

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

GUSTAVO ADAMI

**INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO:
UMA ANÁLISE NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

**São Leopoldo
2015**

Gustavo Adami

**INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO:
UMA ANÁLISE NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roehé Vaccaro

São Leopoldo

2015

A198i Adami, Gustavo
Indicadores de eficiência de produção: uma análise na indústria petroquímica / Gustavo Adami. – 2015.
126 f. : il. ; color. ; 30cm.

Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2015.
Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro.

1. Engenharia de Produção. 2. Indicador - Eficiência - Produção 3. Medição de eficiência. 4. Processo contínuo. 5. Petroquímica I. Título. II. Vaccaro, Guilherme Luís Roehe.

CDU 658.5

Gustavo Adami

**INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO:
UMA ANÁLISE NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 23 de dezembro de 2015

BANCA EXAMINADORA

Pror. Dr. Gabriel Vidor, Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky, Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Profa. Dra. Debora Costa de Azevedo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos

*“Dedico às mulheres da minha vida:
minha mãe, minha esposa e minha filha”*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por eu ser uma pessoa tão abençoada.

À minha amada esposa Rafaela, que nos momentos mais importantes e difíceis de nossas vidas teve de abdicar, por diversas vezes, da minha companhia e do meu auxílio. Agradeço a uma pessoa que entrou em minha vida há apenas 5 meses e já tanto me ensinou, minha filha Martina, desculpe-me pelas horas que estive ausente e obrigado por me mostrar a forma de amor mais linda e pura que existe no mundo.

Agradeço à minha mãe, a Dona Lourdes, que dedicou toda sua vida para proporcionar aos filhos a melhor condição possível para prosperarem. Agradeço aos meus irmãos Grasiela e Rafael, por serem grandes amigos e meus maiores exemplos de perseverança. Agradeço também ao meu pai, que nos deixou muito cedo, e mesmo com o pouco tempo de convívio, transmitiu os valores necessários para transformar seus filhos em pessoas de bem. Outra pessoa que também me deixou cedo foi a nona Thereza, que com sua simplicidade me proporcionou grandes ensinamentos. Agradeço ao meu sogro Renato, minha sogra Lourdes e à minha cunhada Angélica, que me acolheram em sua família, além de serem grandes pessoas que souberam me auxiliar ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Guilherme Luís Roehe Vaccaro, que além de excelente orientador, foi um grande amigo que encontrei ao longo desta jornada. A sua disponibilidade e conhecimentos transmitidos foram fundamentais para a concretização desta pesquisa durante as intermináveis horas de orientação. A maneira na qual me conduziu, dando-me total liberdade e confiando no meu potencial, desde o início do mestrado, motivou-me a não desistir.

Agradeço também ao corpo docente do PPGEPS/UNISINOS por todos os grandiosos ensinamentos adquiridos ao longo da minha trajetória neste Mestrado. Agradeço em especial à Coordenação do curso, representada pelo prof. Dr. Miguel Afonso Sellito e à Secretária Lilian Amorim.

À empresa na qual eu trabalho, em especial aos meus gestores o Sr. Antônio Carlos Gautério da Silva e o Sr. Egon Filter, por terem me possibilitado a realização do Mestrado, através de aporte financeiro e das horas de trabalho nas quais pude me dedicar às aulas e pesquisas.

Aos meus amigos que fiz ao longo do mestrado, em especial o Fabrício, Rafael e Thiago, pela convivência e troca de conhecimentos que foi proporcionada pela nossa companhia. Espero ainda contar com vocês para muitas cervejas e trocas de experiências.

Por fim, agradeço aos meus amigos, que em muitos momentos me ajudaram na realização deste trabalho, motivando-me para terminá-lo. Tenho certeza que a minha ausência nos últimos meses será esquecida nos próximos momentos de comemoração com muita festa, alegria e cerveja.

*Quanto mais aumenta nosso conhecimento,
mais evidente fica nossa ignorância.*

John Fitzgerald Kennedy

RESUMO

Características existentes no processo de produção da indústria de fluxo contínuo, particularmente a petroquímica, requerem que a medição de eficiência inclua características diferentes da indústria de produção intermitente, tais como a maneira de quantificação dos produtos finais e a natureza das perdas que são consideradas no cálculo da eficiência de produção. Indicadores de eficiência global de produção tipicamente são derivados do OEE (*Overall Effective Equipment*), proposto por Nakajima (1988) para a indústria de produção intermitente e, por vezes, são utilizados em indústrias de produção contínua sem uma análise prévia de suas limitações. Doze indicadores identificados na literatura foram analisados e comparados com características do processo de produção da indústria petroquímica, obtidos a partir da revisão teórica e de entrevistas com profissionais e pesquisadores dessa indústria. Dessa análise identificou-se que o indicador OAE (*Overall Asset Efficiency*) apresenta maior aderência em relação à classificação de perdas e às características do processo de manufatura da indústria petroquímica. Os resultados de eficiência global de produção obtidos através da utilização do OAE foram confrontados com os provenientes do OEE e do TEEP (*Total Effective Equipment Productivity*), com base em dados reais de uma empresa localizada no Pólo Petroquímico do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos através do cálculo de eficiência utilizando o indicador selecionado OAE, se mostraram mais descritivos da realidade da empresa quando comparados com aqueles atualmente utilizados. Outras práticas que geram interferências sobre o cálculo do OEE também foram identificadas nas entrevistas. Ainda, foi identificada a necessidade de uma discussão mais ampla no sentido de melhor definir os conceitos de capacidade e nível de atividade na indústria petroquímica e sua estimativa operacional para fins de análise de eficiência, bem como, a incorporação de termos relativos à eficiência de insumos e custeio na análise de eficiência operacional global dessa indústria.

Palavras-chave: Medição de eficiência. Processo contínuo. Petroquímica. OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). TEEP (*Total Effective Equipment Productivity*). OAE (*Overall Asset Effectiveness*).

ABSTRACT

Due to singular characteristics present in the production of continuous flow process industry, especially petrochemical, efficiency measurement require different features of intermittently producing industry, such as how to quantify the final products and the cause of the losses that are considered in the calculation of production efficiency. Production efficiency indicators are typically derived from the OEE (Overall Equipment Effective) proposed by Nakajima (1988) for intermittent production industry, they are sometimes used in continuous manufacturing industries without a prior analysis of their limitations. Twelve indicators identified in the literature were analyzed and compared with features of the petrochemical industry production process, obtained from theoretical review and interviews with professionals and researchers in this industry. This analysis identified that the indicator OAE (Overall Asset Efficiency) has a better production losses structure and fits the characteristics of petrochemical manufacturing process. The results of overall production efficiency obtained using the OAE were compared with results from OEE and TEEP (Total Effective Equipment Productivity), based on manufacturing data from a company located in Rio Grande do Sul petrochemical complex. The results obtained from the efficiency calculation utilizing the selected indicator OAE, are more descriptive of the company situation when compared to those currently used. Other practices that causes interference on the calculation of OEE were also identified in the interviews. It was also identified the necessity for a broader discussion in order to better define the concepts of capacity and activity level in the petrochemical industry and also the operational way define them in order to make analysis of efficiency as well as the incorporation of terms concerning the efficiency of inputs and costing the analysis of overall operational efficiency of this industry.

Keywords: Efficiency Measurement. Continuous Process Industry. Petrochemical. OEE (Overall Equipment Effectiveness). TEEP (Total Effective Equipment Productivity). OAE (Overall Asset Effectiveness).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Indústrias da cadeia petroquímica	19
Figura 2 - Estrutura da pesquisa	33
Figura 3 - Matriz processo x produto	36
Figura 4 - Classificação de processos industriais	40
Figura 5 - Critérios de avaliação de desempenho.....	51
Figura 6 - Resumo conceitos apresentados.....	52
Figura 7 - Relação entre OEE e perdas.....	57
Figura 8 - Relação das perdas para cada indicador derivado do OEE.....	68
Figura 9 - Enquadramento dos indicadores abordados quanto a sua abrangência	69
Figura 10 - Síntese do método de trabalho empregado na pesquisa.....	77
Figura 11 - Método de pesquisa bibliográfica	79
Figura 12 - Árvore de perdas adaptada para o ambiente da indústria petroquímica	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos artigos sobre OEE ao longo do tempo	26
Gráfico 2 - Tipos de utilização do OEE nos artigos pesquisados.....	27
Gráfico 3 - Ativação-desativação e início- parada de produção dos processos produtivos	44
Gráfico 4 - Custo unitário de produção frente ao nível de utilização da capacidade instalada	46
Gráfico 5 - Perdas crônicas e esporádicas	55
Gráfico 6 - Estabelecimento de margem para novo valor de referência de nível de atividade	93
Gráfico 7 - Desenvolvimento da performance versus valor de referência ao longo dos anos .	93
Gráfico 8 - OEE, TEEP e OAE	104
Gráfico 9 - Quantidade perdida por falta de demanda.....	107
Gráfico 10 - Perdas no período.....	109
Gráfico 11 - Pareto de perdas conforme dimensões provenientes do quadro 13	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese de trabalhos encontrados na pesquisa	29
Quadro 2 - Comparação entre processos <i>Flow-shop</i> e <i>Job-shop</i>	39
Quadro 3 - Principais características de processos contínuos e discretos	41
Quadro 4 - Características operacionais da indústria de produção contínua.....	45
Quadro 5 - Medição de desempenho da indústria de propriedade	49
Quadro 6 - Síntese dos modelos apresentados	53
Quadro 7 - OEE e sistemas de medição de desempenho global.....	59
Quadro 8 - Vantagens e desvantagens do uso do OEE.....	60
Quadro 9 - Orientação para escolha de indicadores	70
Quadro 10 - Características da indústria de processo contínuo.....	71
Quadro 11 - Indicadores pesquisados no referencial teórico.....	73
Quadro 12 - Roteiro de entrevista com profissionais de empresas.....	82
Quadro 13 - Roteiro de entrevista com pesquisadores	83
Quadro 14 - Perfil dos entrevistados e características das empresas.....	84
Quadro 15 - Análise de indicadores selecionados na literatura e entrevistas com profissionais da indústria	88
Quadro 16 – Síntese dos pontos de maior relevância trazidos a tona ao longo do trabalho ..	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado das pesquisas no portal da CAPES.....	28
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
A_{ef}	<i>Availability Efficiency</i>
APICS	<i>American Production and Inventory Control Society</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DM	Disponibilidade de Manutenção
DO	Disponibilidade Operacional
FUT	Fator de Utilização
IEEE	<i>Institute of Electrical and Eletronics Engineers</i>
IIE	<i>Institute of International Education</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
JIT	<i>Just-In-Time</i>
MRP	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
OAE	<i>Overall Asset Effectiveness</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEEL	<i>Overall Equipment Effectiveness for a Production Line</i>
OEEML	<i>Overall Equipment Efectiveness of a Manufacturing Line</i>
OFE	<i>Overall Fab Effectiveness</i>
OLE	<i>Overall Line Effectiveness</i>
OPE	<i>Overall Plant Effectiveness</i>
OPT	<i>Optimized Production Technology</i>
OTE	<i>Overall Throughput Effectiveness</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
PEE	<i>Production Equipment Effectiveness</i>
P_{ef}	<i>Performance Efficiency</i>
Q_{ef}	<i>Quality Efficiency</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TEEP	<i>Total Effective Equipment Productivity</i>

TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TOEE	<i>Total Overall Equipment Effectiveness</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
TQM	<i>Quality Management</i>
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Definição do Problema	21
1.2 Objetivos.....	24
1.3 Justificativa	25
1.4 Delimitação.....	31
1.5 Estrutura do Trabalho	33
2 REFERENCIAL	35
2.1 Caracterização de Processo de Produção Contínuo.....	35
2.1.1 Evolução dos Processos de Produção Industriais	35
2.1.2 Características Gerais e Diferenciação Frente aos Processos Intermitentes.....	37
2.1.3 Características Operacionais.....	42
2.1.4 Características Econômicas	45
2.1.5 Características da Medição de Desempenho	47
2.2 Eficiência, Eficácia, Produtividade, Efetividade e Melhoria Contínua.....	49
2.2.1 Eficiência, Eficácia, Produtividade	49
2.2.2 Melhoria Contínua.....	52
2.3 Indicadores de Eficiência: OEE e seus indicadores derivados.....	54
2.3.1 O Indicador OEE	54
2.3.2 Outros Indicadores Derivados do OEE	60
2.3.3 Análise da Abrangência dos Indicadores Derivados do OEE	67
2.4 Síntese do Referencial Teórico	70
3 METODOLOGIA.....	75
3.1 Método de Pesquisa.....	75
3.2 Método de Trabalho	76
3.2.1 Seleção de Portfólio Bibliográfico e Análise de Conteúdo	78
3.2.2 Protocolo de Entrevistas	80
3.2.2.1 Perfil dos Entrevistados e Empresas	84
3.2.2.2 Análise das Entrevistas.....	85
4 ANÁLISE DOS INDICADORES DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE PRODUÇÃO	87
4.1 Análise dos Indicadores Pesquisados na Literatura e Comparação com Resultados de Pesquisa de Campo.....	87
4.1.1 Eficiência de Insumos.....	90

4.1.2 Capacidade e Nível de Atividade na Indústria Petroquímica	91
4.1.3 Disponibilidade, Performance e Qualidade	94
4.1.4 Fatores Externos	97
4.1.4 Coleta e Análise de Dados na Indústria Petroquímica	98
4.1.5 Seleção de Indicadores Para Cálculo de Eficiência com Dados Reais.....	101
4.2 Cálculo da Eficiência de Produção: análise com dados reais	102
4.3 Discussão	112
5 CONCLUSÃO.....	116
REFERÊNCIAS	120

1 INTRODUÇÃO

A indústria de processo contínuo possui características peculiares, diferentes de outras indústrias de produção de bens, máquinas e equipamentos. A *American Production and Inventory Control Society* (APICS) caracteriza esse tipo de indústria como aquela que adiciona valor aos materiais através de reações químicas, conformação, mistura ou separação. O processamento pode ser contínuo ou em lotes (bateladas) e, geralmente, requer rígido controle do processo com altos investimentos de capital. (APICS, 2015).

Toledo, Ferro e Truzzi (1986) descrevem indústrias de processo contínuo quanto aos seus aspectos tecnológicos e econômicos. Segundo os autores, as principais características tecnológicas estão ligadas a três fatores. O primeiro diz respeito à indivisibilidade das matérias-primas: após introduzidos no processo de fabricação, os insumos não são mais distinguíveis entre si no produto final, pois o material sofre uma série de reações físico-químicas. Isso é diferente da indústria de produção intermitente, em que transformações mecânicas sofridas pelos materiais são empregadas. O segundo aspecto é o alto nível de integração entre os equipamentos. Ao invés de máquinas isoladas, que realizam operações bem definidas e distintas, os equipamentos são interligados, muitas vezes por tubulações, e o trabalho é interdependente. (AWBREY; SILBER, 2015). O terceiro aspecto apontado por Toledo, Ferro e Truzzi (1986) versa sobre a centralização do controle dos processos, dada a reduzida interação da mão de obra com os materiais. O controle normalmente é feito utilizando-se sensores e instrumentos posicionados em pontos estratégicos das instalações. Segundo Torres (2014), os pontos tecnológicos constituem-se na principal e mais importante particularidade da indústria petroquímica.

Características de cunho econômico também diferenciam as indústrias de produção contínua das indústrias de processo intermitente. Não existe dependência direta entre o ritmo de trabalho das pessoas e a produtividade. O ritmo de produção obedece muito mais à performance e ao rendimento das instalações como um todo, e não ao ritmo de trabalho da mão de obra. Se o equipamento estiver dentro dos parâmetros preestabelecidos e sem a ocorrência de panes, então se alcança alta produtividade. A instalação de indústrias de processo contínuo depende de um montante expressivo de investimentos em equipamentos em relação aos custos de mão de obra. Esses últimos tendem a se comportar como fixos, pois o volume de mão de obra não se altera em conformidade com o volume de produção, dentro de um determinado range. (TOLEDO; FERRO; TRUZZI 1986). Tais aspectos

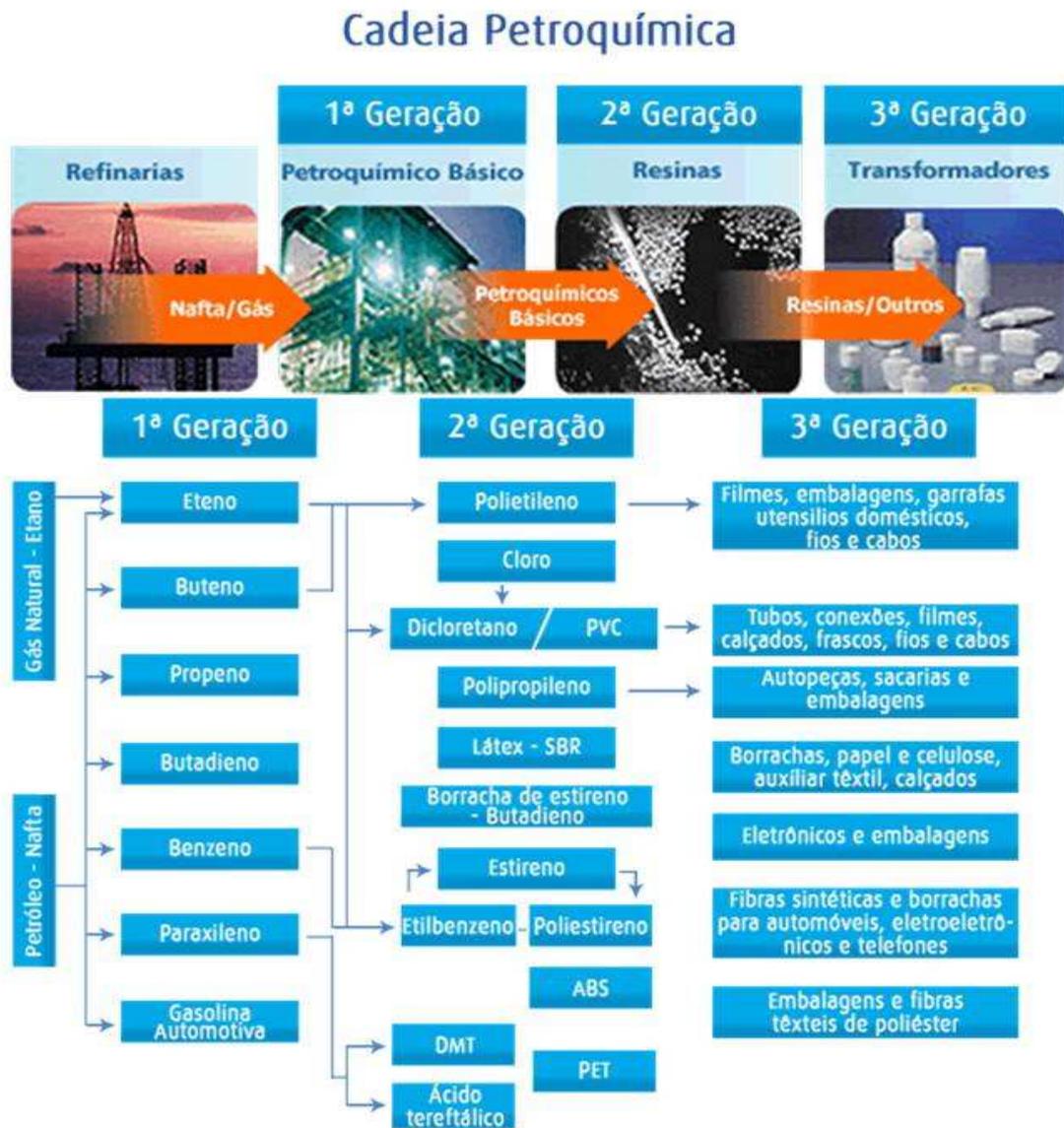
econômicos, principalmente relativos entre força de trabalho e produtividade, também foram discutidos por Barreto, Pádua Neto e Souza (2013).

Um caso particular de indústria de processamento contínuo é a Petroquímica em que teve seu cenário global alterado ao longo dos últimos anos. A consolidação de grandes conglomerados industriais petroquímicos, a necessidade de melhor desempenho operacional (baseado em melhores políticas de gestão) e a pressão para a queda de preços são forças que têm impactado as empresas do setor. (TEIXEIRA; GUERRA; CAVALCANTE, 2009). A indústria química é responsável por 2,8% do PIB do Brasil e representa 10,5% do PIB da indústria de transformação. Os produtos químicos para uso industrial (que é o caso dos produtos petroquímicos) correspondem a mais de 50% da produção dessa indústria. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM), 2015).

As petroquímicas são fonte de matéria-prima para diversas indústrias, tais como a automotiva, a eletroeletrônica, a indústria de embalagens e os produtos manufaturados em geral. (SUAREZ, 1986). Recebem matéria-prima da indústria do petróleo, em especial a nafta. A nafta é enviada para as centrais petroquímicas (*nafta crackers*), que são as chamadas petroquímicas de primeira geração. Essas transformam a nafta em insumos básicos como etileno, propileno, butadieno, xileno, entre outros. Os insumos básicos são enviados para as indústrias de transformação, que são as chamadas plantas de segunda geração. Essas últimas se caracterizam por transformar os insumos básicos em resinas e outros materiais, tais como plásticos (polietileno e polipropileno, em especial), solventes e produtos para a indústria da borracha. A terceira etapa da cadeia é a transformação desses materiais em produtos finais. Chamam-se de produtos finais os utensílios que têm finalidade de uso pela sociedade de alguma maneira, como por exemplo, embalagens plásticas, peças automotivas, tubos e conexões, brinquedos, utensílios domésticos, eletroeletrônicos, entre outros. (PASSOS; ARAGÃO, 2013). A Figura 1 ilustra as etapas da cadeia petroquímica descritas anteriormente.

As petroquímicas tipicamente estão inseridas em um contexto de competição acirrada em mercados com fronteiras políticas cada vez menos relevantes. Segundo Antunes *et al.* (2008), para se sobressaírem em um cenário como esse, empresas devem estar em constante busca por mais eficiência em seus processos e na gestão de suas operações.

Figura 1 - Indústrias da cadeia petroquímica



Fonte: Braskem (2014).

Forças externas, como pressão por preços, e internas, como a necessidade de processos mais eficientes, pautam as decisões de investimentos. Na indústria petroquímica, essas forças estão associadas a fatores de natureza econômica e tecnológica, políticas públicas e às próprias estratégias dos grupos empresariais que detêm ativos no setor. Esses fatores estão em constante movimento de mudança, dependendo das circunstâncias do momento e de estruturas empresariais. (GOMES, 2011). Garantir a competitividade em cenários como o em que estão inseridas as Petroquímicas, implica na necessidade de aprimoramento do desempenho operacional das unidades. (SANTANA; HASCENCLEVER; MELLO, 2003). A sobrevivência e a prosperidade da indústria petroquímica, em termos mundiais, dependem de sua capacidade de adaptação aos novos

cenários competitivos. Nesses novos cenários, certos fatores se destacam, como acesso a fontes de matéria-prima competitivas, escala de produção, eficiência, vanguarda tecnológica, acesso a mercados consumidores, baixos custos de investimento e excelência em gestão. (GOMES; DVORSAK; HEILT, 2005).

