagens surgem apenas quando as máquinas são capazes de executar as operações com alta eficiência. Por isso, analisar e controlar o OEE são fundamentais para incorporar políticas de qualidade na empresa.

De modo geral, com as ações pontuadas no Quadro 1, pode haver um incremento positivo da taxa de qualidade indicada pelo OEE. Isso se dá devido ao fato de que fatores como refugo e retrabalho, podem reduzir os custos do produto e acarretar na baixa capacidade de processamento local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista do objetivo proposto pelo trabalho, seus alcances foram atingidos. Assim, teve-se a oportunidade de avaliar a relação entre o indicador *Overall Equipment Effectiveness* e a gestão da qualidade, em uma empresa calcinadora de gesso localizada em Trindade/PE. Essa pesquisa reforça o fato de que a eficiência geral do equipamento (OEE) comporta-se como uma metodologia pertinente no campo de gestão, uma vez que é capaz de avaliar com que eficiência a operação está sendo executada. Isso posto, o OEE auxilia os

gestores a detectar problemas nas operações locais, identificando, por exemplo, qual porcentagem do tempo de fabricação é realmente produtiva e com isso poder corrigir.

Do ponto de vista dos resultados obtidos, de modo geral, notou-se, por meio dos indicadores do OEE, que o britador de mandíbulas (equipamento 1) é o que possui maior valor do índice de eficiência geral, com 47,63%. Por outro lado, o equipamento, o moinho modelo AT05, é empregado com o intuito de tornar a granulometria do minério adequada quanto à sua finalidade, especificada pela norma NBR 12127:2017 da ABNT. Esse equipamento, assim como o britador de mandíbula, é essencial para manter o ritmo de produção, pois ele alimenta os silos de armazenamento com o gesso em pó, para posterior ensaque.

Entretanto, o OEE do moinho foi o mais baixo, com 25,7%, o que indica que ações pontuais nesse equipamento devem ser executadas, com vistas a elevar o indicador em termos não apenas de disponibilidade, mas de desempenho e qualidade. No equipamento 3, a máquina de ensaque, o baixo valor no indicador de qualidade contribuiu para que o OEE geral mantivesse em um patamar não considerável, sendo igual a 42,26%. A qualidade no processo de ensaque é atribuída em grande parte a habilidade do operador, que muitas vezes não é treinado para a função.

Nesse sentido, analisar e controlar o OEE são fundamentais para incorporar políticas de qualidade na empresa. Por isso, de modo geral, com as ações pontuadas no plano de ação formulado, pode haver um incremento positivo da taxa de disponibilidade, desempenho e qualidade indicada pelo OEE.

Por fim, como limitação principal do estudo tem-se a quantidade de equipamentos analisados. O processo de calcinação conta com outros equipamentos, que podem ser submetidos à avaliação de eficiência. Neste caso, como estudos futuros, indica-se a avaliação de outros maquinários da calcinadora e a avaliação dos indicadores do OEE após a execução do plano de ação. Além disso, sugere-se que ferramentas *Lean* possam ser integradas ao OEE de modo que compartilhem as vantagens de uma metodologia híbrida e com isso melhores resultados seja observado em longo prazo.

REFERÊNCIAS

ARAVINTHKUMAR, A.; SATHISHKUMAR, K.; RAJENTHIRAKUMAR, D. Embellishing TPM through facilitating OEE in a sustainable manufacturing concern. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, Rajasthan, v. 6, n. 9, 2016.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.

BASTOS, F. F.; BALTAR, C. A. M., Avaliação dos processos de calcinação para produção de gesso Beta. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 43. 2003. Belo Horizonte. **Anais[...]**. Belo Horizonte, 2003.

BORKOWSKI, S. *et al.* Application of TPM indicators for analyzing work time of machines used in the pressure die casting. **Journal of Industrial Engineering International**, Berlin, v. 10, p. 1-9, 2014.

CÂNDIDO, A. K. B.; SANTOS, D. L. C. S.; CLEMENTE, T. R. N. Utilização do modelo ECD para a identificação dos agentes integradores da cadeia de suprimentos do APL de gesso pernambucano. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais[...]**. Maceió, 2018.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produções e operações**. São Paulo: Atlas, 2004.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Saraiva, 1990.