Ao longo dos anos, a indústria petroquímica não utilizou, em larga escala, ferramentas do Sistema Toyota de Produção (STP). Muito disso em função da natureza de seus processos (contínuos, integrados, automatizados, monitorados por instrumentos). A necessidade atual de redução de variabilidade e do aumento de eficiência nos processos atrai para o setor petroquímico as ferramentas da produção enxuta. Sendo que essas, anteriormente, tinham espaço prioritário na indústria de produtos montados. (PASSOS; ARAGÃO, 2013).

A maneira como são usados os insumos dentro do processo de produção, e como são convertidos em produtos finais, pode-se chamar de eficiência. (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Aumentar a eficiência dos processos de uma empresa petroquímica, em particular, associa-se diretamente a considerar a relação investimento versus eficiência versus ganho, dada a característica de dependência intensiva de investimentos para gerar produção nesse setor. (SALERNO; AULICINO, 2008). Aumentar a eficiência de um processo pode reverter-se em economia considerável de ativos, que seriam usados para incremento de capacidade de produção.

Para o aprimoramento do desempenho, é necessário que se mantenha constante monitoramento das condições de operação e produção, a partir do uso de indicadores. Em empresas de processo contínuo, como a petroquímica, nas quais os lucros cessantes devido a ineficiências de processo são grandes (COELLI *et al.*, 2005), a utilização de indicadores de desempenho adequados é ponto crucial no gerenciamento das operações. Na indústria petroquímica, os indicadores mais relevantes para garantir resultados satisfatórios são as perdas físicas dos produtos; eficiência energética da unidade; e a taxa de utilização dos ativos (equipamentos). (SANTANA; HASCENCLEVER; MELLO, 2003).

Considerado esse contexto, uma filosofia de gestão proveniente do modelo japonês foi o *Total Productive Maintenance* (TPM), que trouxe à luz as vantagens de utilização de um sistema que maximiza a eficiência e, por consequência, aumenta a produtividade. O TPM, desenvolvido por Nakajima (1988), deu atenção ao conceito de indicadores de performance de equipamentos. Um desses indicadores é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), um indicador operacional que pode ser aplicado em diversos níveis dentro de um sistema de manufatura. O OEE alcançou grande difusão no decorrer das

últimas décadas e é percebido como um instrumento capaz de fornecer informações para planejadores e gestores responsáveis por buscar uma adequada utilização da capacidade do sistema de produção. (BUSSO, 2012).

O OEE também é utilizado na indústria petroquímica como indicador de desempenho da operação de manufatura. Porém, parece haver necessidade de esclarecer suas limitações e potencial no contexto da produção contínua, particularmente na petroquímica. É neste contexto que se estabelece esta pesquisa.

1.1 Definição do Problema

A literatura sobre eficiência na indústria de processos contínuos é escassa no contexto da Engenharia de Produção. Muitos artigos são publicados com enfoques voltados à indústria de fabricação e montagem que não contemplam, evidentemente, lacunas no esclarecimento de problemas existentes nos processos de fluxo contínuo. (BORGES; DALCOL, 2002). Embora Borges e Dalcol tenham feito essa afirmação no ano de 2002, as pesquisas bibliográficas realizadas neste trabalho levam a inferir como ainda válida essa afirmação.

Além da fragilidade acerca da compreensão dos conceitos e da medição de desempenho em unidades industriais de fluxo contínuo, outro desafio é o de encontrar os pontos que acumulam maior potencial para melhoria de processo. Essa deve ser uma tarefa de todas as áreas das empresas, de modo a suportar a liderança na gestão dos recursos em suas áreas de negócios. Devido à demanda intensiva de capital, especialmente em instalações, a necessidade de utilizar o mínimo de recursos financeiros para atingir o máximo resultado possível, torna a tarefa de identificação dos pontos de melhoria ainda mais importante em empresas do setor petroquímico. Analisar os indicadores de eficiência é uma maneira útil para realizar tal tarefa. Através desse tipo de análise, é possível, entre outras coisas, fazer o desdobramento dos indicadores para o chão de fábrica. Uma estimativa acurada da utilização de equipamentos é necessária, especialmente em setores industriais intensivos em capital, como por exemplo, semicondutores, indústria química e petroquímica, uma vez que a utilização de maneira efetiva dos equipamentos também está associada ao retorno de investimentos. (JEONG; PHILLIPS, 2001; ZANDIEH; TABATABAEI; GHANDEHARY, 2012).

Em indústrias intensivas em capital, como as petroquímicas, um indicador de eficiência não apenas é utilizado para mensurar a utilização dos ativos, mas serve também para a

identificação e análise das perdas não reveladas. Quando se foca na medição dessas perdas, o OEE apresenta dados para a análise dos problemas e o tratamento da causa raiz, de modo a aumentar a utilização da capacidade dos equipamentos. (HANSEN, 2006). Muitas empresas, antes de qualquer intervenção de melhoria, comumente apresentam valores de OEE baixos. Numa pesquisa de campo se constatou um valor médio de cerca de 55%. (LJUNGBERG, 1998).

A medição de eficiência auxilia no processo de melhoria contínua da organização. (GHALAYINI; NOBLE, 1996; HRONEC, 1994; KAPLAN; NORTON, 1996; NEELY, 1999). Através da medição de eficiência, é possível detectar como está a performance da empresa, as razões prováveis que configuram a sua situação atual, bem como quais as ações que podem ser tomadas para a melhoria na eficiência dos processos. (NEELY, 1999). Ao encontro dessa forma de pensar, Hronec (1994) afirma que medidas de desempenho são sinais vitais das empresas, pois informam às pessoas o que elas estão fazendo, como elas estão se saindo e se elas estão agindo como parte do todo. As medidas de eficiência servem para comunicar o que é importante para toda a organização, como por exemplo, a estratégia da gerência de primeiro escalão para os demais níveis, resultados dos processos, desde os níveis inferiores até o primeiro escalão, controle e melhorias possíveis dentro do processo.

O indicador de eficiência OEE pode ser utilizado como medida de desempenho de unidades industriais (AHMAD; DHAFR, 2002; BERRAH; MAURIS; VERNADAT, 2004) e também como métrica para gestão de melhorias. (HUANG *et al.*, 2002, HUANG *et al.*, 2003, KENYON; CANEL; NEUREUTHER, 2005). Como esse indicador é composto por três parcelas (disponibilidade, desempenho e qualidade), sua análise estratificada indica ainda qual delas é mais carente de melhoria.

O OEE, além da eficiência de equipamentos individuais, também pode ser utilizado para o cálculo dos níveis de eficiência existentes para cada linha de produção, ou até mesmo, para eficiência global de uma unidade. (BRAGLIA; FROSOLINI; ZAMMORI, 2008; MUTHIAH; HUANG, 2007). Caso o que estiver em análise no cálculo for um recurso crítico, ou equipamento gargalo, o indicador é denominado *Total Effective Equipment Productivity* (TEEP), e utilizado como uma alternativa ao OEE. (IVANCIC, 1998 *apud* VACCARO; KORZENOWSKI, 2015).

Entretanto, alguns estudos sobre a utilização do OEE como indicador de desempenho global da manufatura têm revelado diversas limitações e fragilidades. Bamber *et al.* (2003), Braglia, Frosolini e Zammori (2008) e Ljungberg (1998) afirmam que o OEE é indicado para medir a eficiência de um único equipamento, mas isso não é

suficiente para direcionar a melhoria global do processo produtivo quando esse envolve diversos equipamentos inter-relacionados. O termo global, nesta pesquisa, é aplicado para referir a sistemas de produção que sejam compostos de subsistemas, tais como: linhas de produção, plantas produtivas ou até mesmo todo um *site* produtivo. Dadas tais limitações, é possível encontrar outros indicadores, derivados do OEE, que também se propõem a medir a eficiência de produção. Desse modo, submetem-se não apenas a verificar o desempenho de equipamentos de maneira isolada e sim para uma célula de manufatura, uma linha de produção ou até mesmo toda uma planta produtiva. (ANANTHARAMAN, 2006; BRAGLIA; FROSOLINI; ZAMMORI, 2008; MUCHIRI; PINTELON, 2008; MUTHIAH; HUANG, 2007; NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006; OECHSNER, R. *et al.* 2003; RAOUF, 1994).

Devido à natureza do processo das indústrias petroquímicas, as grandezas físicas medidas no ambiente fabril nem sempre são as mesmas utilizadas na conceituação dos indicadores de eficiência. Assim sendo, uma análise comparativa entre as grandezas físicas que realmente são medidas nas empresas pesquisadas e o que foi conceituado nos indicadores torna-se relevante, além de proporcionar a identificação de possíveis falhas no processo de medição de eficiência, ou ainda, ser fonte para melhoria de performance e, conseqüentemente, na gestão de empresas dessa indústria.

Ainda, fatores que particularizam as empresas de produção contínua, como refinarias, siderúrgicas, termelétricas e petroquímicas, devem ser levados em conta para a realização da pesquisa. O OEE foi concebido com base na grandeza física Tempo. No ambiente de produção contínua, o tempo disponível é igual ao tempo calendário, ou seja, 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias por ano e assim por diante. Como o tempo total disponível é geralmente igual ao tempo calendário, uma vez consumido de maneira ineficiente, então esse não pode mais ser recuperado. Assim, é uma variável que não pode ser ampliada sem custo. Devido a tal característica, esse fator do cálculo do OEE chamado tempo disponível, acaba por perder o sentido, pois será tipicamente igual ao tempo total. Dessa maneira, no cálculo de eficiência, as grandezas físicas medidas em campo nem sempre são iguais àquelas que foram utilizadas para conceituar no cálculo da eficiência da unidade.

Dadas as características da indústria petroquímica, diferentes da indústria de produção intermitente, a escassez de literatura específica para produção em fluxo contínuo no ambiente de Engenharia de Produção e a necessidade de medição de eficiência para auxiliar a gestão das empresas, este trabalho norteia-se pela seguinte questão de pesquisa:

Como medir a eficiência global de produção em empresas da indústria petroquímica com base no OEE?

Essa questão norteadora é apresentada com base em evidências e pressupostos fundamentados no contexto anteriormente apresentado. Pesquisas preliminares realizadas com cinco empresas do setor, localizadas no Polo Petroquímico do RS, que representam cerca de 90% da produção de todo o complexo (ou seja, 1,452 milhões de toneladas de etileno, 660 mil toneladas de propileno, 209 mil toneladas de butadieno, 1,965 milhões de toneladas de resinas de polietileno e polipropileno e 214 mil toneladas de elastômeros, (BRASKEM, 2015), mostram que é frequente a utilização de indicadores similares ao OEE para mensurar a eficiência global de produção. Esses indicadores de eficiência são usados para nortear a gestão das empresas acessadas. Existe uma falta de clareza quanto à conceituação dos indicadores utilizados por parte das empresas. Esses indicadores não necessariamente são o OEE, mas assim são chamados, tema que suscitou esclarecimento, apresentado no decorrer desta pesquisa. Todavia, dada a prática de armazenamento de dados históricos existente nessa indústria, pôde-se recompor condições para o cálculo de outros indicadores, para fins comparativos. Tal fato permite que sejam realizados cálculos de eficiência com dados reais, o que suporta a realização de parte da presente pesquisa.

Com base nos pressupostos e na questão norteadora apresentados, a seguir são propostos os objetivos desta pesquisa.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo:

Analisar como pode ser medida a eficiência de produção em plantas petroquímicas à luz de indicadores derivados do OEE.

E para dar suporte a esse objetivo, como objetivos específicos, apresentam-se:

- a) analisar comparativamente os indicadores selecionados na literatura, derivados do OEE, com os que estão em uso em empresas do setor petroquímico;
- b) comparar a informação gerada pela aplicação de indicadores selecionados da literatura para o cálculo de eficiência de produção, utilizando dados reais de uma empresa pesquisada.

1.3 Justificativa

O OEE se mostra como um indicador que congrega atributos importantes para a construção de sistemas de avaliação de performance em empresas nas quais a utilização efetiva da capacidade constitui um fator de sucesso. Sua aplicação tem sido difundida em diversos setores industriais, dentre os quais se destacam o automobilístico, o de semicondutores e as indústrias de processo. (BOHORIS *et al.* 1995; GIBBONS; BURGESS, 2010; TSAROUHAS, 2007).

A presente dissertação enfoca como empresas de processo de fluxo contínuo medem a sua eficiência global de produção, tema relevante dada a característica intensiva em capital dessa indústria. Também se pretende contribuir com a construção conceitual do tema no intuito de traçar um paralelo entre o indicador OEE (e indicadores derivados desse), e as características identificadas nos processos contínuos, em particular o petroquímico.

As contribuições teóricas deste trabalho apresentam-se na forma de uma análise, comparando aspectos teóricos e conceituais com informações de campo obtidas através de entrevistas com profissionais da indústria e observação direta. Essa análise pode proporcionar uma visão mais clara sobre diversos fatores que comprometem a adoção do OEE e dos indicadores derivados desse como meios de medição e avaliação do desempenho global do sistema de produção de processos contínuos. Melhores indicadores podem remeter a melhores decisões, na medida em que o viés por eles provocado é minimizado.

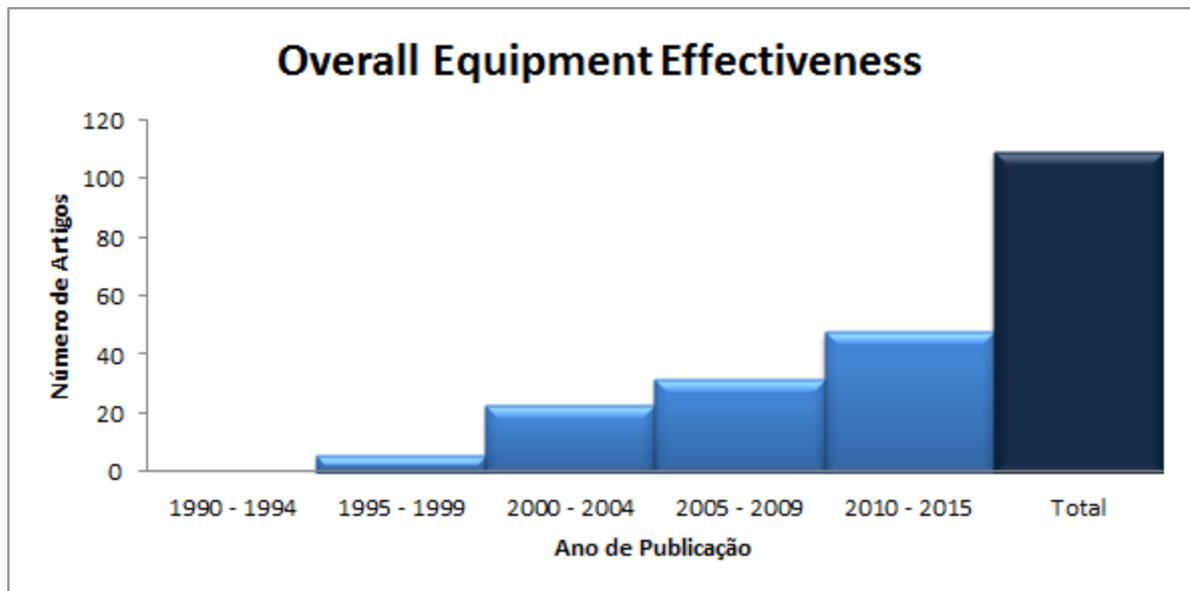
No âmbito empresarial, a motivação principal é prover informações para facilitar o processo de tomada de decisões gerenciais em busca da excelência nos processos produtivos das organizações. A correta medição de desempenho é ponto crucial para nortear decisões dos gestores. Avaliar o desempenho global em processos contínuos, definindo quais índices são mais adequados à realidade das empresas, é fundamental para gerenciar a disponibilidade de seus equipamentos e, assim, alcançar uma utilização mais efetiva da sua capacidade produtiva.

A racionalização do uso de recursos depende do tipo de processo e produto que a empresa oferece ao mercado. Empresas intensivas em mão de obra precisam investir maciçamente na capacitação e motivação dos recursos humanos. Companhias de produção em massa devem buscar elevada eficiência na utilização de equipamentos e recursos humanos, assim como no consumo de insumos materiais. E as empresas de processo contínuo precisam assegurar fluxo estável através de tecnologias intensivas em capital, onde devem ser investidos esforços voltados à disponibilidade e confiabilidade de equipamentos. (SLACK *et al.*, 2002).

Para identificação de literatura a respeito de indicadores de eficiência, realizaram-se pesquisas acerca do OEE. Para tal, utilizou-se o portal de periódicos da Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (CAPES, 2015). Inicialmente, na ferramenta de busca avançada, definiu-se que o material de interesse seriam artigos científicos revisados por pares. Nos campos assunto ou título, buscou-se os artigos que referenciassem o termo “*Overall Equipment Effectiveness*”. No total, foram encontrados 109 artigos revisados por pares. O Gráfico 1 mostra a distribuição ao longo do tempo dos artigos encontrados nesta pesquisa inicial. Nota-se um gradativo aumento no interesse do tema ao longo dos anos.

Gráfico 1 - Distribuição dos artigos sobre OEE ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador OEE foi introduzido por Nakajima (1988), e pode-se atribuir que desde então o interesse em pesquisas pelo tema não está esgotado. Através da leitura dos artigos e análise do seu conteúdo foi construído o Gráfico 2 que mostra uma predominância de casos de aplicação dos conceitos de OEE. Nele se pode observar que dos 109 artigos mencionados anteriormente 41% tratam da implementação do TPM, e da adoção do OEE como medida de eficiência de equipamentos (utilização dos conceitos de manutenção autônoma e medição de eficiência global em ambiente fabril). Em oito por cento dos artigos encontrados os autores trataram de verificar limitações no uso do OEE em ambiente industrial. Os artigos que mais interessam para a presente pesquisa correspondem a 20% do total, uma vez que tratam de como é medida a eficiência global de produção, destes apenas 6% dedicaram-se a implementação de indicadores novos, derivados do OEE. Ainda foi possível verificar que em 11% dos artigos os autores versam sobre aplicações errôneas do OEE e, por fim, outros 20%

trataram o assunto de maneira secundária e foram classificados como outros na presente análise.

Gráfico 2 - Tipos de utilização do OEE nos artigos pesquisados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além desta pesquisa inicial, visando focar as buscas em indústria de produção contínua, outros termos foram utilizados no portal da Capes. Combinações utilizando expressões relativas à eficiência de produção e ao processo de produção contínua foram feitas atrelando ambos através da utilização dos conectores “AND” ou “OR”. Tal consulta foi realizada utilizando a ferramenta de busca avançada do portal (ambos os termos utilizados no campo assunto). O período pesquisado foi entre os anos de 1989 e o ano de 2015. Diversas combinações foram utilizadas, no mesmo portal, também na ferramenta de busca avançada. Foram empregados termos na língua inglesa, os equivalentes em português. A Tabela 1 apresenta o resultado das buscas.

Tabela 1 - Resultado das pesquisas no portal da CAPES

Termos de Busca	Total de resultados	Artigos revisados por pares	Artigos relevantes para o trabalho	Artigos com indicadores derivados do OEE
<i>“Overall Equipment Effectiveness”</i>	109	109	17	7
<i>“Efficiency” or “Metrics” and “Petrochemical”</i>	25	11	2	0
<i>“Efficiency” or “Metrics” and “Continuous”</i>	179	86	3	0
<i>“Efficiency” or “Metrics” and “Refinery”</i>	1	0	0	0
<i>“Efficiency indicator” and “Continuous process”</i>	2	2	1	0
<i>“Efficiency indicator” and “Process industry”</i>	0	0	0	0
<i>“Efficiency indicator” and “Petrochemical”</i>	1	0	0	0
<i>“Efficiency indicator” and “Refinery”</i>	1	0	0	0
<i>“Efficiency metric” and “Continuous process”</i>	0	0	0	0
<i>“Efficiency metric” and “Petrochemical”</i>	0	0	0	0
<i>“Efficiency metric” and “Refinery”</i>	0	0	0	0
<i>“Efficiency indicator” and “Nafta cracker”</i>	0	0	0	0
<i>“Efficiency measurement” and “Nafta cracker”</i>	0	0	0	0
<i>“Process efficiency” and “Continuous industry”</i>	0	0	0	0
<i>“Production efficiency” and “Continuous process”</i>	4	2	0	0
<i>“Production efficiency” and “Petrochemical”</i>	21	18	0	0
<i>“Eficiência” and “Processo contínuo”</i>	0	0	0	0
<i>“Eficiência” and “Petroquímica”</i>	0	0	0	0
<i>“Eficiência” and “Refinaria”</i>	1	0	0	0
<i>“Indicador de Eficiência” and “Processo contínuo”</i>	0	0	0	0
<i>“Indicador de Eficiência” and “Petroquímica”</i>	0	0	0	0
<i>“Indicador de Eficiência” and “Refinaria”</i>	0	0	0	0
<i>“Eficácia” and “Processo contínuo”</i>	0	0	0	0
<i>“Eficácia” and “Petroquímica”</i>	0	0	0	0
<i>“Eficácia” and “Refinaria”</i>	0	0	0	0
TOTAL	344	228	23	7

Fonte: Elaborada pelo autor.

A classificação dos artigos como relevantes ou não para a presente pesquisa foi construída através da análise da leitura dos resumos dos artigos encontrados. No caso, se o artigo não se preocupou em apresentar maneiras de medir a eficiência de produção para processos contínuos, além disso, não fez uma análise das necessidades para tal e, ainda, não apresentou exemplo de aplicação de indicador, esse foi excluído do portfólio por não estar de acordo com o interesse da pesquisa.

Dos 23 artigos tomados como relevantes para a presente pesquisa, 16 foram úteis na construção do referencial teórico conforme os requisitos acima. Porém somente 6 se preocuparam em propor e analisar indicadores derivados do OEE e um realizou uma análise comparativa da abrangência desses indicadores, recebendo maior atenção. Os indicadores alternativos propostos foram estudados de maneira aprofundada para que fosse possível traçar um paralelo desses com aqueles utilizados nas empresas pesquisadas. O Quadro 1 apresenta os indicadores alternativos identificados na presente busca.

Quadro 1 - Síntese de trabalhos encontrados na pesquisa

(continuação)

Título do Artigo	Autor	Periódico ou conferência	Síntese do Artigo	Aplicação
<i>Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance.</i>	Braglia, M.; Frosolini, M.; Zammori, F.	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i> , v.20, n. 1, p. 8– 29, 2008.	OEEML: trata-se de uma derivação do OEE, que além das perdas de disponibilidade e qualidade, considera as perdas decorrentes de problemas de alimentação de matéria-prima na linha, as ineficiências do gargalo e as paradas planejadas de manutenção. TOEE: um indicador que considera o efeito das paradas denominadas de perdas independentes do equipamento, tais como perdas por falta de operador, por bloqueio do fluxo de saída, por falta de suprimento, e pela realização do controle de qualidade, que não dependem das condições de funcionamento do equipamento.	OEEML: indicador aplicado em uma linha automatizada de montagem de bloco de motores. TOEE: tratado pelo autor como um indicador secundário, de suporte ao desenvolvimento do OEEML. Sendo assim, não realizou aplicação do TOEE.
<i>Evaluation of Overall Line Effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system.</i>	Nachiappan, R.M.; Anantharaman, N.	<i>Journal of Manufacturing Technology</i> , v.17, n.7, p. 987-1008, 2006.	Propõe o cálculo do OLE como uma extensão do OEE para o cálculo da eficácia total da linha, considerando além das 6 grandes perdas, as perdas relacionadas às paradas por manutenção planejada.	Realizada uma simulação em uma linha de produção composta por <i>n</i> máquinas em série, onde a máquina gargalo foi identificada.
<i>From overall equipment effectiveness to overall Fab effectiveness (OFE).</i>	Oechsner, R. et al.	<i>Materials Science in Semiconductor Processing</i> , v. 5, n. 4-5, p. 333-339, 2003.	Medição pelo OEE ao nível de toda uma fábrica. Avaliar o desempenho global da mesma admitindo que isso resulte da interação de diferentes máquinas/processos e de decisões/ações tomadas por seus diversos sistemas e subsistemas.	Faz o desenvolvimento do indicador voltado para a indústria de semicondutores.
<i>Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection.</i>	Muthiah, K. M. N.; Huang, S. H.	<i>International Journal of Production Research</i> , v. 45, n. 20, p. 4753-69, 2007.	Uma derivação do OFE. O indicador do OTE deve ser derivado da forma de conexão existente entre os equipamentos da unidade a ser avaliada.	Realizou a simulação de uma linha de produção de vidros utilizando <i>software</i> ARENA para coleta de dados de entrada.

(conclusão)

Título do Artigo	Autor	Periódico ou conferência	Síntese do Artigo	Aplicação
<i>Improving capital productivity through maintenance.</i>	Raouf, A.	<i>International Journal of Operations & Production Management</i> , v.14, n.7, pp. 44-52, 1994.	Propõe o cálculo do indicador PEE de forma diferente conforme o tipo de produção: no caso de produção discreta, considera os mesmos três componentes do OEE (disponibilidade, desempenho e qualidade), mas no caso de processo contínuo inclui componentes adicionais para considerar outros tipos de perdas como falta de demanda. Utiliza índices de peso relativo para cada parcela que compõe o cálculo do indicador.	Apresenta possibilidade de utilização do indicador, tanto para indústria de produção discreta quanto para indústria de processo contínuo.
<i>Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion.</i>	Muchiri, P.; Pintelon, L.	<i>International Journal of Production Research</i> , v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.	<i>Overall Plant Effectiveness (OPE)</i> e <i>Overall Asset Effectiveness (OAE)</i> : além das perdas consideradas pelo OEE, consideram perdas provocadas por outras causas além da alçada dos gestores responsáveis pela operação do processo produtivo. O OAE não é calculado utilizando tempos e sim unidades de produto.	Realizou dois exemplos práticos de aplicação dos indicadores em indústrias de processo discreto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro artigo também foi extensivamente analisado, pois apresentou um estudo comparativo entre os indicadores derivados do OEE, foi o de Busso e Miyake (2013). Os autores buscaram explorar possibilidades e aplicações dos indicadores com foco em um aproveitamento efetivo da capacidade de produção. Realizaram um enquadramento dos indicadores de maneira a ampliar a abordagem da avaliação adotada pelo OEE. Por fim, Busso e Miyake (2013) realizaram um estudo de caso de implementação de dois dos indicadores (*Overall Throughput Effectiveness (OTE)* e o *Overall Plant Effectiveness (OPE)*). O objetivo do referido estudo foi mostrar como a utilização de indicadores pode tornar o diagnóstico de problemas de uso da capacidade mais eficaz. Tal artigo foi bastante discutido ao longo do presente trabalho. Este, foi utilizado, em conjunto com as entrevistas de campo e análise de outros artigos para a definição de quais indicadores seriam utilizados para o cálculo de eficiência com dados reais. A maior contribuição do estudo de Busso e Miyake (2013) para o presente trabalho está na maneira na qual os referidos autores proem a árvore de classificação de perdas e análise que realizaram sobre a abrangência dos diversos indicadores derivados do OEE.

Considerada a análise realizada a escassez de dados acerca da utilização de indicadores de eficiência para a indústria de produção contínua foi um dos motivadores da realização da presente pesquisa. A revisão da literatura foi realizada com o intuito de tentar identificar quais características presentes na indústria de produção contínua que a diferenciam das demais (processo intermitente) e se essas características de algum modo contribuem para a pobre presença do assunto na literatura pesquisada.

1.4 Delimitação

A maneira de estimar a eficiência global de produção nas empresas que trabalham em processo contínuo, em particular as petroquímicas, é o escopo do presente trabalho. A comparação dos índices de eficiência descritos na literatura, derivados do OEE, com índices utilizados nas empresas pesquisadas também pertence ao foco de atenção da presente pesquisa. Possíveis oportunidades de utilização dos índices derivados do OEE em processos contínuos, limitações e possibilidades de melhoria na medição de eficiência global serão abordadas. Desse modo, a análise da utilização dos indicadores em processos discretos, a maneira na qual os indicadores foram desenvolvidos e as possíveis limitações desses em processos intermitentes não são o escopo principal da presente pesquisa.

Aspectos referentes às estratégias de manutenção para a obtenção do aumento de eficiência, assim como da manutenção autônoma, que são pontos prioritários do TPM, não serão abordados no presente trabalho. A realização da análise dos indicadores de eficiência global de produção não abordará diferentes estratégias de manutenção que, em processo contínuo, é um aspecto fundamental para aumento da disponibilidade dos equipamentos. A mudança na maneira de trabalho, da cultura de operadores e dos mantenedores, assim como a relação com a eficiência global de produção, por si só é um ponto para outros trabalhos.

Não se tem a pretensão de definir novos conceitos para eficiência, eficácia, produtividade, efetividade e outros termos referentes a desempenho industrial. Os conceitos presentes na literatura foram utilizados como suporte no presente trabalho. Foram abordadas particularidades desses conceitos, porém não serão propostas definições específicas para esses termos. Também não é parte integrante do trabalho realizar a conceituação e diferenciação entre indicador, sinalizador, medidor, marcador, etc.

Os indicadores que estão em utilização pelas empresas pesquisadas são baseados no OEE, ou possuem semelhança. Todavia a conceituação teórica e as grandezas físicas medidas não estão em conformidade com a conceituação do indicador. O presente trabalho se

preocupou com a verificação da aplicabilidade dos indicadores encontrados na literatura, derivados do OEE, no ambiente de produção da indústria petroquímica. O desenvolvimento de um indicador específico se tornará mais adequado caso os indicadores selecionados não se mostrem eficientes. Antes de construir um indicador específico para cada empresa, ou de realizar um estudo de caso, o presente trabalho tem a preocupação de testar se, realmente, o que as empresas utilizam está adequado, ou se existe algum tipo de *gap* não identificado. Pesquisas de campo, realizadas nas empresas acessadas neste trabalho, mostram que existe a intenção de medir a eficiência de produção.

A caracterização do tipo de sistema a ser estudado foi realizada com base em análise da literatura. A conceituação do que é processo contínuo, processo em bateladas ou processo intermitente (discreto), não é escopo deste trabalho. Foram abordadas as principais características desses tipos de processo, mas não se pretende emitir novos conceitos para tal. Também cabe salientar que a dissertação não tem a pretensão de discutir detalhes técnicos específicos dos processos, tão pouco características funcionais de equipamentos diversos. Não constitui objeto do trabalho o desenvolvimento de novas formas tecnológicas da indústria de produção contínua. Em vista disso, a pesquisa objetiva propor uma discussão sobre sistemas para estimar a performance produtiva global dos processos existentes, e não propor novas tecnologias de produção.

Não foi realizado estudo de caso para implementação de indicadores de eficiência. Foi alcançada apenas a aplicação do cálculo de indicadores, utilizando-se dados reais de uma das empresas pesquisadas, com o intuito de testar a aplicabilidade desses no sentido de prover informações relevantes para a gestão. Contudo, não é foco de o trabalho seguir o protocolo e detalhamento de um estudo de caso.

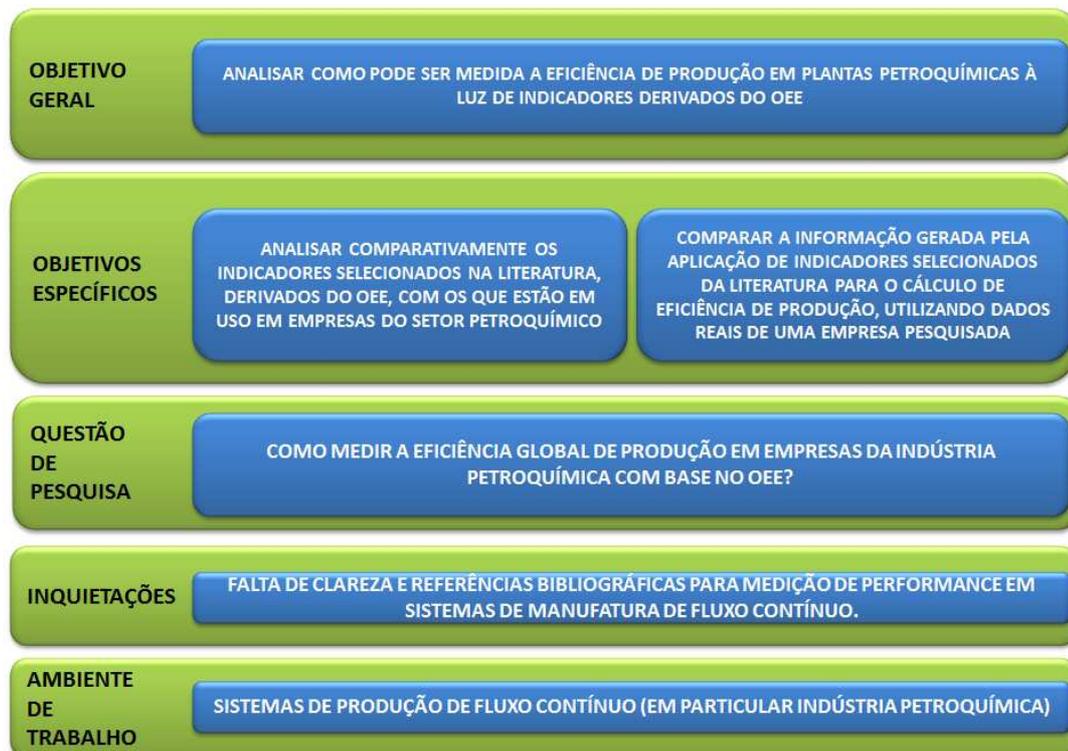
A gestão de melhoria também é um tema mencionado no presente trabalho. Em muitos casos ela é utilizada como arma estratégica para gestão de integração empresarial, fomentando a formação de times internos e a participação coletiva de funcionários e gestores. Não foram abordados pontos relativos à gestão da inovação, que podem estar associados a uma cultura de melhoria contínua. Programas como banco de ideias e sugestões, que são utilizados para fomentar uma cultura de melhoria contínua com foco em inovação, descoberta de patentes, novas maneiras de trabalho, aumento de eficiência, etc. No presente trabalho, esses aspectos estratégicos da gestão de melhoria contínua como ferramenta de integração empresarial não foram estudados, visto que o foco principal é o estudo dos indicadores de eficiência global de produção.

Por fim, na literatura, são encontradas desde propostas de indicadores parciais mais específicos, destinados à medição de uma parte de um sistema ou de um dado recurso (visão micro), até propostas de indicadores globais que medem o desempenho econômico financeiro da empresa, ou mesmo de um grupo de empresas no nível do negócio ou da corporação. Esta pesquisa propõe-se a tratar dos indicadores de desempenho globais do sistema de produção que auxiliem na tomada de decisão dos gestores responsáveis pela racionalização das operações. Assim sendo, ainda que a extensão não seja mais complexa a partir dos resultados desta pesquisa, indicadores que promovem a avaliação de resultados sob uma perspectiva econômico-financeira não foram aqui contemplados.

1.5 Estrutura do Trabalho

No Capítulo 1, que ora finda, foram apresentados os aspectos introdutórios da dissertação, destacando-se o tema e a questão de pesquisa que motivaram este trabalho, os objetivos a serem atingidos, a justificativa para a realização deste, as delimitações e, por fim, a estrutura do trabalho. A Figura 2 mostra de maneira resumida os elementos centrais do Capítulo 1.

Figura 2 - Estrutura da pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor.

No Capítulo 2, intitulado Referencial, são apresentados os elementos necessários para a estruturação conceitual da pesquisa. Os principais pontos abordados são as características peculiares dos processos de produção contínua. Estes aspectos irão suportar as análises de modo a elucidar pontos importantes que os indicadores selecionados devem respeitar. Também serão apresentados alguns conceitos oriundos do TPM, principalmente o indicador OEE e indicadores de eficiência derivados do OEE. Eles são apresentados com o propósito de verificar a maneira na qual são calculados e proporcionar uma comparação com a visão empírica, proveniente de entrevistas com profissionais da indústria.

O Capítulo 3 apresenta a abordagem metodológica considerada na pesquisa, incluindo revisão e análise da literatura, coleta e análise de dados de campo e simulação de indicadores utilizando dados reais de produção. A coleta de dados de campo teve como propósito levantar evidências para contribuir na discussão de pontos que necessitem de uma visão empírica de iniciativas práticas de aprimoramento do sistema de medição global de produção.

O Capítulo 4 inicia-se com a proposição de um quadro onde os aspectos mais relevantes dos indicadores utilizados na indústria petroquímica são confrontados com os indicadores identificados na literatura. Os indicadores utilizados para estimar a eficiência global de produção de uma empresa, são comparados entre si para verificação de sua eficácia. O capítulo encerra-se com uma análise geral acerca das comparações e análises realizadas.

Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas considerações resultantes da análise realizada no trabalho. Limitações e ideias para possíveis futuras pesquisas finalizam o capítulo, o qual é seguido pela lista de referências.

Finalizado este capítulo, passa-se, então, ao referencial teórico.

2 REFERENCIAL

O problema de pesquisa envolve a necessidade de uma clara visão sobre indicadores de eficiência para processo de produção contínua de modo a possibilitar uma melhor tomada de decisão pela gestão das empresas. Neste capítulo será apresentado o referencial utilizado para o desenvolvimento do trabalho, dividido em três partes. Uma delas trata da caracterização dos processos de produção, em particular, o processo de produção contínua. A segunda sobre conceitos de eficiência, eficácia, produtividade, efetividade e melhoria contínua. E a última apresenta indicadores de eficiência de processo, mais especificamente OEE e indicadores dele derivados.

2.1 Caracterização de Processo de Produção Contínuo

A presente seção apresenta uma visão macro sobre os processos de produção e seu desenvolvimento. Mostra também as principais características dos processos de produção de fluxo contínuo e às principais diferenças frente aos processos intermitentes. Características de cunho operacional, econômica e aspectos relativos a medição de desempenho também serão abordados na presente caracterização.

2.1.1 Evolução dos Processos de Produção Industriais

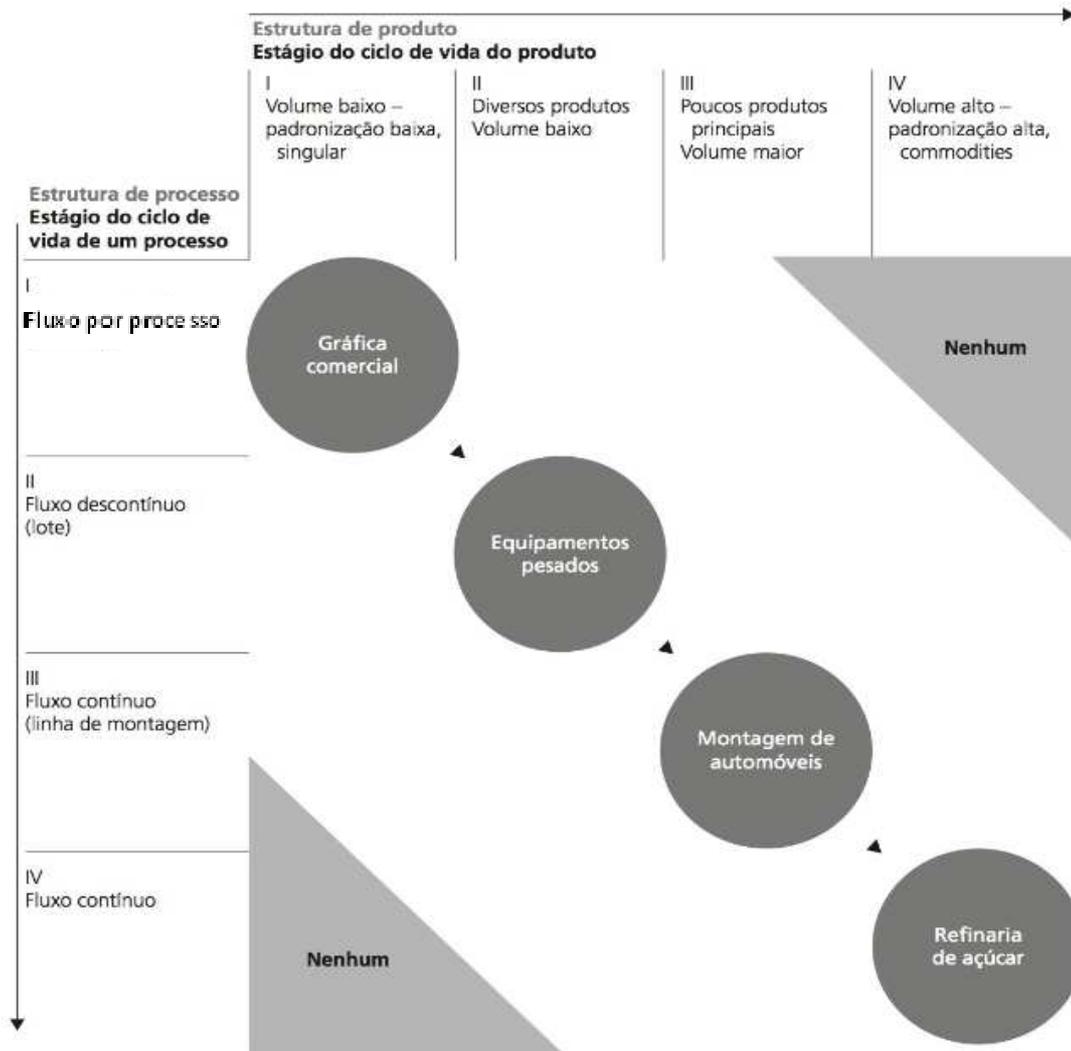
O estudo da natureza dos processos produtivos industriais não é um assunto novo. Hayes e Wheelwright (1979) discorrem sobre a evolução dos processos de produção e afirmam que frequentemente as empresas costumam começar com um processo altamente flexível, mas pouco eficiente e seguem em direção a uma padronização, uma mecanização e uma automação crescentes. Segundo os autores, essa evolução culmina em um processos eficientes, que são muito mais dependentes de capital.

Utilizando uma matriz de produto-processo, Hayes e Wheelwright (1979), sugerem uma forma para representar os estágios da interação dos ciclos de vida do produto e do processo, bem como exemplificar algumas indústrias que utilizam estes.

As linhas da matriz representam as fases que um processo de produção tende a atravessar quando vai da forma fluida na linha de cima para a forma sistêmica na linha de baixo. As colunas são as fases do ciclo de vida de produtos, que vão desde a grande variedade

até *commodities* padronizadas do lado direito. (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979). A Figura 3 ilustra a matriz proposta pelos referidos autores.

Figura 3 - Matriz processo x produto



Fonte: Hayes e Wheelwright (1979).

Pode-se caracterizar uma empresa como ocupando uma região específica na matriz, determinada pela sua escolha de processo de produção para determinado produto. Nos processos *Job-shop*, os trabalhos chegam de diferentes formas e requerem diferentes tarefas e, portanto, a finalidade do equipamento tende a ser relativamente geral. Raramente é utilizada a capacidade plena dos equipamentos, sendo que os trabalhadores costumam ter uma grande variedade de habilidades de produção e cada trabalho leva muito mais tempo para passar pela fábrica do que as horas de trabalho que esse trabalho requer. (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979). Mais abaixo da diagonal, na matriz da Figura

3, o fabricante de equipamentos pesados costuma trabalhar em uma estrutura de produção caracterizada como um processo de “fluxo de linha desconectado”. Economias de escala costumam fazer com que essas empresas ofereçam diversos modelos básicos com vários opcionais. A produção passa de um padrão de *Job-shop* para outro de fluxo. Produtos como automóveis ou equipamentos domésticos, uma empresa geralmente fará poucos modelos e deverá utilizar um processo de produção mecanizado e conectado, como uma linha de montagem móvel (processo padronizado e automatizado). (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979).

No canto extremo inferior direito da matriz, finalmente, podem-se encontrar operações de refinaria como o processamento de petróleo ou de açúcar, onde o produto é uma *commodity* e o processo é contínuo. Apesar de essas operações serem altamente especializadas, inflexíveis e de capital intensivo, suas desvantagens são mais do que neutralizadas pelos baixos custos variáveis, derivados de um volume alto passando por um processo padronizado. (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979).

Na Figura 3, dois cantos da matriz não apresentam indústrias ou empresas individuais. O canto superior direito caracteriza uma *commodity* produzida por um processo *job-shop* que simplesmente não é factível sob o ponto de vista econômico. Portanto, não existem empresas ou indústrias localizadas naquele setor. De maneira análoga, o canto inferior esquerdo representa um produto singular feito por meio de processos contínuos ou muito específicos. Esses processos são simplesmente inflexíveis demais para essas exigências singulares do produto. (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979).

Embora não seja parte do tema do trabalho, cabe mencionar que sistemas produtivos atuais, que utilizam a customização em massa, tendem a contrapor as ideias de Hayes e Wheelwright. A customização em massa é uma estratégia para a criação de produtos e serviços que atendem as necessidades de preço, tempo e qualidade requeridos pelos clientes. As características principais desse sistema produtivo são altos volumes de produção e ao mesmo tempo exclusividade de produtos. (VIDOR, 2014).

2.1.2 Características Gerais e Diferenciação Frente aos Processos Intermitentes

A análise das características dos processos de produção de fluxo contínuo constitui-se no tema central de interesse do presente trabalho. Entender as diferenças entre processo de produção contínua e processos intermitentes é primordial para fundamentar as análises que serão realizadas ao longo do trabalho.