FALCONI, V. F. **TQC Controle da Qualidade Total**. 8ªed. INDG TecS, Nova Lima, RJ, 2004.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1992.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 175 p.

HANSEN, R. C. **Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

KUMAR, P.; VARAMBALLY, K. V. M.; RODRIGUES, L. L. R. A Methodology for implementing total productive maintenance in manufacturing industries: a case study. **International Journal of Engineering Research and Development**, Indianapolis, v. 5, n. 2, p. 32-39, 2012.

LIRA, A. C. P. L.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. R. A. **Gipsita**, Balanço Mineral Brasileiro, DNPM/PE, 2001.

MACHADO, W. R. B.; SANTOS, P. V. S. Mensuração da capacidade do processo de beneficiamento de uva de mesa em um *packing house*: estudo de caso em uma empresa no Vale do São Francisco. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 10, p. 01-15, 2020.

MAHMOOD, W. H. W.; ABDULLAH, I.; FAUADI, M. H. F. M. Translating OEE measure into manufacturing sustainability. **Applied Mechanics and Materials**, Bächau, v. 761, p. 555-559, 2015.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 624 p.

NAKAJIMA, S. **TPM development program**: implementing total productive maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1989.

POUND, E. S.; BELL, J. H.; SPEARMAN, M. L. **A ciência da fábrica para gestores**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 393 p.

SANTOS, P. V. S. A introdução de tecnologias a favor da eficiência em operações logísticas: um estudo de caso no setor de serviços. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 55-68, 2019a.

SANTOS, P. V. S. Aplicação do indicador overall equipment effectiveness (OEE): um estudo de caso numa retífica e oficina mecânica. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 4, n. 3, p. 1-18, 2018.

SANTOS, P. V. S. Aplicação do overall equipment effectiveness no sistema produtivo de uma vinícola. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 10, p. 01-14, 2020.

SANTOS, P. V. S. Previsão da demanda como suporte à filosofia *lean*. **Exacta**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 226-243, 2019b.

SANTOS, P. V. S.; FERRAZ, A. V.; SILVA, A. C. G. C. Utilização da ferramenta mapeamento de fluxo de valor (MFV) para identificação de desperdícios no processo produtivo de uma empresa fabricante de gesso. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 19, n. 4, p. 1197-1230, 2019.

SANTOS, P. V. S.; SILVA, E. C. da. Gestão estratégica da qualidade aplicada à redução de devoluções. **Navus - Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 30-48, 2019.

SLACK, N. *et al.* **Gerenciamento de operações e de processos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 557 p.

SOUSA, J. E.; COELHO, R. O.; CLEMENTE, T. R. N. Nível de maturidade do processo de internacionalização de empresas do APL de gesso pernambucano: um estudo multicase. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais[...]**. Maceió, 2018.

TAKALO, S. K. *et al.* Fuzzy failure analysis: a new approach to service quality analysis in higher education institutions. **International Education Studies**, Sydney, v. 6, n. 9, p. 93-106, 2013.

YIN. R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

DADOS DOS AUTORES

Pedro Vieira Souza Santos

E-mail: pedrovieirass@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8798953209525512>

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco e graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Vale do São Francisco e graduação adjunta em DUT Mesures Physiques no Institut Universitaire de Technologie de Blois - IUT/ Université François-Rabelais. Tem interesse nos temas: Lean Manufacturing, Otimização de Processos Produtivos, Gestão ambiental, Logística e Educação em Engenharia de Produção.

Lucas di Paula Gama dos Santos

E-mail: dipaula_9@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2635445188752374>

Especialização em Gestão logística pela Faculdade São Francisco de Juazeiro e graduação em Engenharia de Produção pelo Universidade Federal do Vale do São Francisco - *Campus Juazeiro*. Interesse nas áreas de planejamento energético, planejamento e controle da produção, higiene e segurança do trabalho, melhoria de processos produtivos, logística, gestão de serviços, Lean Manufacturing, planejamento Estratégico, docência no ensino superior, Marketing e gestão de projetos, tanto atuando, quanto desenvolvendo projetos.