Dentro do que se chama de processos de produção de fluxo contínuo se colocam neste segmento, os processos pertencentes às indústrias químicas, siderúrgicas, petroquímicas, indústria do petróleo de papel e celulose, de filmes plásticos flexíveis e de alimentos de larga escala como massas e biscoitos. (SLACK *et al.*, 2002).

Os processos produtivos podem ser classificados conforme o seu grau de repetitividade e volume de produção. Produção em massa é semelhante àquela na qual os engenheiros químicos chamam de contínua, já a produção unitária é semelhante à produção chamada intermitente. (SALERNO, 1987).

Hansen (1996) afirma que na indústria de processos contínuos, verificam-se peculiaridades que requerem análises específicas: produção tipicamente de um único produto (ou no máximo de uma família de produtos) em larga escala, em que as propriedades desse produto constituem o aspecto mais importante; custos de variáveis produção que não reduzem a zero com a interrupção da demanda, dada a necessidade de manter certos sistemas em funcionamento; e foco na mensuração de volumes e massas, ao invés de tempos de produção.

Características dos processos de produção de fluxo contínuo incluem ainda, segundo, Awbrey e Silber (2015) e Corrêa, H. e Corrêa, C. (2008): produção não medida durante o processo, mas apenas quando o processo se completa (produção não discreta); equipamentos com finalidades específicas (baixa flexibilidade e baixa variedade de produtos); equipamentos instalados de acordo com as etapas do processo produtivo, configurando quase que um único equipamento; equipamentos conectados uns aos outros por meio de correias transportadoras ou tubulações; há fluxo ininterrupto de produção; períodos mais longos de produção de um mesmo produto, com redução da velocidade de produção em caso de mudanças de programação de produção e *setups* de equipamentos; ausência de estoques de produtos em processo além dos produtos que se movimentam no fluxo da produção; menor custo de mão de obra alocado nas operações; e interrupção em um ponto do fluxo significa a interrupção de toda a linha de produção.

Em tais processos, em geral, condições de temperatura, pressão e outras variáveis, inviabilizam a manipulação humana. Os trabalhadores, ou operadores, não atuam para maximizar o número de operações realizadas, como na indústria de processos discretos, mas sim intervindo quando se fizer necessário (em caso de mudanças de estado do processo em relação ao estipulado na receita de produção). Esses processos apresentam um elevado grau de integração via automação, pela própria natureza de controle e operacionalização requeridos. (HANSEN, 1996).

Borges e Dalcol (2002) realizaram uma comparação entre os processos de produção do tipo *Job-shop*, com o processo de produção contínua, na qual os autores chamaram de *Flow-shop*. O Quadro 2 mostra a síntese dessa comparação realizada pelos autores.

Quadro 2 - Comparação entre processos *Flow-shop* e *Job-shop*

<i>Flow-shop</i>	<i>Job-shop</i>
Rotas fixas.	Rotas variáveis.
<i>Layout</i> por produto.	<i>Layout</i> por processo.
Equipamento especializado.	Equipamento flexível.
Produção para estocar em grandes volumes.	Produção por encomendas em pequenos volumes.
Maiores <i>lead times</i> para aumentar a capacidade.	Menores <i>lead times</i> para aumentar a capacidade.
Capacidade bem definida.	Capacidade difícil de definir.
Intensiva em capital.	Intensiva em operários.
Baixos estoques intermediários.	Estoques intermediários significativos.
Menor coordenação de materiais.	Maior coordenação de materiais.
Operadores altamente especializados e treinados p/ monitorar e controlar os equipamentos de processo.	Operários possuem certa habilidade em algum tipo de equipamento e/ou máquina que fabricam os produtos.
<i>Overlapping</i> nas operações.	Inexistência de <i>overlapping</i> nas operações.
Falha nos equipamentos pode parar a planta.	Falha nos equipamentos pode parar a produção de alguns itens.
Atraso no recebimento de materiais e peças pode parar a planta.	Atraso no recebimento de materiais e peças que atrasam a produção de itens.
Maior consumo de energia.	Menor consumo de energia.

Fonte: Borges e Dalcol (2002, p. 3).

Salerno (1987) também realizou uma classificação de empresas de fluxo contínuo e intermitente. O referido autor utiliza uma nomenclatura particular para referir-se à indústria com processo de produção intermitente, que é indústria de forma e caracteriza essas como sendo a indústria tradicional de produção em alta série (automobilística, eletrodomésticos, eletrônica de consumo, etc.), séries pequenas e médias (mecânicas) ou por encomenda (certos tipos de bens de capital, por exemplo), nas quais os aspectos formais (aspecto, forma, tipo, dimensões, etc.) têm importância fundamental. As especificações do produto se traduzem por uma forma material.

Para referir-se à indústria de produção contínua, Salerno (1987) utiliza o termo de indústria de propriedade e caracteriza essas por apresentarem um processo de trabalho diferenciado em relação à indústria de forma (ou discreta). É o caso do refino de petróleo, petroquímica, cimento e outros, onde o que se almeja não é a forma, mas sim uma série de propriedades físico-químicas que o produto deve possuir.

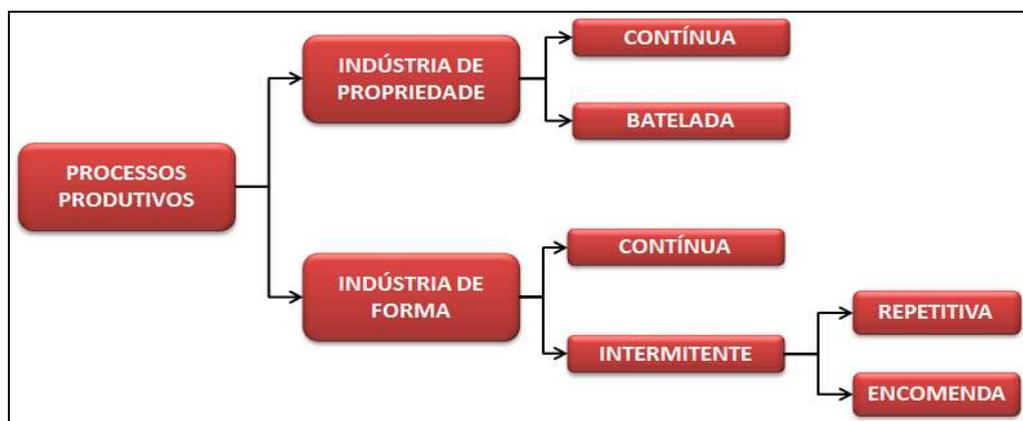
Dentro da chamada indústria de propriedade, ainda é possível fazer uma separação entre processos em batelada e processos contínuos. No caso de processos contínuos o tempo

de processamento por unidade é muito pequeno, porém a alta velocidade de produção e o grande custo atrelado a *setups* impõem que os pedidos tenham grandes volumes. A baixa variedade dos produtos, aliados ao baixo número de etapas de produção e a grande demanda por poucos produtos, torna aceitável altos investimentos em equipamentos chamados de *single purpose*, que se destinam a apenas uma função. (SALERNO; AULICINO, 2008). Tais equipamentos operam em regime de 24 horas por dia e sua utilização simplifica a determinação da disponibilidade de capacidade. Uma vez que a velocidade de produção é bastante alta, os custos com matérias-primas acabam por corresponder a grande parcela dos custos totais (cerca de 60-70%). (FRANSOO; RUTTEN, 1994).

Em processo por batelada, ao contrário, o número de etapas de produção é maior. Em indústrias de química fina (especialidades químicas), por exemplo, é comum distinguir, por vezes, mais de dez etapas de produção diferentes para um mesmo produto. O fato de se produzir uma maior variedade de produtos que requerem a utilização do mesmo equipamento, torna o controle da produção bastante complexo. Com frequência é necessária uma ampla reconfiguração de instalações para proporcionar novas condições de processo. (BORGES; DALCOL, 2002). Nos processos em batelada é geralmente difícil de fazer uma boa estimativa quanto à capacidade disponível. Isso resulta da maior complexidade no produto, em comparação com os produtos oriundos de indústrias de processo contínuo e, como consequência, a proporção do custo de matéria-prima no custo total de produção é menor e, o valor agregado, é maior. (BORGES; DALCOL, 2002).

Salerno (1987) propõe uma classificação dos processos produtivos, diferenciando indústria de forma da indústria de propriedade, bem como produção contínua e em bateladas como apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Classificação de processos industriais



Fonte: Adaptada pelo autor de Salerno (1987).

Outra característica que parece relevante na diferenciação dos dois tipos de processos é aquela que diz respeito à entrada em regime da indústria de propriedade. Dadas condições de pressão, temperatura e vazão em que ocorrerão os processos, esses apresentam um retardo entre a ativação (partida da unidade) e o efetivo início do regime produtivo (transformação), até que as condições estáveis de transformação sejam alcançadas. Por outro lado, na indústria de forma, a ativação de um equipamento corresponde ao início do regime produtivo do mesmo, na grande maioria dos casos. (HANSEN, 1996). Para sumarizar as principais características das indústrias de forma e de propriedade, de maneira comparativa, Hansen (1996) propõe o Quadro 3.

Quadro 3 - Principais características de processos contínuos e discretos

Características	Indústria de Forma	Indústria de Propriedade Contínua
Característica básica do produto	Forma (aspecto, dimensão, etc.).	Propriedades para o uso.
Volume de produção	Dependente do ritmo de trabalho físico direto na produção.	Independente do ritmo de trabalho físico direto na produção.
Execução da Produção	Homem e máquina realizam a produção.	Máquina realiza a produção e homem controla e supervisiona.
Medição da produção	Unitária e discreta.	Em volume (não unitária).
Composição da produção	Somatório de atividades discretas independentes.	Atividade contínua e única sem divisibilidade.
Controle da produção	Individualizado das atividades e do resultado.	Controle global do resultado e supervisão do processo como um todo (parâmetros).
Sincronização da produção	Existente ou não – dependente da gestão da produção.	Inerente à concepção do processo.
Lead Time (tempo de atravessamento)	Dependente do ritmo de trabalho e da gestão da produção.	Independente do ritmo de trabalho, inerente à concepção do processo.
Entrada em regime produtivo	Imediato (sem retardo) dos componentes.	Com retardo – dependente dos parâmetros do processo de transformação.
Disposição dos equipamentos de produção	Por funções ou por produto.	Somente por produto (característica produtiva).

Fonte: Hansen (1996, p. 19).

Outros autores também se preocuparam em realizar uma diferenciação e caracterização das indústrias de processos contínuos. Para Buffa (*apud* SALERNO, 1987) a principal variável é a padronização de insumos e equipamentos. Os processos contínuos possuem inputs e equipamentos padronizados, já os processos intermitentes teriam equipamentos flexíveis.

Os processos contínuos são padronizados, a produção ocorre sem interrupções no tempo e os equipamentos possuem baixa flexibilidade. (WOODWARD, 1977 *apud* SALERNO, 1987).

O conceito de "economia de tempo" na análise dos tipos de produção, segundo o qual se estuda a relação entre o volume de produção e o tempo de trabalho foi introduzido por Sohn-Rethel (*apud* SALERNO, 1987). O que caracteriza o tipo de processo de trabalho nas indústrias de forma é que o volume de produção depende do ritmo do trabalho, isto é, se o ritmo aumenta, a produção aumenta e vice-versa.

Já nas indústrias de propriedade, o processo de trabalho é caracterizado por estar baseado num complexo e integrado ao sistema de equipamentos, sendo que esse nível de integração significa que não há manipulação exterior, exceto em algumas cargas e descargas. É possível caracterizar os processos de trabalho na indústria de propriedade, já que o volume de produção não depende do ritmo ou da quantidade de trabalho empregado. Dessa maneira, esses processos não requerem dos operadores a maximização do número de movimentos por minuto, mas sim a capacidade de intervir no processo, adequando as variáveis do processo real (temperatura, pressão, vazão, etc.) às previstas teoricamente, quando surge algum imprevisto. (SALERNO; AULICINO, 2008).

O volume de produção nas indústrias de processo contínuo depende de cinco fatores básicos que seguem: (i) capacidade instalada; (ii) fator de utilização; (iii) relação entre a carga teórica e a carga real; (iv) duração das interrupções para carga, descarga e manutenção; e (v) capacidade dos operadores de efetuarem as correções pertinentes para adequar o processo. (SALERNO; AULICINO, 2008).

Retornando à análise quanto à dependência do volume de produção no ritmo de trabalho, na indústria de forma, o *lead time* é diretamente dependente do ritmo de trabalho. Já na indústria de propriedade, o *lead time* constitui um ponto dependente da concepção e das características de cada processo, sendo independente do ritmo de trabalho direto (esforço físico) empregado. A proporcionalidade referida entre ritmo de trabalho e produção, eventualmente, poderá existir nas atividades de apoio do processo produtivo na indústria de propriedade, principalmente nos processos que possuam características discretas semelhantes às da indústria de forma. (HANSEN, 1996).

2.1.3 Características Operacionais

Algumas técnicas como o *Just-In-Time* (JIT), o *Total Quality Control* (TQC), o *Total Quality Management* (TQM), em nível de princípios gerais de produção, o Sistema Toyota de Produção em nível de sistema de gestão da produção, além do Kanban, do *Manufacturing Resources Planning* (MRP/MRP II), do *Optimized Production Technology* (OPT) e posterior

Theory of Constraints (TOC) e do TPM, em nível de técnicas de gerenciamento da produção, possibilitaram a melhoria dos resultados das empresas. (HANSEN, 1996).

Essas abordagens mencionadas dirigiram-se, principalmente, à indústria de forma. É atribuído tal fato à crescente demanda verificada pelos produtos desse tipo de indústria no período pós-guerra, pois constituíam o principal foco concorrencial em nível internacional e, também, por terem sido considerados o objeto de aplicação de grande parte das inovações tecnológicas. Nesse tipo de indústria, os resultados alcançados pela aplicação das técnicas e metodologias foram satisfatórios em termos de manutenção da sobrevivência e da competitividade empresariais. (SALERNO, 1987).

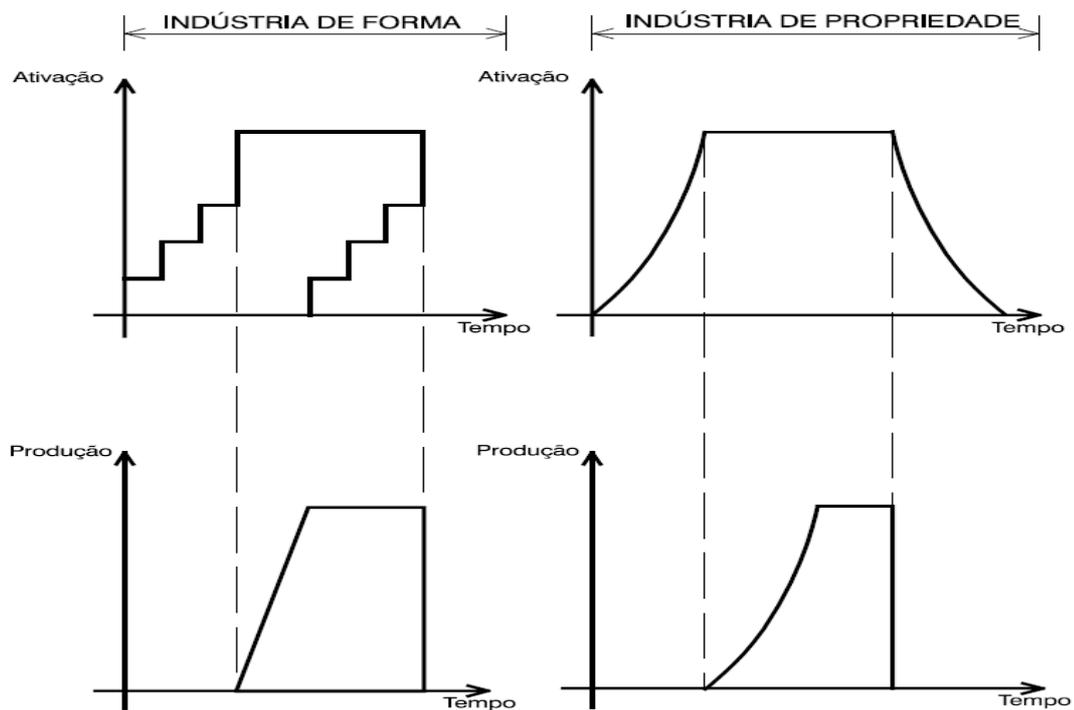
A indústria de propriedade (processos contínuos) teve sua produtividade melhorada em grande parte através da exploração da automação à base da microeletrônica. A implementação de controladores integrados de processo e outros sistemas, e outras melhorias marginais auxiliaram no processo. Entretanto, essa indústria, cada vez mais intensiva em capital, passou de maneira progressiva e sofre reflexos das dimensões competitivas emergentes no cenário internacional. Como destaque, o acirramento da concorrência baseada nos custos, tempo e qualidade, fatores ligados às questões ambientais e à saúde, segurança e condições de trabalho, além de outros aspectos. (HANSEN, 1996).

Outra peculiaridade da operação das indústrias de processos contínuos é quanto ao tempo de preparação do equipamento (*setup*) que é geralmente pequeno (ou até mesmo inexistente) em relação ao tempo de operação. Os equipamentos são instalados de acordo com o produto que produzem, as capacidades individuais de cada equipamento necessitam estarem ajustadas, as matérias-primas implicam, normalmente, em uma sistemática quase contínua de recebimento, a capacidade ociosa do processo como um todo é geralmente pequena, e a movimentação de material internamente ao processo é rápida, automática e contínua, realizada através de equipamentos de transferências como. (BORGES; DALCOL, 2002).

Características operacionais das indústrias de produção contínua também foram explicitadas por Hansen (1996). O autor menciona como características principais o fato de que as condições físicas (pressão, temperatura, vazão, etc.) dos processos são bastante diferentes das condições ambientais. Transformações físico-químicas dos materiais e insumos, o atingimento dos parâmetros operacionais estáveis (partidas e entradas em regime) e o retorno às condições ambientais (paradas), implicam períodos de não produção significativos que, apesar disso, consomem insumos. Diferentemente da indústria de produção discreta onde a parada de equipamentos ou etapas da produção, bem como o seu reinício constituem atividades praticamente isoladas e instantâneas, sem necessariamente apresentar repercussão sobre o

produto final, a paralisação de um componente de um sistema produtivo na indústria de processos contínuos afeta diretamente a produção global, além do que a descontinuidade não se restringirá ao equipamento parado, mas também aos períodos de saída e reentrada em regime do processo de transformação. O Gráfico 3 apresenta uma representação esquemática da ativação-desativação e início-parada de produção dos processos produtivos contínuos e discretos.

Gráfico 3 - Ativação-desativação e início-parada de produção dos processos produtivos



Fonte: Hansen (1996, p. 26).

Diferentemente da indústria de forma, onde a partida de um equipamento praticamente corresponde ao início de sua produção, e atingida a velocidade de trabalho a produção é, via de regra, diretamente proporcional ao tempo efetivo de trabalho. Sendo que a indústria de propriedade apresenta diferentes taxas de conversão (rendimentos de transformação) dentro da faixa possível de trabalho, fazendo com que sua produção não seja diretamente proporcional ao tempo de trabalho, mas variando também em função do nível utilizado da capacidade máxima. Considerando-se essas características típicas, a maximização da produção implica, simultaneamente, na minimização das paradas (disponibilidade) e na continuidade operativa na faixa de melhor rendimento (produtividade) do processo de

transformação. (HANSEN, 1996). O Quadro 4 ilustra as principais características quanto à operação, listadas pelo referido autor.

Quadro 4 - Características operacionais da indústria de produção contínua

Resumo das características operacionais da indústria de produção contínua
A disponibilidade operativa é a principal meta operacional.
Há defasagem temporal entre a ativação-desativação dos equipamentos e o início-parada de produção dos processos produtivos.
A produção não é diretamente proporcional ao tempo transcorrido, sendo também influenciada pelo rendimento de transformação, dependente do nível de capacidade utilizado.
Os gargalos operacionais são constituídos pelos equipamentos de menor capacidade efetiva, determinados pela severidade das condições de trabalho.
A manutenção dos equipamentos constitui aspecto fundamental, uma vez que a parada de um componente afeta a produção de toda a instalação.
Considerando a característica de controle global dos parâmetros do processo produtivo, o sistema de controle e supervisão das instalações é sofisticado e automatizado.
Os operadores têm por função supervisionar e controlar os parâmetros e corrigi-los, esses não realizam manipulação direta dos insumos e produtos.
Os processos produtivos apresentam operação ininterrupta.
Estoques de matérias-primas e produtos são reduzidos para atender emergências e garantir continuidade de abastecimento.
A indústria de propriedade por batelada apresenta paradas de preparação de linhas para mudança de produto.

Fonte: Hansen (1996, p. 30).

2.1.4 Características Econômicas

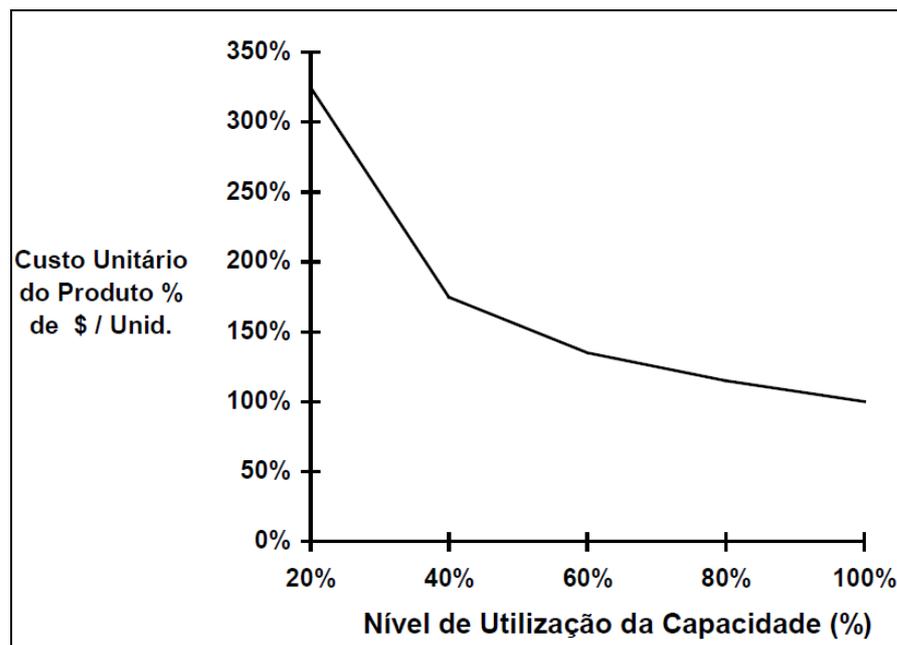
A produção, nos processos contínuos, em grande parte das vezes implica elevados custos de investimento, tanto para instalações quanto para melhorias de manutenção e de processo, e também elevadas parcelas de custos fixos incidentes sobre os produtos finais. Outra grande parcela dos custos unitários finais é devida à matéria-prima. Esses processos costumam ser projetados para elevados fatores de utilização, nos quais apresentam custos competitivos e graus de eficiência adequados. Mais particularmente para indústrias de primeira geração, os efeitos econômicos da interrupção da produção são bastante acentuados, para não dizer desastrosos, pela sua repercussão em toda a cadeia produtiva existente até o consumidor final. (HANSEN, 1996).

Toledo, Ferro e Truzzi (1986) apontam dois aspectos básicos que são: (i) a independência entre o ritmo de trabalho e a produtividade é a característica mais essencial para compreender a lógica de operação de um processo contínuo. O ritmo de produção, não depende fundamentalmente do ritmo de trabalho da mão de obra, obedece muito mais à performance e ao rendimento das instalações como um todo. Se os equipamentos trabalham bem (dentro dos parâmetros preestabelecidos e sem a ocorrência de panes), obtém-se alta produtividade, com o desempenho do equipamento tendendo à sua capacidade nominal e (ii)

plantas industriais intensivas em capital e custos de mão de obra são fixos. As indústrias de processo contínuo dependem, para sua instalação, de montante expressivo de investimentos em equipamentos em relação aos custos despendidos com a mão de obra, que tendem a se comportar como fixos, pois o volume de mão de obra empregada não se altera em conformidade com o volume de produção.

Hansen (1996) faz uma interpretação quanto aos custos de produção da indústria de processos contínuos frente à utilização dos ativos. O autor relata que, o custo unitário do produto final reduz-se à medida que aumenta o percentual de utilização da capacidade da instalação. Tal fato também está atrelado com a sua coincidência com as faixas de melhor rendimento do processo de transformação estarem na maior utilização dos equipamentos. O Gráfico 4 apresenta uma representação esquemática genérica do comportamento do custo unitário total do produto em função do percentual da capacidade máxima utilizada.

Gráfico 4 - Custo unitário de produção frente ao nível de utilização da capacidade instalada



Fonte: Hansen (1996, p. 41).

Outras características econômicas das indústrias de produção contínua podem ser encontradas na literatura. (HANSEN, 1996). São as principais:

- a) os investimentos e os custos de capital apresentam tendências crescentes para o futuro;
- b) a classificação característica de custos divide-se em custos de operação, manutenção e capital;

- c) a questão econômica impulsiona no sentido do melhor planejamento e execução da produção através da maior qualificação da mão de obra;
- d) estrutura de custos - custos fixos (operação, manutenção e capital) - custos variáveis (matérias-primas e insumos);
- e) custos fixos - representam a menor parcela;
- f) geralmente são longos os prazos de amortização dos investimentos;
- g) adota princípio do custeio integral;
- h) utiliza normalmente o método dos centros de custos.

2.1.5 Características da Medição de Desempenho

Outra peculiaridade da indústria de produção contínua, e que é o foco principal do presente trabalho, está atrelado à medição de desempenho do processo produtivo. Os indicadores de desempenho mais utilizados são os com enfoque em produtividade, em utilização da capacidade instalada, em velocidade de entrega e de processo e em flexibilidade. (DAVIS; CHASE; AQUILANO, 2001 *apud* MENITA *et al.*, 2011). A produtividade aponta a eficiência com a qual as variáveis de entrada são transformadas em variável de saída. É o resultado obtido da aplicação de recursos técnicos, operacionais e de materiais em um processo de produção. Via de regra são medidos através de uma unidade relativa, como por exemplo, quilos por hora, unidades por funcionário, metro cúbico por tonelada, etc. (DAVIS; CHASE; AQUILANO, 2001 *apud* MENITA *et al.*, 2011).

A capacidade aponta o volume de saída do processo. Apesar desse indicador sempre ser calculado em referência a uma unidade de tempo (vazão mássica ou volumétrica), o mesmo é apresentado em unidades absolutas, como por exemplo, quilos produzidos, unidades produzidas, litros produzidos, etc. Como indicador de desempenho, a capacidade está atrelada ao conceito de capacidade do projeto, que é definido como o volume ideal de saída em condições normais para a qual o projeto foi dimensionado. Já a capacidade máxima pode ser definida como o volume de saída máximo quando os recursos produtivos disponíveis estão sendo utilizados ao máximo. Outro conceito é o de utilização da capacidade, que aponta o grau de utilização dessa, medida pela divisão da produção real pela capacidade do projeto ou pela capacidade máxima, dependendo da empresa. (DAVIS; CHASE; AQUILANO, 2001 *apud* MENITA *et al.*, 2011).

Outros importantes indicadores são: (i) a velocidade de entrega ou *lead time* ou ainda, tempo de atravessamento, que é o tempo entre o pedido do produto até a sua entrega ao

cliente; e (ii) velocidade do processo, que mostra o tempo real necessário para a fabricação do produto, ou seja, o tempo onde realmente foi adicionado o valor ao produto, sendo a velocidade de processo medida pela divisão do tempo de atravessamento do produto pelo tempo do valor adicionado. (DAVIS; CHASE; AQUILANO, 2001 *apud* MENITA *et al.*, 2011).

A flexibilidade, é outro indicador apontado por Davis, Chase e Aquilano (2001 *apud* MENITA *et al.*, 2011), que decorre sobre a capacidade de um processo produtivo de atender as necessidades específicas dos clientes, estar associada à velocidade de conversão de um processo produtivo, à capacidade do processo em absorver alterações ou flutuações do volume de produção e à habilidade do processo em produzir mais de um produto simultaneamente.

Um indicador que está referenciado tanto ao indicador de produtividade como ao de capacidade é o de eficiência da linha de produção que é uma medida expressa em percentual e que mensura a relação entre um resultado real obtido e um resultado definido como meta ou objetivo a ser obtido, sendo esse definido considerando a capacidade do projeto ou a capacidade máxima ou até mesmo tendo como referência um histórico de resultados. (SHMULA, 2015).

Outros indicadores utilizados não medem diretamente a eficiência da linha de produção, mas medem desempenhos de atividades que podem interferir nessa eficiência. É o caso dos indicadores relacionados às perdas e desperdícios, como o tempo perdido de produção devido a problemas técnicos e operacionais, perdas de produtos, de materiais, etc. (COCCA; ALBERTI, 2010).

O sistema de medição de desempenho se baseia na comparação de resultados alcançados contra padrões estabelecidos. No caso da indústria de produção contínua, tal padrão é o atendimento imediato do mercado consumidor. No caso da indústria de batelada, o padrão consiste na realização da produção programada. A questão chave que garante a obtenção dos resultados buscados nas duas situações, vincula-se à disponibilidade operacional ou de produção. Por outro lado, a medição apresenta caráter eminentemente quantitativo em qualquer das situações, sendo o aspecto qualitativo tratado de forma independente. (HANSEN, 1996). O Quadro 5 apresenta uma síntese, realizada por Hansen (1996), acerca das características da medição de desempenho da indústria de propriedade.

Quadro 5 - Medição de desempenho da indústria de propriedade

Características do sistema de medição de desempenho da indústria de Propriedade
Medição baseada na comparação dos resultados alcançados com padrões estabelecidos.
Medição de caráter quantitativo.
Medição qualitativa independente.
A disponibilidade operacional é o fator chave para atingimento dos resultados.
Padrões (metas) de desempenho são diversos na indústria de propriedade contínua e por batelada.
A medição de desempenho não enfoca as causas dos desvios entre realizado e programado.

Fonte: Hansen (1996, p. 49).

Uma vez explicitados os principais aspectos relativos às indústrias de produção contínua, segue para a conceituação de produtividade, eficiência, eficácia e efetividade. Também serão apresentados conceitos sobre o processo de melhoria contínua, que podem ser estruturados em virtude de uma correta medição de desempenho de produção.

2.2 Eficiência, Eficácia, Produtividade, Efetividade e Melhoria Contínua

Esta seção visa conceituar produtividade, eficiência, eficácia e efetividade, pois, por vezes as expressões: “mais ou menos eficiente” ou “mais ou menos produtivo” são utilizadas sem que se faça um esclarecimento quanto à diferença entre esses termos. Também serão abordados conceitos referentes o processo de melhoria contínua.

2.2.1 Eficiência, Eficácia, Produtividade

À maneira como são usados os insumos dentro do processo de produção, e como são convertidos em produtos finais, pode-se chamar de eficiência. (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). O conceito de eficiência é dado como sendo a relação entre quantidade de recursos planejados e/ou estimados para executar o processo de produção e os recursos realmente consumidos. (SINK; TUTTLE, 1989). Eficiência, refere-se ao processo, ou a forma de realizar uma determinada tarefa. Para conceituar eficiência, não é analisado se aquilo que foi produzido com eficiência é eficaz, ou seja, se o produto ou o resultado do trabalho eficiente está adequado à finalidade proposta. Uma ação pode ser eficiente sem ser eficaz, assim a eficiência é a comparação dos resultados alcançados com os recursos utilizados. Quanto mais resultados obtidos para uma determinada quantidade de recursos disponíveis, maior a eficiência organizacional. (SANDRONI, 1996).

Para a medição de eficiência de produção é necessário que se conheça a capacidade da unidade. Conforme evidenciou-se através de entrevistas, é comum em sistemas de produção contínua confundir capacidade com nível de atividade. Quando um indicador menciona a utilização de termo relativo a máxima quantidade teórica de produtos possível de ser fabricada em determinado tempo, isto nada mais é do que a capacidade da unidade. Osório (1988) versa sobre a diferenciação entre capacidade e nível de atividade. O referido autor define capacidade como sendo o uso durante o maior tempo possível de um equipamento com a maior produtividade técnica alcançável. Já o nível de atividade é dado pelo produto do tempo útil previsto pela produtividade técnica prevista. Como o tempo útil previsto será sempre menor ou igual ao tempo máximo possível de operação, bem como a produtividade técnica prevista menor ou igual a máxima o nível de atividade será, sempre, menor ou igual a capacidade (OSÓRIO, 1988).

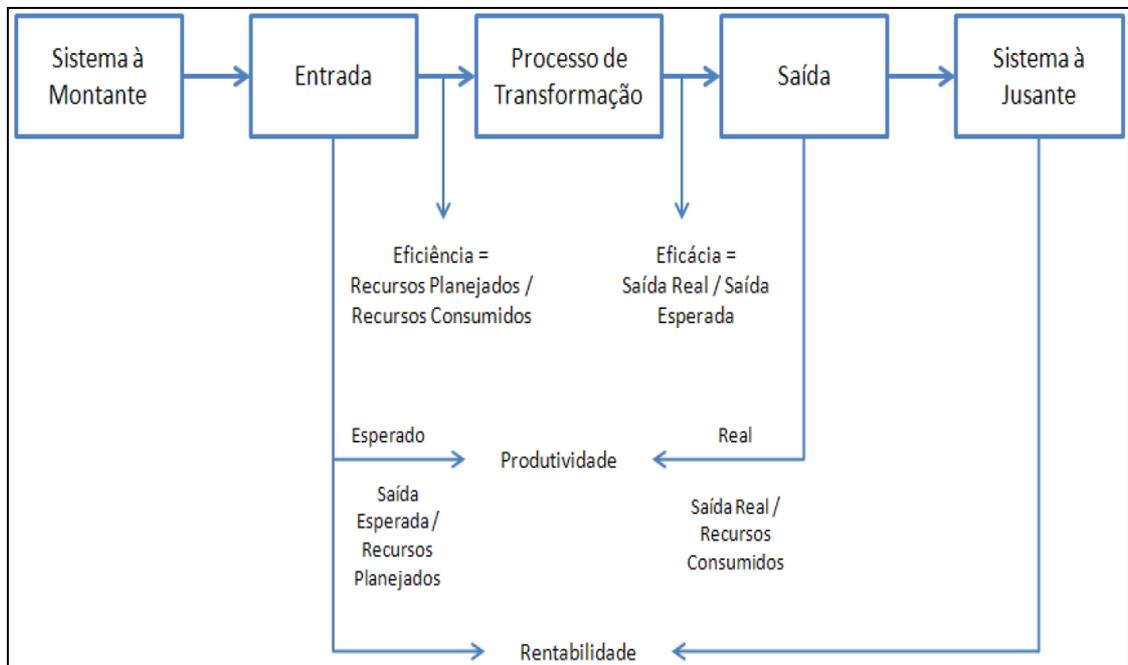
Eficácia é o real cumprimento do que se espera no tempo certo e na qualidade correta, ou seja, o grau de atendimento ao esperado. (SINK; TUTTLE, 1989). Assim, no contexto de sistema de produção, diz-se que é a relação entre o que pode ser produzido e o que realmente foi produzido, levando em consideração questões de tempo e qualidade. Eficácia consiste no cumprimento das metas traçadas. Ferreira e Gomes (2009 *apud* GILSA, 2012) destaca que a eficácia é a capacidade de “fazer a coisa certa” ou fazer com que as coisas sejam realizadas. Isso inclui a escolha dos objetivos mais apropriados e os métodos certos para alcançar os objetivos definidos. O monitoramento da eficácia apresenta informações sobre as metas alcançadas e se elas correspondem ou divergem em relação ao que havia sido proposto no início da medição. Conceitualmente, eficácia representa o atendimento aos objetivos propostos, sem considerar os recursos utilizados. Pode-se dizer que algo é eficaz se o objetivo final foi atingido independente dos recursos utilizados. (MINAYO, 2011).

Produtividade é a relação entre o que sai do sistema de manufatura conforme esperado e o que entra, ou seja, os recursos para a produção. O termo produtividade é comumente utilizado para expressar o uso do trabalho, sendo calculada pelo quociente da quantidade produzida por unidade de tempo ou recurso. Ferreira e Gomes (2009 *apud* GILSA, 2012) apresentam produtividade como a forma de utilização dos recursos para realizar a produção. Em termos globais, a produtividade expressa a utilização eficiente dos recursos produtivos, tendo em vista alcançar a máxima produção na menor unidade de tempo e com menores custos. A produtividade varia conforme as tecnologias de produção disponíveis para cada organização, na eficiência do plano de operação observado e no ambiente em que é realizada a produção. A análise desses fatores possibilita identificar possíveis fontes de ineficiência,

bem como a alternativas que possibilitam o aumento da produtividade (FERREIRA; GOMES, 2009 *apud* GILSA, 2012). Sandroni (1996) destaca que produtividade é o resultado da divisão da produção física obtida em uma unidade de tempo por um fator empregado na produção. Heizer e Render (2001) definem produtividade como sendo a relação entre a quantidade de bens ou serviços gerados (*outputs*) e a quantidade de recursos consumidos para gerá-los (*inputs*) num mesmo intervalo de tempo.

Busso (2012) apresenta a correlação entre os conceitos apresentados por Sink e Tuttle (1989), através da Figura 5.

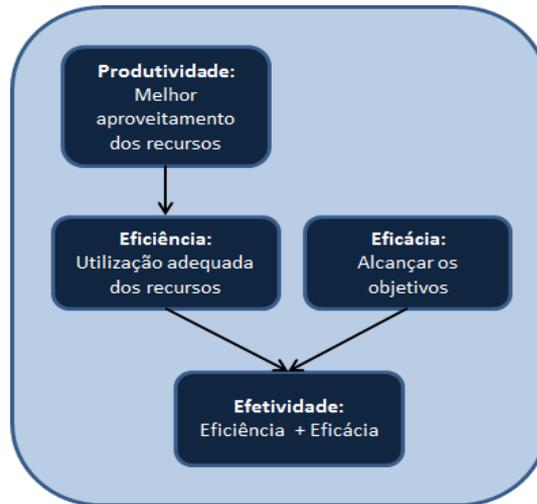
Figura 5 - Critérios de avaliação de desempenho



Fonte: Sink e Tuttle (1989 *apud* BUSSO, 2012, p. 18).

A avaliação de efetividade capta os efeitos de um projeto ou programa, e tem por finalidade aferir as mudanças quantitativas e qualitativas promovidas pela intervenção. A avaliação considera o antes e o depois da execução de uma mudança ou compara os resultados obtidos com outra situação em condições semelhantes, sobre a qual não houve a mudança. (MINAYO, 2011). Sandroni (1996) define efetividade como o desempenho de uma organização em relação aos resultados alcançados e aos objetivos propostos. A Figura 6, proposta por Gilisa (2012), sumariza os conceitos apresentados.

Figura 6 - Resumo conceitos apresentados



Fonte: Adaptada pelo autor de Gilsa (2012, p. 36).

2.2.2 Melhoria Contínua

Os resultados das medidas de desempenho são necessários para decisões da gestão das empresas. Informações providas dos indicadores de desempenho devem ser utilizadas para a empresa angariar benefícios competitivos e se sobressair frente aos concorrentes. O processo de melhoria contínua requer o acompanhamento de indicadores de desempenho. Para que seja possível a obtenção de vantagens, através da correta utilização da medição de desempenho, é necessário que as empresas tenham um processo estruturado de melhoria contínua.

O conceito de melhoria contínua está associado à habilidade de resolver problemas (BESSANT; CAFFYN; GALLAGHER, 2001) por meio de pequenos passos, alta frequência e ciclos curtos de mudança. (BESSANT *et al.*, 1994). Tais ciclos são caracterizados pela alternância entre momentos de controle e de ruptura no desempenho. A ideia de ruptura remete ao fato de mudar os padrões de desempenho para níveis melhores, já o controle pode ser conceituado como aderência ao padrão, levando à manutenção do *status quo*. (ATTADIA; MARTINS, 2003). Mesmo com significados opostos, essas duas atividades se complementam mutuamente, além disso, são vitais para a sobrevivência da maioria das empresas, ao ponto que possibilitam à organização a implementação das mudanças e perpetuá-las ao longo do tempo. (JURAN, 1995).

Existem diversos métodos que auxiliam na sistematização de processos de melhoria contínua. Um dos métodos mais conhecidos e difundidos é o ciclo *Plan Do Check Act* (PDCA) que permite sistematizar esforços para melhoria contínua. Por sua vez, existem três

tipos de melhoria: controle de processo, melhoria reativa e melhoria proativa. (SHIBA; GRAHAM; WALDEN, 1997).

A literatura apresenta diversos modelos para a gestão de melhoria contínua. Gerolamo (2003) apresenta um modelo de gerenciamento da melhoria e mudança organizacional baseado no ciclo PDCA. Segundo o referido autor, com a utilização do ciclo torna-se mais fácil a priorização e o desdobramento de ações de melhorias e mudanças que tenham maior impacto no desempenho. Simões e Alliprandini (2006) propõem um modelo de boas práticas da melhoria contínua. Tal modelo tem como propósito a interação e coordenação das atividades da produção de forma integrada, e está estruturado em quatro fases. Zampini e Toledo (2008) propõem um modelo para a estruturação de programas de melhoria contínua. O objetivo do modelo é integrar a gestão da melhoria contínua com as estratégias de negócio de forma sistemática. O Quadro 6 mostra uma síntese dos três modelos de gestão de melhoria mencionados, fazendo uma comparação do número de etapas de cada modelo, com o foco de cada um, a abrangência e os resultados esperados.

Quadro 6 - Síntese dos modelos apresentados

Autores	Gerolamo (2003)	Simões e Alliprandini (2006)	Zampini; Toledo (2008)
Etapas do modelo	Quatro etapas do ciclo PDCA dividido em 8 subetapas.	Quatro etapas do ciclo PDCA.	Quatro etapas do ciclo PDCA.
Foco do modelo	Diretrizes para implantação e execução de um processo de gestão de melhoria contínua.	Definição de processos operacionais de modo a sistematizar a implementação do processo de boas práticas. Definição de indicadores operacionais e táticos para análise estratégica.	Criação de uma normatização para o processo de melhoria contínua. Criação de um ambiente favorável para melhoria contínua através de aspectos motivacionais.
Abrangência do modelo	Questões estratégicas (estratégias emergentes e futuras) e adaptação da empresa ao ambiente externo.	Questões estratégicas da firma, comparação com concorrência, desejos de clientes e aspectos de comunicação.	Trabalhar aspectos motivacionais de maneira que reflitam em atitudes de melhoria contínua para suportar a estratégia da firma.
Resultados esperados	Identificar áreas que necessitam de maior apoio, desenvolver novos planos de atuação e identificar exemplos de boas práticas no sentido de suporte as estratégias adotadas.	Interação e coordenação das atividades da produção de forma integrada.	Integrar a gestão da melhoria contínua com as estratégias de negócio de forma sistemática.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a caracterização das indústrias de produção contínua, apresentados os conceitos dos principais indicadores de desempenho e citados modelos de gestão de melhoria contínua, parte-se para a apresentação do referencial relativo aos indicadores de eficiência.

2.3 Indicadores de Eficiência: OEE e seus indicadores derivados

A presente seção do referencial irá abordar os conceitos iniciais acerca do indicador OEE, como este foi concebido e a análise de perdas. Também será realizada a apresentação de indicadores derivados do OEE e uma análise da abrangência desses indicadores.

2.3.1 O Indicador OEE

Em sistemas de produção em massa se faz necessário assegurar elevada disponibilidade dos equipamentos para ter o produto final no tempo certo para o cliente. Desse modo, quando as causas das perdas de capacidade são identificadas, é possível empreender esforços para reduzi-las ou eliminá-las. (BUSSO, 2012).

Johnsson e Lesshammar (1999) afirmaram que é necessário estabelecer um sistema integrado de avaliação do desempenho global da manufatura para promover competitividade da empresa pela correta utilização de seus recursos de produção. A competitividade das empresas depende da disponibilidade e da produtividade de seus recursos de produção (equipamentos, matérias-primas, pessoas, etc.). (FLEISHER *et al.*, 2006). E elevar a produtividade passa por eliminar perdas no sistema de produção. Hansen (2006) e Nakajima (1988) apresentam perdas e ineficiências como uma fábrica escondida, representando uma parcela do recurso da empresa que não está sendo aproveitado.

As perdas, em uma fábrica podem ser classificadas em duas categorias, as chamadas perdas crônicas e as perdas esporádicas, essa classificação é em decorrência da intensidade e da frequência com que elas ocorrem. As perdas crônicas são geralmente de pequena intensidade e de difícil identificação. Outro fator que torna difícil a visualização dessas perdas é que elas são o resultado de várias causas concorrentes. Já as perdas esporádicas são mais evidentes, uma vez que acontecem de maneira rápida e representam grandes desvios do estado normal. São irregulares, e os seus efeitos são geralmente considerados problemas graves. Essas são as perdas que possuem maior potencial de causar danos graves, que resultam na baixa utilização de equipamentos e custos elevados. As perdas crônicas são mais difíceis de serem identificadas, uma vez que podem ser vistas como o estado normal de operação. (LJUNGBERG, 1998; NAKAJIMA, 1988). O Gráfico 5 apresenta o comportamento típico das perdas esporádicas e crônicas nas medições de eficiência.

A capacidade de registrar os indicadores chaves e investigar como a produção contribui para o desempenho global é de vital importância para avaliar e compreender como

realizar medições de perturbações nos processos de fabricação. (JONSSON; LESSHAMMAR, 1999). Conforme Martins (1998), as principais características esperadas de um sistema de medição, citadas por diversos autores, se resumem em: (i) ser coerente com a estratégia competitiva; (ii) estabelecer medidas financeiras e não-financeiras; (iii) direcionar e suportar a melhoria contínua; (iv) identificar tendências e progressos; (v) facilitar o entendimento das relações de causa-e-efeito; (vi) ser facilmente inteligível para os funcionários; (vii) abranger todo o processo da empresa, desde o fornecedor até o cliente final; (viii) prover informações em tempo real para toda a organização; (ix) ter dinamismo; (x) influenciar a atitude dos funcionários; e (xi) avaliar o grupo e não o indivíduo.

Gráfico 5 - Perdas crônicas e esporádicas



Fonte: Chiaradia (2004, p. 34).

Um dos indicadores utilizados por Nakajima (1998) no desenvolvimento do TPM foi o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Segundo o referido autor, para atingir altos índices de OEE é necessário eliminar perdas as quais o autor chamou de “Seis Grandes Perdas”. Johnson e Lesshammar (1999) descrevem essas como: perdas por parada do equipamento; perdas por setup e ajustes; perdas por operação em vazio ou pequenas paradas; perdas por redução de velocidade; rendimento reduzido; quebras e retrabalhos de qualidade.

As duas primeiras grandes perdas são conhecidas como perdas por tempo de parada, e são utilizadas para ajudar a calcular o valor verdadeiro para a disponibilidade do equipamento. A terceira e quarta grandes perdas são perdas de velocidade que determinam o desempenho da máquina, isto é, as perdas que ocorrem como uma consequência de operar abaixo das condições ótimas. As duas perdas finais são consideradas como perdas devidas a

defeitos, sendo que um número grande de ocorrências significa uma taxa menor de qualidade das peças dentro da fábrica. (NAKAJIMA, 1998).

O indicador OEE representa um papel fundamental no sentido de maximizar a eficiência dos equipamentos, por se tratar de uma métrica que não somente gera o resultado de eficiência, como permite análises mais detalhadas das perdas de uma firma a partir do desdobramento do cálculo. (CHIARADIA, 2004).

À medida que um maior número de profissionais apresentou a eficiência dos equipamentos em seminários e artigos relacionados ao TPM, esse começou a ser visto como uma ferramenta autônoma para medir o real desempenho de um equipamento, por meio do inter-relacionamento de indicadores de disponibilidade ou *Availability Efficiency* (A_{ef}), eficiência ou *Performance Efficiency* (P_{ef}) e qualidade ou *Quality Efficiency* (Q_{ef}). (VACCARO; KORZENOWSKI, 2015). As expressões (1) a (4) apresentam o cálculo desse indicador:

$$OEE = f(A_{ef}, P_{ef}, Q_{ef}) \quad (1)$$

Vaccaro e Korzenowski (2015), a partir de Nakajima (1988), apresentam as equações para o cálculo do OEE da seguinte forma:

$$OEE = \frac{\text{Tempo Total Produtivo}}{\text{Tempo total Planejado}} \quad (2)$$

$$OEE = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \times q_i}{T_p} \quad (3)$$

$$OEE = \frac{T_p - \sum_{i=1}^n D_i}{T_p} \cdot \frac{T_p - \sum_{i=1}^n (D_i - S_i)}{T_p - \sum_{i=1}^n D_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n t_i \times q_i}{T_p - \sum_{i=1}^n (D_i - S_i)} \quad (4)$$

onde t_i representa uma unidade de tempo padrão para o produto i ($\forall i \in \{1, \dots, n\}$), q_i a quantidade de produtos i fabricados (total de produtos produzidos descontados da quantidade de produtos com problemas de qualidade), T_p representa o tempo total planejado para o recurso que é a restrição, D_i representa o tempo devido a paradas não programadas durante a produção de i , e S_i representa as perdas por performance associadas à produção do produto i . (VACCARO; KORZENOWSKI, 2015). Realizando uma comparação da equação (1) com a equação (4) pode-se observar que os termos de *Availability Efficiency*, *Performance Efficiency* e *Quality Efficiency* mencionados na primeira referem-se as três frações que

compõem a equação (4). Analisando a equação (4) verifica-se que também é possível monitorar cada parâmetro (*Availability Efficiency*, *Performance Efficiency* e *Quality Efficiency*) separadamente.

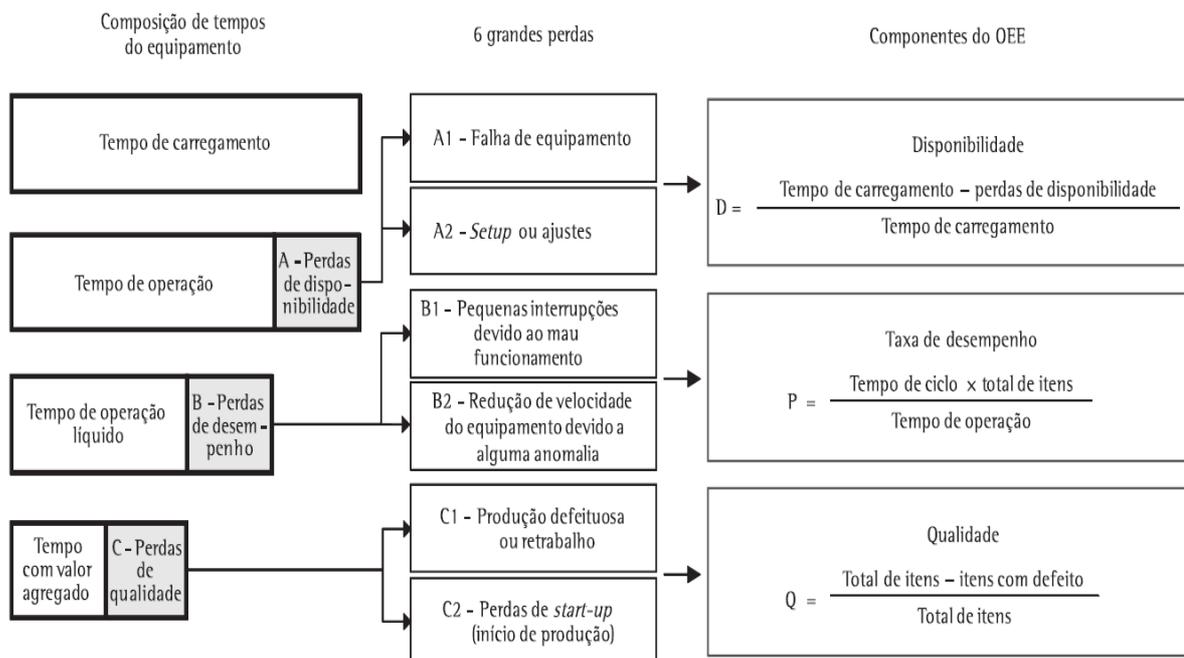
Caso o que estiver em análise no cálculo for um recurso crítico, ou equipamento gargalo, o indicador é denominado *Total Effective Equipment Productivity* (TEEP), e utilizado como uma alternativa ao OEE. (IVANCIC, 1998 *apud* VACCARO; KORZENOWSKI, 2015). Para o cálculo do TEEP, basta multiplicar o OEE pela razão entre o tempo total planejado para o recurso que é a restrição (T_p), pelo tempo total disponível do equipamento (T_t). (VACCARO; KORZENOWSKI, 2015). Desse modo tem-se a expressão (7):

$$TEEP = \frac{T_p}{T_t} \cdot OEE \quad (5)$$

Hansen (2006) utiliza uma notação diferente, com nomenclatura semelhante para representar a mesma equação de OEE, baseado em Nakajima (1988), porém o significado do cálculo permanece o mesmo.

Outra forma de visualização desses conceitos é dada por uma figura normalmente encontrada na literatura que faz uma relação entre as perdas e o cálculo dos componentes e do indicador OEE é apresentada na Figura 7. (BRAGLIA; FROSOLINI; ZAMMORI, 2008; NACHIAPPAN; ANANTHARAMAN, 2006).

Figura 7 - Relação entre OEE e perdas



Fonte: Adaptada de Braglia, Frosolini e Zammori, (2008, p. 3) e Nachiappa e Anantharaman (2006, p. 4).

Para ter êxito na estratégia de cálculo de OEE é necessária uma boa coleta de dados. O sucesso de várias fábricas é afetado de maneira direta de como a acuracidade das informações são coletadas e analisadas eficientemente. (HANSEN, 2006). A coleta de dados pode ser obtida por um método manual ou automático. Quando coletados e registrados manualmente em formulários, por operadores, a coleta dos dados utilizados nos cálculos de eficiência é de acuracidade duvidosa. É necessário um cuidado maior durante a implementação do cálculo, até que se estabeleça a acuracidade desejada. Além disso, é imprescindível construir uma relação de confiança entre a chefia e os operadores, uma vez que essas coletas podem ser vistas como uma forma de encontrar culpados para os problemas existentes, e não como uma forma de monitoração e melhoria contínua da eficiência global. (LJUNGBERG, 1998).

Conforme Hansen (2006) deve-se obter a quantidade mínima de informações necessárias por produto a serem coletadas para iniciar análises do OEE, de modo que seja possível estudar as atividades de melhoria no equipamento, são: quantidade de peças produzidas por produto (ou outra unidade que a fábrica utilize); quantidade de peças retrabalhadas e sucateadas; informações dos tempos de ciclo atual e de engenharia por produto; tempos de parada do equipamento; tempo de produção por produto; horário de trabalho por produto (início e término); nome dos operadores; data de produção e código do produto.

A forma mais adequada de garantir a acuracidade das informações seria a coleta eletrônica, que minimiza a manipulação dos tempos de parada, visto que o sistema registra os tempos de início e fim das interrupções. Mesmo assim, ainda há uma brecha no que se refere à acuracidade das informações que são alimentadas no sistema, pois ainda está na mão do operador registrar os motivos de parada. (LJUNGBERG, 1998).

O indicador OEE também é utilizado como medida de desempenho de unidades (AHMAD; DHAFR, 2002; BERRAH; MAURIS; VERNADAT, 2004) e como métrica para gestão de melhorias (HUANG *et al.*, 2002, HUANG *et al.*, 2003, KENYON; CANEL; NEUREUTHER, 2005) ao invés de apenas indicador de eficiência de equipamentos. Porém, a literatura é repleta de questionamentos sobre a aplicação do OEE como indicador de desempenho global da manufatura. A maioria das empresas utiliza os indicadores de desempenho de forma inadequada, ou falham na escolha de tais indicadores. Um sistema integrado de avaliação do desempenho global da manufatura deve contemplar o que precisa ser medido sob as perspectivas da estratégia, da orientação ao fluxo, da eficiência interna e da eficácia externa. Adicionalmente, duas características sobre o modo como o desempenho global da manufatura deve ser medido, quais sejam: o potencial de sua utilização no

direcionamento de melhorias e a simplicidade/facilidade de acesso/atualização. Assumindo a premissa de que, provavelmente, não existe um sistema de medição que seja uma panaceia que satisfaça plenamente todas essas dimensões e características, esses autores apontam a necessidade de cada organização desenvolver seu próprio sistema de forma dinâmica e interativa. (JONSSON; LESSHAMMAR, 1999).

O Quadro 7 revela que o OEE pode não atender todas as dimensões e características consideradas por Johnson e Lesshammar (1999). No que diz respeito à perspectiva da orientação ao fluxo, dependendo da forma de obtenção dos dados, o OEE pode não considerar de forma integrada as atividades, processos e funções encontrados ao longo da cadeia de produção. Em relação à eficiência interna, revela uma visão limitada por contemplar somente as paradas causadas por problemas de manutenção e produção. Ademais, uma fragilidade do OEE é a sua falta de visão da eficácia externa, o que o impede de refletir o que ocorre na cadeia de valor identificando perdas que afetam o fluxo de processo, entre o recebimento do pedido e sua entrega ao cliente. Isso dificulta a percepção de *trade-off* entre o objetivo da manufatura e o de outras áreas que interagem com a mesma na busca dos resultados do negócio como um todo. (BUSSO; MIYAKE, 2013).

Quadro 7 - OEE e sistemas de medição de desempenho global

	Definição	Avaliação do OEE
Estratégia de Manufatura	Traduz as estratégias corporativas e de negócio em todos os níveis da organização.	Quando aplicado junto às metodologias de TPM/TQM permite definição de objetivos comuns e estratégias por toda a organização.
Orientação do Fluxo	Contempla funções, atividades e processos de forma integrada ao longo da cadeia de produção.	Não contemplada pelo OEE.
Eficiência Interna	Permite medir e comparar a eficiência funcional internamente a uma organização.	OEE é uma medida simples, mas abrangente. Porém nem sempre permite ser comparado entre diferentes áreas ou funções.
Eficácia Externa	Contempla medições externas, inclusive o nível de satisfação dos clientes.	Não contemplada pelo OEE.
Direcionador de Melhoria	Serve não somente para informar, mas também para acionar esforços de melhoria contínua.	Oferece grande contribuição quando utilizado como indicador de desempenho em processos de melhoria contínua.
Simple e Dinâmico	Simple e fácil de entender, calcular e usar. Pode evoluir com o tempo mediante revisões para se manter atualizado como indicador.	Foco no OEE, ao invés de diferentes medições para eficiência interna, simplifica o sistema de medição. Contudo, o OEE precisa ser complementado por outras medições.

Fonte: Adaptado de Johnson e Lesshammar (1999 *apud* BUSSO; MIYAKE, 2013, p. 209).

O Quadro 8 resume os principais benefícios e limitações da utilização do OEE como indicador de desempenho global da manufatura apontados na literatura. (BUSSO; MIYAKE, 2013).

Quadro 8 - Vantagens e desvantagens do uso do OEE

Benefícios	Limitações
Possibilita a análise de problemas de produção ou manutenção e consequente atuação na causa raiz (JEONG; PHILLIPS, 2001).	Quando aplicado a um escopo maior que uma única máquina (linha de produção ou planta), não direciona adequadamente as ações para melhoria contínua (BRAGLIA; FROSOLINI; ZAMMORI, 2008).
Possibilita a identificação de máquinas que devem ser foco de atividades de gestão da manutenção (BAMBER et al., 2003).	Não fornece visão sistêmica das perdas do negócio, pois não considera interações além do equipamento (JONSSON; LESSHAMMAR, 1999).
Permite comparação interna entre as máquinas de uma mesma planta (BAMBER et al., 2003).	A utilização somente do OEE pode definir responsabilidades para a área de produção que não necessariamente são da mesma (LJUNGBERG, 1998).
Registros de paradas para identificação das perdas permitem a complementação dos planos de manutenção já existentes (CHAND; SHIRVANI, 2000).	Dificuldade de reconhecer outras perdas com base na taxonomia das seis grandes perdas do OEE (JEONG; PHILLIPS, 2001).

Fonte: Busso e Miyake (2013, p. 210).

O OEE é amplamente aceito como uma medição primária para a fábrica que ajuda na avaliação dos equipamentos e que define uma disciplina para melhoria. No entanto, por estar restrito à medição do desempenho de equipamentos específicos e não abranger a interação com recursos relacionados, sua utilização acaba sendo confinada a um contexto local. (MUTHIAH; HUANG, 2007).

2.3.2 Outros Indicadores Derivados do OEE

Com o intuito de tentar solucionar alguns problemas relacionados ao uso do OEE como medidor de eficiência global de unidades, é necessário buscar outros indicadores que reflitam de maneira mais ampla o desempenho não somente de um equipamento ou uma área, mas que também possibilitem avaliar os impactos sobre todo o processo de manufatura. Indicadores que possam ser utilizados como balizadores para processos de melhoria, e que sejam simples de serem compreendidos, calculados e atualizados.

Muchiri e Pintelon (2008) colocam que na literatura são encontradas derivações do termo OEE de acordo com a sua aplicação. Caso se queira considerar em relação à eficiência de fábrica, o indicador é chamado de *Overall Factory Effectiveness* (OFE), em relação à eficiência de planta, esse é conhecido como *Overall Plant Effectiveness* (OPE) ou *Overall Asset Effectiveness* (OAE). Se o ponto em questão for uma ampliação da classificação das

perdas além das pertinentes ao processo de produção, pode-se encontrar o indicador *Total Overall Equipment Effectiveness* (TOEE) e quando considera a utilização da capacidade pela medição das saídas de produto, tem-se na literatura o *Overall Throughput Effectiveness* (OTE). Existem outras derivações como, por exemplo, o *Total Equipment Effectiveness Performance* (TEEP) que é a utilização do OEE no recurso gargalo e o *Production Equipment Effectiveness* (PEE) que considera que os diferentes tipos de perdas que devem ser ponderadas de formas diferentes na avaliação global. Segue-se uma breve explanação sobre a obtenção e o cálculo dos indicadores mencionados.

Temporalmente, o primeiro indicador alternativo, derivado do OEE foi o *Production Equipment Effectiveness* (PEE). Raouf (1994) versa sobre o indicador PEE, que tem por intuito medir a eficiência de forma diferente conforme o tipo de produção: no caso de produção discreta, considera os mesmos três componentes do OEE (disponibilidade, desempenho e qualidade), mas no caso de processo contínuo inclui componentes adicionais para considerar outros tipos de perdas como, por exemplo, falta de demanda. As variações do PEE foram chamadas respectivamente de PEE-disc e PEE-cont por Busso e Miyake (2013). As duas formas de calcular, diferentemente do OEE, admitem que seus componentes possuam pesos diferentes. De acordo com a proposição de Raouf (1994) para processos discretos, o cálculo do PEE, se dá pela Equação (6).

$$PEE_{disc.} = A^{k1} \times E^{k2} \times Q^{k3} \quad (6)$$

onde A representa disponibilidade, E a eficiência e Q o índice de qualidade e são calculados da mesma maneira que os índices análogos no OEE, já k1, k2 e k3 representam os pesos relativos de cada parcela, $\sum k_i = 1$ e $0 < k_i < 1$. No artigo original, o autor menciona a possibilidade de colocar os índices igual a 1, porém não faz sentido, uma vez que a formulação do indicador aponta para a utilização de todos os termos da equação. Já para a aplicação do indicador em processo de produção contínua o cálculo deverá ocorrer conforme a Equação (7).

$$PEE_{cont.} = A_1^{k1} \times A_2^{k2} \times E^{k3} \times QR^{k4} \times PSE^{k5} \times OU^{k6} \quad (7)$$

Onde:

A₁ = disponibilidade;

A_2 = operacionalização;

E = eficiência;

QR = índice de qualidade;

PSE = eficiência de suporte ao produto;

OU = utilização operacional;

k_1 até k_6 são os pesos dos respectivos componentes, e $\sum k_i = 1 ; 0 < k_i < 1$.

O termo relativo a operacionalização, utilizado na concepção do indicador PEEcont se refere a perdas devido a rampa de aumento de velocidade de produção existente em processo contínuo. Após a partida de uma unidade, leva-se algum tempo para que se possa atingir o máximo rendimento. Tal termo pode ser atrelado ao tempo total calendário (T) e também ao tempo de rendimento (Yi). Índices relativos são utilizados para definir o peso de cada parcela do indicador, utilizado também na formulação do PEE para produção intermitente (PEEdisc). Os outros termos que compõem o PEEcont, que são Eficiência de Suporte ao Produto e Utilidade Operacional, dizem respeito a fatores ligados ao departamento de marketing e vendas e rendimento quanto ao tempo de utilização dos ativos, respectivamente e estão ligados às variáveis de Tempo perdido com transações (logística) (Tni) e Tempo por falta de demanda (Td).

Chand e Shirvani (2000) propõem estender a aplicação do conceito de OEE para a avaliação de uma célula de produção em linha, considerando dados de saída de produtos conformes, tempo médio de ciclo e tempo de carregamento da célula/linha. Para facilitar a distinção deste com o OEE, Busso e Miyake (2013) propõem a denominação de OEEL (OEE de uma célula ou linha) que é calculado da mesma maneira que o OEE através da Equação (3).

Nachiappan e Anantharaman (2006) discorrem sobre a aplicação do indicador *Overall Line Efficiency* (OLE) como uma extensão do OEE para o cálculo da eficiência total da linha, considerando além das 6 grandes perdas, outras relacionadas às paradas por manutenção planejada. Esse indicador segundo os autores é melhor do que o OEE, pois permite fazer uma comparação mais realista da eficiência de linhas de produção. Os autores afirmam que é mais importante a maximização da eficiência de toda uma linha do que foco exclusivo na eficiência de equipamentos individuais. Os autores exemplificam a utilização do indicador através de uma simulação computacional para mostrar a sua aplicabilidade. Para o cálculo do OLE os autores propõem a Equação (8):

$$\text{OLE} = \text{LA} \times \text{LPQP} \quad (8)$$

onde, LA é a eficiência de linha em termos de disponibilidade, calculada conforme a Equação (9),

$$\text{LA} = \frac{\text{OT}_n}{\text{LT}} \times 100 \quad (9)$$

em que o OT_n é o tempo de operação do n-ésimo equipamento (o do processo final) da linha, que está atrelado à variável Tempo total disponível do equipamento (Tt) e LT é o tempo disponível para carregamento ou tempo planejado para a produção operar num dado período. E, para o cálculo de PLQP, os autores apresentam a Equação (10),

$$\text{LPQP} = \frac{G_n \times \text{CYT}}{\text{OT}_1} \times 100 \quad (10)$$

onde G_n é a taxa de produtos bons entregue pelo n-ésimo processo da linha; CYT é o tempo de ciclo no processo que é o gargalo da linha e OT_1 é o tempo de operação do primeiro processo da linha.

Braglia, Frosolini e Zammori (2008) apresentam o conceito de *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* (OEEML). O indicador é uma variação do OEE que, além das perdas de disponibilidade e qualidade, leva em consideração as perdas provenientes de problemas de alimentação de matéria-prima para a linha, as ineficiências no gargalo e também paradas planejadas para manutenção. O OEEML considera que, numa linha, há estoques entre suas etapas de processo e admite que a produção final vá depender do nível desses estoques. Caso uma linha apresente baixo OEEML, quanto mais a jusante se encontrar a etapa de processo com o menor OEE, maior tende a ser o estoque acumulado antes dela. Quando o OEEML é alto, os materiais fluem melhor e o estoque na linha tende a ser menor. Já em sistemas de manufatura em linha com dois ou mais equipamentos sem estoque intermediário significativo, Braglia, Frosolini e Zammori (2008) sugerem que o conceito do OEE pode ser utilizado, tendo como referência as limitações decorrentes das perdas na etapa gargalo do processo. Para o cálculo do referido indicador os autores propõem a Equação (11).

$$\text{OEEML} = \frac{\text{Saída Real}}{\text{Saída de Referência}} \quad (11)$$

Os termos denominados Saída Real e Saída de Referência são definidos, respectivamente conforme as Equações (12) e (13).

$$\text{Saída Real} = \text{CTlm} \times \text{MVTlm} \quad (12)$$

$$\text{Saída Referência} = \text{LLT} \times \text{CTbn} \quad (13)$$

onde CTlm é o tempo de ciclo do produto na saída da linha, MVTlm é definido como o tempo de agregação de valor na linha. Tanto o CTlm quanto o MVTlm estão associados às variáveis de quantidade de produtos especificados (q_i), tempo de parada não programada (D_i) e tempo por perda de performance (S_i). O LLT é o tempo disponível para carregamento e o CTbn é dado como o tempo de ciclo ideal do equipamento gargalo e estão atrelados às variáveis de Tempo total disponível do equipamento (T_t) e Tempo de ciclo por unidade (t_i), respectivamente.

Também com o intuito de ampliar o espectro de medição do OEE e levá-lo ao nível de toda uma planta, existe a proposta do *Overall Factory Effectiveness* (OFE), ou *Plant OEE*, como chamado por Högfeldt (2005). Esse indicador se propõe a avaliar o desempenho global da planta admitindo que isso resulte da interação de diferentes máquinas/processos e de decisões/ações tomadas por seus diversos sistemas e subsistemas. (OECHSNER *et al.*, 2003).

Uma proposta inicial existe na qual o OFE é tratado como uma métrica que resulta de um composto de indicadores (e.g. tempo de ciclo teórico/tempo de ciclo real, índice de entregas no prazo, utilização de capacidade, taxa de retrabalho, rendimento, etc.). (MUCHIRI; PINTELON, 2008). Por conseguinte, cada fábrica pode fazer ponderações para o cálculo desse indicador com valores próprios, de acordo com suas metas, e obter um resultado global. (BUSSO; MIYAKE, 2013). Existem propostas para a padronização da definição e cálculo do OFE. Mais especificamente na indústria de semicondutores há uma iniciativa que promove uma forma de cálculo que está apresentada na Equação (14). Nessa maneira de cálculo o componente relacionado à produtividade é medido em função da taxa de produção e também pelo índice “tempo de ciclo teórico/tempo de ciclo real” no qual estão presentes às variáveis tempo de ciclo por unidade (t_i), quantidade total de produtos (Q) e quantidade de produtos especificados. O componente relacionado ao rendimento é obtido pelo produto do rendimento da linha pelo rendimento na etapa teste de qualidade, onde estão presentes às variáveis

relativas à Tempo referente ao rendimento (Y_i) Índice de peso relativo (k), que é citado com um expoente de normatização. (OESCHNER *et al.*, 2003).

$$\text{OFE} = \text{eficiência de produtividade} \times \text{eficiência de rendimento} \quad (14)$$

Uma variante do OFE é o *Overall Throughput Effectiveness* (OTE), que considera a forma de conexão existente entre os equipamentos. Os subsistemas que constituem uma fábrica podem assumir quatro tipos básicos de configuração que são: (i) equipamentos em série; (ii) em paralelo; (iii) montagem alimentada por múltiplos equipamentos; e (iv) equipamento que fornece para vários outros. No cálculo do OTE para cada tipo de subsistema é necessário que seja observado como sua produção total é limitada pela capacidade dos recursos restritivos e ineficiências encontradas no percurso do fluxo produtivo. Essa análise vai além da abordagem simplificada de calcular um indicador global para um conjunto de equipamentos como uma média dos resultados individuais de cada equipamento, como se a ineficiência de cada um fosse independente das condições de operação dos demais. (MUTHIAH; HUANG, 2007). Muthiah e Huang (2007) e Muthiah, Huang e Mahadevan (2008) acrescentam que assim como a produção de equipamentos encadeados em série é limitada pelo equipamento-gargalo, para se obter o numerador global do OFE de uma fábrica é necessário identificar o subsistema-gargalo e verificar como seu OTE restringe as saídas finais. Às variáveis que são utilizada para o cálculo do OTE são as mesmas do OEE, porém a variável Quantidade de produtos especificados (q_i) refere-se ao número itens em todo um sistema, não apenas por equipamento como o caso do OEE. A Equação (15) apresenta a maneira de calcular o OTE sugerido por Muthiah e Huang (2007).

$$\text{OTE} = \frac{\text{quantidade de produtos bons produzidos pelo sistema no tempo total}}{\text{Quantidade teórica de produtos esperada do sistema no tempo total}} \quad (15)$$

Braglia, Frosolini e Zammori (2008) definiram o *Total Overall Equipment Effectiveness* (TOEE), um indicador que, segundo os autores, considera o efeito das eventuais paradas ditas de perdas independentes do equipamento, por exemplo, perdas por falta de operador, por obstrução do fluxo de saída, falta de suprimento na linha, e pela realização do controle de qualidade, que é independente das condições de funcionamento do equipamento em si. Esse tipo de perda passa a ter relevância quando considerada a avaliação da utilização

da capacidade de equipamentos inter-relacionados que operam em conjunto, por exemplo, numa linha de produção.

Este indicador é calculado através da Equação (16).

$$\text{TOEE} = \frac{\text{MVT}}{\text{LLT}} \quad (16)$$

onde, para se obter o tempo de produção com valor agregado (MVT), que indica a capacidade efetivamente utilizada, são subtraídos todos os tempos causados por perdas dependentes e independentes do equipamento além dos tempos de paradas por manutenção planejada, ou seja as variáveis componentes do OEE. E para obtenção do tempo disponível para carregamento de linha (LLT) basta subtrair-se do tempo calendário os tempos de parada de produção planejada (para reformas, férias, manutenções preventivas, etc.), e estão atreladas às variáveis de Tempo total disponível do equipamento (Tt) e a fatores externos representado pela variável Fatores legais, requisitos de segurança e/ou ambientais (E).

O *Overall Plant Effectiveness* (OPE) e *Overall Asset Effectiveness* (OAE) levam em conta além das perdas contidas no cálculo do OEE (e conseqüentemente utilizam as mesmas variáveis do OEE em sua formulação, além de outra variável denominada Tempo total calendário –T), perdas provocadas por outras causas além da alçada dos gestores responsáveis pela operação do processo produtivo, que podem ser:

- a) causas comerciais: falta de demanda ou baixa demanda (variável Tempo por falta de demanda – Td);
- b) problemas logísticos externos: falta de fornecimento, problemas com transporte, queda de energia, etc (variável Tempo perdido com transações (logística) – Tni);
- c) regulamentações ambientais: quotas de produção estabelecidas em função de limites para emissão de efluentes, CO₂ (dióxido de carbono), etc (variável Fatores legais, requisitos de segurança e/ou ambientais – E);
- d) causas naturais: condições climáticas adversas, desastres como tempestades e furacões (variável Fatores legais, requisitos de segurança e/ou ambientais – E);
- e) causas relacionadas com a gestão do negócio que afetam a fábrica (estoques, logística interna, segurança, investimentos em novos produtos, etc) atrelado à variável Tempo perdido com transações (logística) (Tni). (MUCHIRI; PINTELON, 2008).

Uma diferença entre o OPE e o OAE é a forma como são calculados. O OAE não é calculado com dados em tempo, mas em unidades de produto. Embora desenvolvidos em 2008, não se evidenciou nas pesquisas atuais na literatura uma discussão mais aprofundada acerca de tais indicadores. Segundo Muchiri e Pintelon (2008) Ambos necessitam de uma definição mais consagrada. O cálculo dos indicadores é apresentado nas Equações (17) e (18).

$$\text{OPE} = \frac{\text{Tempo de agregação de valor}}{\text{Tempo total}} \quad (17)$$

$$\text{OAE} = \frac{\text{Quantidade real de produtos bons}}{\text{Quantidade de produtos que teoricamente poderia ser produzido}} \quad (18)$$

O cálculo do OPE está diretamente relacionado à Equação (1), aplicada para o cálculo do OEE, porém para o OPE se considera uma classificação de perdas maior, e assim seu resultado tende a ser sempre menor que o resultado do OEE, o mesmo acontecendo para o indicador OAE. (BUSSO; MIYAKE, 2013).

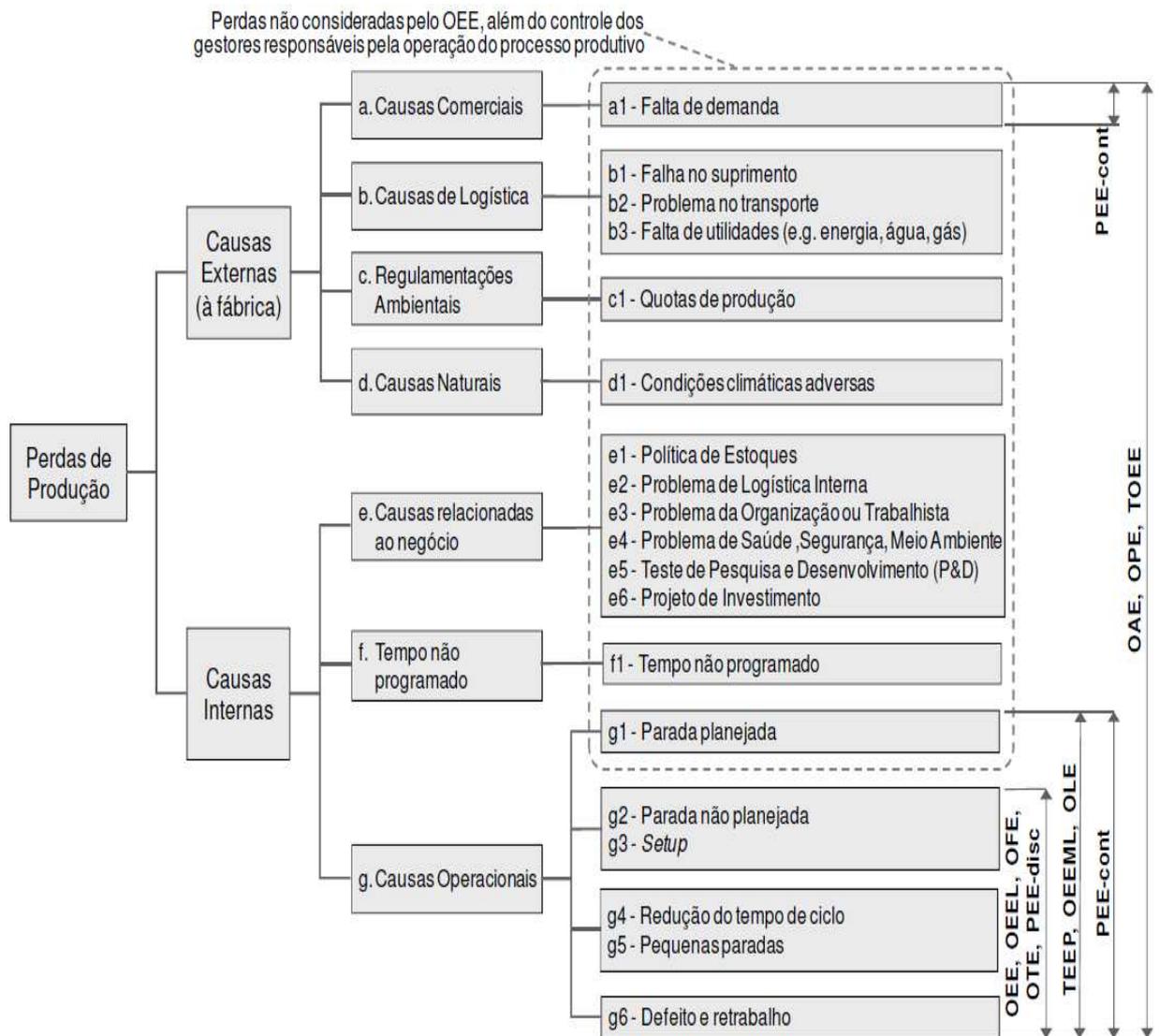
Com o intuito de facilitar a extensão do cálculo do OEE ao nível de uma fábrica, vale reviver a ideia de confrontar o total de produtos bons entregues pela fábrica com o total de produtos que teoricamente ela poderia ter produzido. (OECHSNER *et al.*, 2003; MUCHIRI; PINTELON, 2008).

2.3.3 Análise da Abrangência dos Indicadores Derivados do OEE

Uma extensão da classificação de perdas consideradas no cálculo do OEE é proposta por Muchiri e Pintelon (2008), conforme ilustrado na Figura 8. O escopo ampliado das perdas consideradas por certos indicadores derivados do OEE pode contemplar o efeito de perdas causadas por áreas de suporte à produção, outras áreas da cadeia de valor e mesmo por decisões estratégicas da organização, proporcionando uma visão mais ampla do desempenho que a produção pode alcançar. Esta visão é mais ampla e por isso mais realista que a considerada na avaliação de um dado equipamento, com base no indicador do OEE, quando aplicada para toda uma unidade. O OEE considera somente as perdas atreladas aos códigos g2, g3, g4, g5 e g6 da Figura 8. Estas perdas podem ser diretamente atribuídas aos equipamentos em que se quer avaliar desempenho operacional, e são de natureza interna à fábrica. Os indicadores derivados do OEE como o TEEP, OEEML e o OLE ampliam de forma incremental os tipos de perdas consideradas. Já os indicadores PEEcont, OAE, OPE e

TOEE consideram o impacto de um espectro mais amplo de tipos de perdas que comprometem o desempenho da manufatura, inclusive incluindo perdas cujas causas são externas à fábrica. (BUSSO; MIYAKE, 2013).

Figura 8 - Relação das perdas para cada indicador derivado do OEE



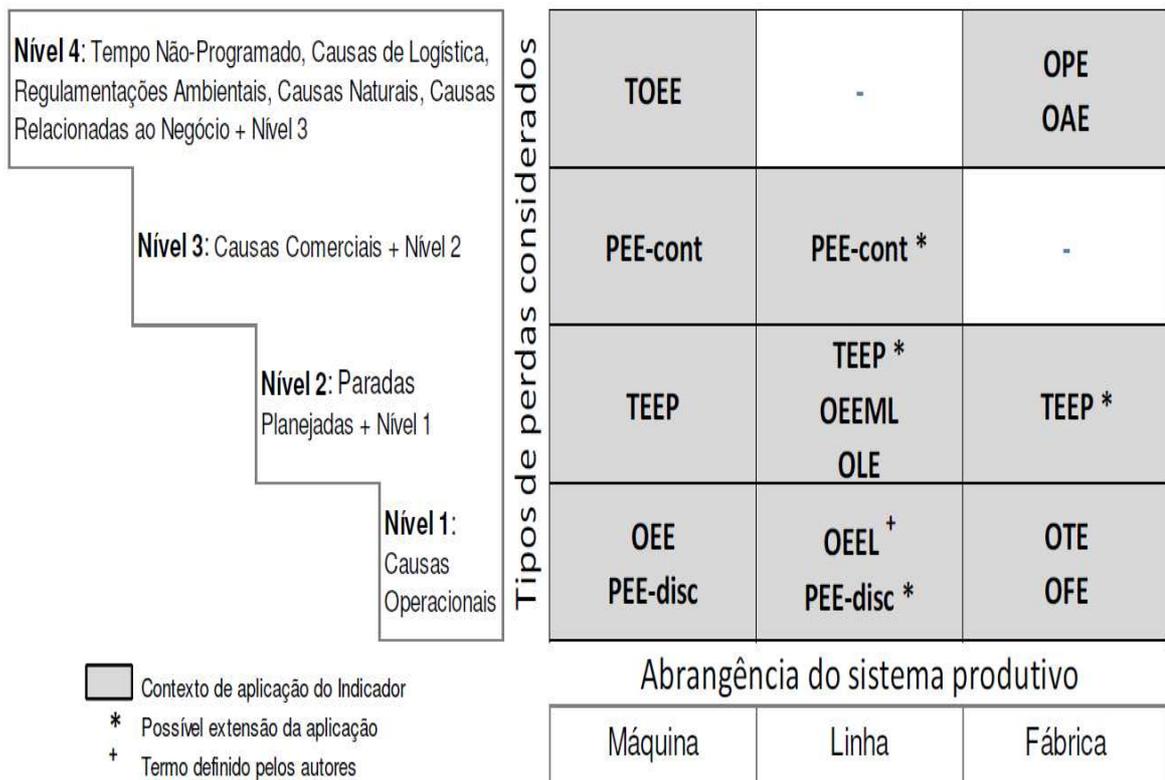
Fonte: Adaptada de Muchiri e Pintelon (2008 *apud* BUSSO; MIYAKE, 2013, p. 212).

Além disso, Aragão e Bornia (2007) propõem uma árvore de perdas, a qual foi concebida para uma empresa petroquímica, onde colocam as diversas categorias passíveis, e também propõem um método para análise destas, bem como para o cálculo do OEE.

Busso e Miyake (2013) propõem ainda um enquadramento dos indicadores derivados do OEE que foram identificados neste referencial, através da Figura 9. O eixo horizontal indica a abrangência do sistema de operações que pode ser limitado a somente uma máquina ou equipamento até mesmo ampliado para avaliar uma linha ou fábrica. O eixo vertical por sua vez, mostra a abrangência da classificação de perdas considerada pelo indicador em 4 níveis, definidos conforme os grupos de perdas apresentadas na Figura 8:

- nível 1: as causas operacionais que correspondem às perdas g2, g3, g4, g5 e g6;
- nível 2: as paradas planejadas que correspondem à perda g1 além das causas operacionais consideradas no Nível 1;
- nível 3: as causas comerciais que correspondem às perdas classificadas como a1 além de todos os tipos de perdas consideradas no Nível 2;
- nível 4: abrange todos os tipos de perdas apresentadas na Figura 8.

Figura 9 - Enquadramento dos indicadores abordados quanto a sua abrangência



Fonte: Busso e Miyake (2013, p. 213).

Um quadro orientativo com o intuito de fornecer subsídios ao processo de seleção e implementação de indicadores para a medição do desempenho global da manufatura é apresentado por Busso e Miyake (2013). Conforme os referidos autores, o Quadro 9 foi

desenvolvido com base nos critérios de dimensões e características proposto por propostas por Johsson e Lesshammar (1999).

Quadro 9 - Orientação para escolha de indicadores

		Propriedades do Indicador								
		OEE	OEEL	OFE ; OTE	OEML; OLE	TEEP	PEE-disc	PEE-cont	TOEE	OPE / OAE
Dimensões	Estratégia	Atende quando ligado a algum programa de melhoria					Reflete alguma estratégia referente a demanda	Pode refletir estratégias referente a demanda, P&D, Meio ambiente e outros		
	Orientação do Fluxo	Não considera	Reflete condições do fluxo no nível da manufatura			Não considera		Capta a influência das áreas de apoio no fluxo de manufatura		
	Eficiência Interna	Nem sempre permite comparação					Oferece mais possibilidades de comparação			
	Eficácia Externa	Não considera					Pode captar quando a falta de demanda estiver relacionada ao nível de satisfação dos clientes			
Características	Direcionador de Melhoria	Contribui desde que aproveitado sistematicamente pela organização como ferramenta do processo de melhoria contínua								
	Simple e Dinâmico	Simplifica a medição mas deve ser complementado com outras medições	Pode requerer revisão caso ocorra mudança no <i>layout</i> dos equipamentos e tornar a medição mais complexa. Precisa ser complementado com outras medições			Simplifica a medição. Requer consolidação de dados. Precisa ser complementado com outras medições		Simplifica a medição	Simplifica a medição. Requer maior consolidação de dados	

Fonte: Busso e Miyake (2013, p. 214).

No total, foram identificados 12 indicadores derivados do OEE, incluindo o próprio. A maneira de cálculo de alguns dos indicadores se assemelha muito ao OEE, apenas mudando a sua abrangência (OEE foca na eficiência do equipamento, outros indicadores focam na eficiência de linha ou fábrica). Raja e Kannan (2009) afirmam não existir um método padrão para o cálculo da eficiência global de produção para processos compostos por sistemas interconectados. Segue-se para a finalização do referencial teórico com a síntese do presente capítulo.

2.4 Síntese do Referencial Teórico

Hayes e Wheelwright (1979), como mostrado na Figura 3, discorrem sobre a evolução dos processos de produção. Segundo os referidos autores, frequentemente, as empresas costumam começar com um processo altamente flexível, mas pouco eficiente, e se desenvolvem na direção da padronização, mecanização e automação.

Às indústrias de processo contínuo, possuem características peculiares. O Quadro 10 apresenta as principais características gerais e diferenciação frente aos processos intermitentes, características operacionais, econômicas e de medição de desempenho desta indústria.

Quadro 10 - Características da indústria de processo contínuo

Características	Características da indústria de produção contínua	Referências
Gerais e Diferenciação Frente aos Processos Intermitentes	Volume de produção independente do ritmo do trabalho humano empregado;	Toledo, Ferro e Truzzi (1986)
	Produção realizada pelos equipamentos com supervisão e controle pelos trabalhadores;	Salerno (1987)
	Rotas de produção fixas; leiaute por produto; equipamento especializado e capacidade bem definida.	Borges e Dalcol (2002)
	A produção constitui uma atividade contínua e única sem divisibilidade.	Hansen (1996)
Operacionais	Alto volume de produção; a produção não é medida durante o processo, mas apenas quando o processo se completa (produção não discreta); equipamentos com finalidades específicas (baixa flexibilidade e baixa variedade de produtos); os equipamentos são conectados uns aos outros por meio de correias transportadoras ou tubulações; há fluxo ininterrupto de produção.	Awbrey, e Silber (2015); Corrêa, H. e Corrêa, C. (2008)
	O volume de produção não é diretamente proporcional ao tempo de produção.	Hansen (1996)
	Os gargalos operacionais são constituídos pelos equipamentos submetidos às condições mais severas de trabalho.	Slerno (1987)
Econômica	Independência entre o ritmo de trabalho e a produtividade é a característica mais essencial para compreender a lógica de operação de um processo contínuo e de plantas industriais intensivas em capital e custos de mão de obra fixos.	Toledo, Ferro e Truzzi (1986)
	O custo unitário do produto final reduz-se a medida, na qual aumenta o percentual de utilização da capacidade da instalação.	Hansen (1996)
	Importância do planejamento e programação da produção como forma de garantir a continuidade operacional e redução de custos totais unitários - lógica da economia de escala.	Salerno (1987)
Medidas de desempenho	Medição de desempenho com enfoque em produtividade, utilização da capacidade instalada, velocidade de entrega e de processo e em flexibilidade.	Davis; Chase; Aquilano, (2001 <i>apud</i> MENITA <i>et al.</i> , 2011)
	Eficiência de produção é expressa em percentual. Mensura uma relação entre o resultado real obtido e um resultado definido como meta ou objetivo, que é definido considerando ou a capacidade do projeto ou a capacidade máxima ou mesmo tendo como referência em resultados históricos.	Shmula (2015)
	Indicadores relacionados às perdas e desperdícios, como o tempo perdido de produção devido a problemas técnicos e operacionais, perdas de produtos e de materiais.	Cocca e Alberti (2010).
	Medição baseada na comparação dos resultados alcançados com padrões estabelecidos. A disponibilidade operacional é o fator chave para atingimento dos resultados.	Hansen (1996)
	A medição de desempenho não enfoca as causas dos desvios entre realizado e programado.	Hansen (1996)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador OEE é um dos pioneiros que se propõe a medir eficiência global de equipamentos. Indicadores derivados desse foram desenvolvidos com o decorrer dos anos de modo a ampliar a abrangência deste primeiro. Foram pesquisados 12 indicadores, que serão utilizados na análise ao longo do trabalho. O Quadro 11 mostra os componentes que foram utilizados para a formulação de cada indicador. Percebe-se uma predominância dos termos utilizado na formulação do OEE, como disponibilidade, performance e qualidade, nas três primeiras colunas. Como os indicadores derivados têm por objetivo aumentar a abrangência em relação ao uso do OEE, outros termos foram sendo agregados. O termo relativo a operacionalização, utilizado na concepção do indicador PEEcont se refere a perdas devido a rampa de aumento de velocidade de produção existente em processo contínuo. Após a partida de uma unidade, leva-se algum tempo para que se possa atingir o máximo rendimento. Índices relativos são utilizados para definir o peso de cada parcela do indicador, utilizado também na formulação do PEE para produção intermitente (PEEdisc). Os outros termos que compõem o PEEcont, que são Eficiência de Suporte ao Produto e Utilidade Operacional, dizem respeito a fatores ligados ao departamento de marketing e vendas e rendimento quanto ao tempo de utilização dos ativos, respectivamente. O termo referente a agregação de valor aparece na formulação de quatro indicadores (OEEML, TOEE, OPE e OAE) e refere-se ao efetivo tempo gasto para a produção de produtos dentro da especificação, que de certa maneira já é englobado pelos três fatores iniciais do OEE (foram mencionados por trazer uma ideia de aglutinar em um único termo). Três indicadores utilizam o tempo de ciclo do gargalo em sua formulação, que são o TOEE, OPE e OAE. Por fim um único indicador, o OFE, utiliza um termo chamado de rendimento, o qual refere-se a uma relação entre o tempo de ciclo teórico e tempo de ciclo real para toda uma unidade de manufatura.

Quadro 11 - Indicadores pesquisados no referencial teórico

Indicador	Componentes										Fonte
	Disponibilidade	Produtividade	Qualidade	Operacionalização	Índices de peso relativo	Eficiência de suporte ao produto	Utilidade Operacional	Gargalo do processo	Termo de agregação de valor	Rendimento	
OEE	●	●	●								Nakajima, 1988
TEEP	●	●	●								IVANCIC, 1998
PEEdisc.	●	●	●		●						Raouf (1994)
PEEcont.	●	●	●	●	●	●	●				Raouf (1994)
OEEL	●	●	●								Chand e Shirvani (2000)*
OLE	●	●	●					●			Nachiappan e Anantharaman (2005)
OEEML	●	●	●					●	●		Braglia, et al. (2009)
OFE		●								●	Högfeltdt (2005)
OTE	●	●	●								Muthiah e Huang (2007)
TOEE	●							●	●		Braglia et al. (2009)
OPE	●								●		MUCHIRI; PINTELON, 2008
OAE	●		●						●		MUCHIRI; PINTELON, 2008

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse do presente referencial teórico, torna-se possível realizar as desejadas análises sobre os principais indicadores de eficiência, identificados na literatura, originalmente desenvolvido para a indústria de produção discreta (exceto PEEcont) e as particularidades dos processos de produção contínuos. Segue-se com o capítulo 3, intitulado metodologia, onde será apresentado o método de trabalho da presente pesquisa.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os métodos e procedimentos utilizados na presente dissertação. São abordados aspectos quanto à classificação, à estratégia de coleta e o tratamento de informações e à análise dos materiais selecionados. As questões estabelecidas para a realização deste trabalho definiram a adoção do método de pesquisa bibliográfica para execução de uma investigação inicial de natureza teórica-conceitual, no desenvolvimento de uma visão abrangente sobre as características da utilização do OEE e alternativas de indicadores derivados desse, em processos contínuos. Para se obter dados empíricos sobre utilização e avaliação do desempenho global de sistemas de produção, recorreu-se às entrevistas semiestruturadas com profissionais de áreas acadêmicas e da indústria. A forma como esses métodos de pesquisa foi aplicado é apresentada nas seções seguintes.

3.1 Método de Pesquisa

A realização de pesquisa pode ter razões de ordem intelectual ou, ainda, de ordem prática. (GIL, 2007). As pesquisas com um caráter intelectual são chamadas de pesquisa básica ou pura. As pesquisas de ordem prática são chamadas de pesquisa aplicada e seu principal foco é que os resultados gerados possam ser utilizados na prática, auxiliando profissionais na solução de problemas. (MARCONI; LAKATOS, 2008).

Adotaram-se, para a classificação da presente pesquisa, as características conforme apresentadas por Diehl e Tatim (2004), que são: natureza, abordagem do problema, objetivo e procedimentos técnicos. Esta pesquisa está destinada para a geração de conhecimentos para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Além de buscar uma reflexão sobre o problema através de um levantamento teórico e ilustrativo. Dadas tais características, pode-se dizer que sua natureza é aplicada.

Considerando-se a abordagem, é definida como qualitativa, devido à estrutura de análise comparativa entre os dados pesquisados. O presente trabalho expressa uma abordagem referente a sistemas de medição de eficiência tendo foco nos processos desenvolvidos por empresas de produção contínua (em especial petroquímica). Ao longo do estudo não são utilizadas técnicas estatísticas para a realização das análises. Embora seja interessante o estudo estatístico da eficiência de produção, por exemplo: usando Análise de Séries Temporais ou Controle de Processos (VACCARO; KORZENOWSKI, 2015), o enfoque dado neste trabalho é o de identificar a aderência dos indicadores analisados ao contexto de

produção da indústria petroquímica. No que concerne à análise bibliográfica do conjunto de artigos obtidos, é realizada uma análise quantitativa simples, que não é o foco principal do estudo em questão.

Em relação aos seus objetivos, a metodologia adotada se propõe a identificar e analisar um conjunto de alternativas para medir a eficiência global em processos petroquímicos, portanto, apresentar e sugerir as características e variáveis necessárias para o cálculo de eficiência dos sistemas produtivos que operam em fluxo contínuo. É foco de atenção da presente pesquisa o estabelecimento de relações entre os fenômenos práticos verificados através de pesquisa, com as evidências teóricas encontradas. Tem, portanto, por intuito apresentar as características de uma determinada população ou fenômeno. (AKEN, 2004).

No que tange aos procedimentos técnicos, a presente pesquisa fez uso de elementos da pesquisa bibliográfica/documental, na medida em que busca e compara em documentos publicados (artigos, livros, teses, dissertações e manuais normativos), evidências para estabelecer as análises propostas, sendo esses, para tanto, os dados coletados para a formação parcial do quadro de análise, produto do primeiro objetivo específico. No entanto, foram usados também procedimentos típicos da pesquisa baseada em levantamentos, dado que parte da pesquisa foi baseada em entrevistas com profissionais e pesquisadores relacionados ao tema de interesse desta pesquisa. Essas evidências auxiliaram na realização do primeiro e no segundo objetivos específicos da pesquisa. As entrevistas não seguem o protocolo do levantamento estatístico, mas sim o do levantamento qualitativo, visando obter informações em profundidade sobre uma situação reconhecida ou corrente. O critério de parada da coleta foi, portanto, o de saturação.

Na seção seguinte será apresentado o método de trabalho que operacionaliza esta pesquisa.

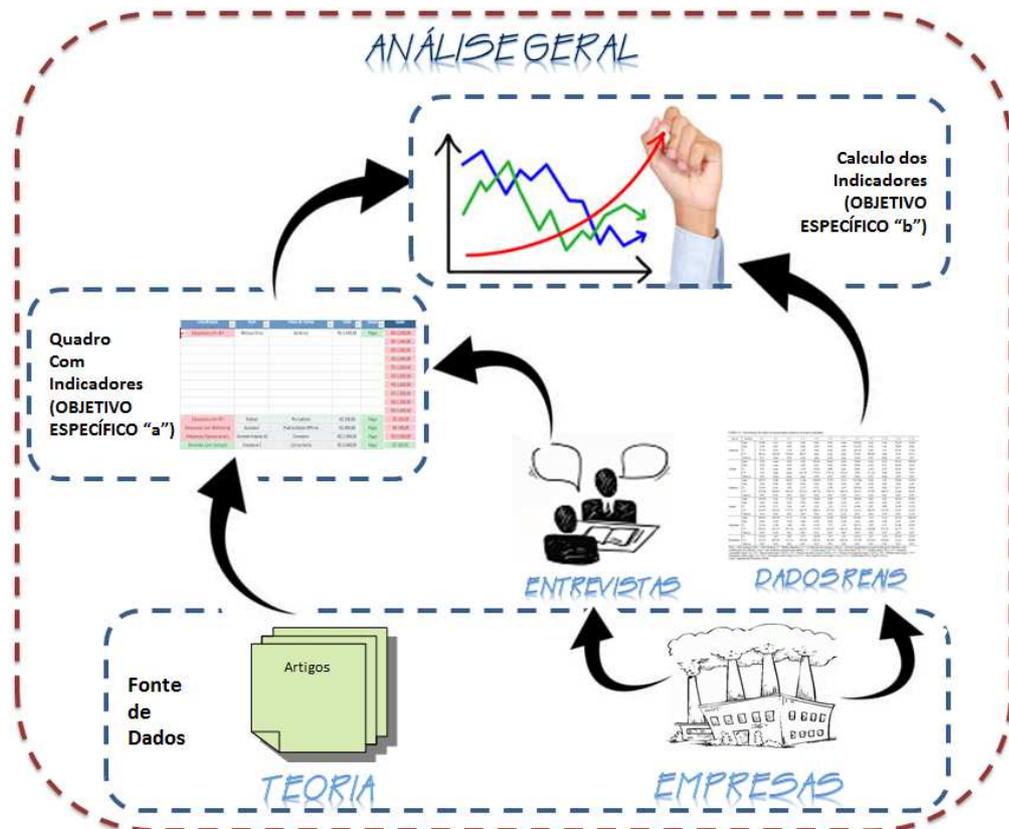
3.2 Método de Trabalho

A presente pesquisa está apoiada em três pontos principais. O primeiro é a realização de uma pesquisa bibliográfica em bases de dados, visando a identificação de trabalhos científicos publicados entre os anos de 1989 (introdução do TPM e consequentemente do OEE) até os dias atuais. O segundo ponto utilizado como base para a realização do trabalho é oriundo de entrevistas realizadas com profissionais de empresas que utilizam processos de produção contínua. E o terceiro aspecto trata-se da utilização de dados reais de produção,

fornecido por um dos entrevistados que atua na área petroquímica, para o cálculo da eficiência global de produção utilizando-se indicadores verificados ao longo do trabalho.

A Figura 10 ilustra o método de trabalho utilizado. Inicialmente, através da leitura dos artigos selecionados, foram identificados indicadores globais de eficiência de produção, derivados do OEE. Procurou-se identificar, na literatura, se o indicador foi mencionado, ou se faz sentido, ser utilizado em processo de produção contínua. Caso afirmativo, a referência foi utilizada para compor um quadro conceitual, de modo a permitir a realização do primeiro objetivo específico. Para complementar esse quadro de análise, entrevistas foram realizadas com os profissionais e pesquisadores no tema, gerando informações que foram inseridas com o intuito de fazer uma analogia entre o que é proposto na literatura e o que é utilizado em processos contínuos reais. Essa análise das múltiplas fontes permitiu a realização do primeiro objetivo específico.

Figura 10 - Síntese do método de trabalho empregado na pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após construído o quadro, os indicadores identificados como passíveis de aplicação para medição de eficiência global no contexto da indústria petroquímica foram submetidos a

um conjunto de registros históricos de produção, de modo a fornecer dados para a realização do segundo objetivo específico desta pesquisa. Os cenários foram estabelecidos com base em dados reais fornecidos por um dos entrevistados, que permitiu seu uso, conservando-se, no entanto, seu anonimato, bem como da empresa.

3.2.1 Seleção de Portfólio Bibliográfico e Análise de Conteúdo

A metodologia de seleção do referencial bibliográfico consiste em uma série de procedimentos sequenciais, que se iniciam desde a definição do mecanismo de busca de artigos científicos a ser utilizado, seguindo por uma série de procedimentos preestabelecidos até atingir a fase de filtragem e seleção do portfólio bibliográfico relevante sobre o tema. (ENSSLIN *et al.*, 2011).

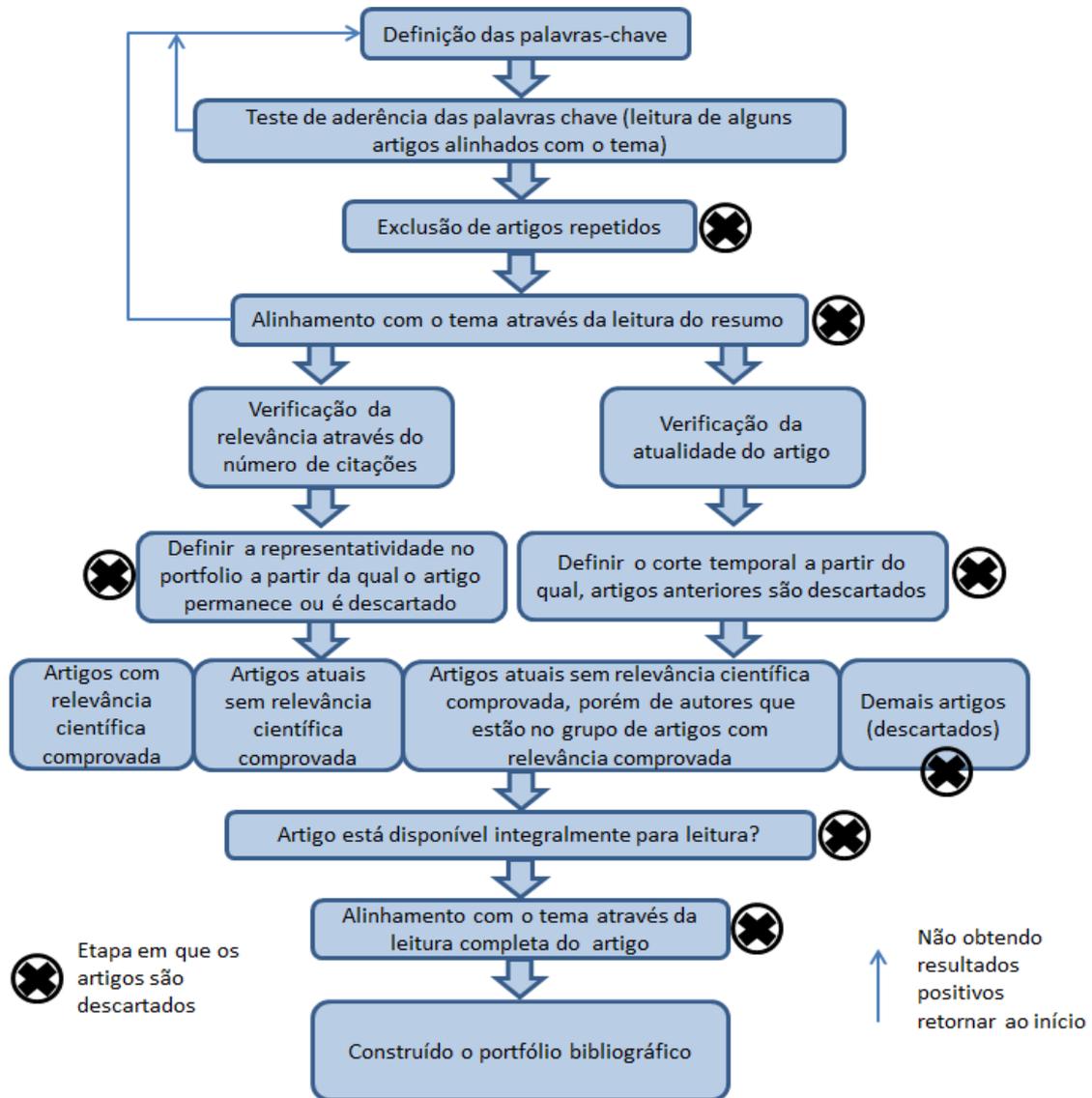
As palavras-chave selecionadas devem ser utilizadas nos mecanismos de busca, isoladamente ou combinadas. Como não há um mecanismo que faça a busca nas diversas bases de dados existentes – onde o conteúdo dos periódicos fica armazenado – é preciso selecionar quais as bases de dados serão utilizadas para fazer o procedimento de busca dos artigos. (ENSSLIN *et al.*, 2011).

Conforme já apresentado na seção de Justificativa do Capítulo 1, a discussão sobre o indicador OEE continua ganhando relevância ao longo dos anos e não está esgotada. Por esse motivo a busca por artigos foi realizada de maneira a aprofundar e intensificar os conhecimentos sobre o indicador, bem como sobre outros indicadores que foram desenvolvidos a partir do OEE.

De modo à garantir um processo sistemático e estruturado de seleção do portfólio bibliográfico, utilizou-se como referência o processo proposto por Ensslin *et al.* (2011), o qual está adaptado para a presente pesquisa e ilustrado na Figura 11.

Inicialmente foram definidas palavras-chave, a fim de se obter os artigos científicos no tema desejado. Essas palavras já foram apresentadas na Tabela 1, quando da justificativa científica desta pesquisa. Nas fases posteriores essas palavras selecionadas foram verificadas para definir se, de fato, discriminariam os artigos científicos referentes à área de pesquisa. Após as primeiras buscas com cada palavra, foi realizada uma breve leitura de três artigos com o objetivo de verificar a aderência das mesmas ao tema de pesquisa. Essa leitura permitiu não apenas identificar se as palavras-chave eram adequadas, mas também se havia outros termos que pudessem representar o tema de pesquisa. Em caso positivo a lista de palavras-chave foi alterada, conforme indicado na Figura 11.

Figura 11 - Método de pesquisa bibliográfica



Fonte: Elaborada pelo autor com base em Ensslin *et al.* (2011).

Após verificada a adequação dos termos de busca, obteve-se o banco de artigos bruto. A busca das palavras-chave foi realizada no portal de periódicos CAPES, na opção busca avançada, pelo campo “assunto” dos artigos e não somente nos campos “título” e “palavras-chave”, resultando em 927 artigos, correspondendo ao período de 1989 a maio de 2015. Esse banco, por sua vez, passou por um processo de filtragem para se chegar a um portfólio bibliográfico relevante e mais adequado aos objetivos desta pesquisa. A primeira etapa de filtragem consistiu em excluir artigos repetidos, como indicado na Figura 11. Como a pesquisa por artigos, foi realizada no portal da Capes, que é um proxy para diversas bases de dados, é comum que o conjunto de artigos reunidos contenha grande quantidade de artigos repetidos. Dessa filtragem restaram 502 artigos.

A segunda etapa de filtragem enfoca o alinhamento com o tema da pesquisa. Consistiu na leitura dos resumos dos artigos, a partir da qual foram descartados aqueles que, apesar de apresentarem as palavras chave procuradas, não tratavam do tema de pesquisa. A classificação dos artigos como relevantes ou não foi realizada da seguinte maneira: se o artigo não se preocupou em apresentar maneiras de medir a eficiência de produção para processos contínuos, e não fez uma análise das necessidades para tal, e ainda não apresentou exemplo de aplicação de indicador, esse foi excluído do portfólio por não estar de acordo com o interesse da pesquisa. Foram obtidos ao final dessa etapa 344 artigos.

A terceira etapa da filtragem consistiu na verificação da relevância científica dos artigos selecionados como critério manutenção desses no banco de artigos. Não se utilizou filtro de relevância com base nas citações e, sim, um filtro qualitativo com base no periódico no qual o artigo foi publicado: somente periódicos científicos revisados por pares e indexados em bases científicas reconhecidas (ISI, Thomson-Reuters, SCImago) ou de Congressos internacionais de associações reconhecidas (IEEE, IIE) foram preservados. A definição da atualidade dos artigos buscados foi previamente realizada na geração do banco de artigos bruto. O ano de corte definido, a partir do qual os artigos menos recentes seriam excluídos foi do ano de 1989, que foi o ano onde o conceito de OEE iniciou a ser difundido, após a sua introdução por Nakajima (1988).

A filtragem de referência prosseguiu selecionando artigos disponíveis integralmente, resultando em 228 artigos. Para esses artigos procedeu-se a leitura completa e detalhada. Definiu-se seu alinhamento com o tema de pesquisa, conforme os critérios acima mencionados. O referencial bibliográfico obtido foi, então, constituído por artigos cuja relevância científica foi considerada válida e com a temporalidade estabelecida, totalizando 23 artigos, dos quais somente 6 se preocuparam em propor indicadores derivados do OEE e outro realizou uma análise comparativa da abrangência desses indicadores.

3.2.2 Protocolo de Entrevistas

A coleta de dados baseada em entrevistas foi realizada em duas etapas. Inicialmente foi feita uma análise das empresas potenciais que atuam na região. Foram selecionadas as empresas que têm, ou tiveram, operação no Polo Petroquímico do Sul, na cidade de Triunfo no Rio Grande do Sul. Uma das empresas presentes no Polo do Sul é a maior petroquímica brasileira e possui *sites* produtivos em todos os complexos petroquímicos do país. A entrevista em um dos *sites* da referida empresa foi fundamental para a verificação da

representatividade da indústria petroquímica brasileira. Devido ao número limitado de unidades, também foi incluído no portfólio de empresas passíveis de entrevista uma refinaria de petróleo, localizada na cidade de Canoas, também no Rio Grande do Sul. Tais empresas foram mapeadas devido às características de seus processos estarem em acordo com o procurado na referente pesquisa. Além das empresas do Polo e da refinaria presentes no Rio Grande do Sul, também foi buscado o contato com uma empresa que está instalada no estado de São Paulo, porém teve operação no Polo Petroquímico do Rio Grande do Sul até o ano de 2010. No total, foram selecionadas 6 empresas.

Como contato nas empresas, o perfil de profissionais desejados foi o de pessoas que tivessem no mínimo cinco anos de experiência em área de manufatura e que participassem de alguma maneira do processo de decisões (operacionais ou táticas) da unidade. Em outras palavras, procuraram-se pessoas que tivessem contato com o dia a dia da manufatura e que, na existência de indicadores de eficiência, estivessem familiarizados com o conceito e soubessem como são calculados e para que são utilizados.

Das seis empresas selecionadas, todas foram contatadas através do envio, por *e-mail*, de uma carta convite descrevendo os objetivos da pesquisa, em papel timbrado da Unisinos e onde constavam contatos do mestrando e orientador. Sempre que um convite para entrevista não era retornado, dentro de cinco dias úteis, o contato era retomado (através de um novo *e-mail* ou por telefone), até que se conseguisse algum tipo de resposta. Nesse processo de convite de profissionais das empresas, foram realizados seis contatos por telefone e sete contatos por *e-mail*. Ao final do processo, dos seis profissionais de empresas contatados, somente cinco aceitaram participar da pesquisa.

A coleta de informações junto aos profissionais ocorreu por meio de entrevistas qualitativas semiestruturadas. Esse tipo de entrevista busca agregar informação por meio de um processo narrativo e, com isso, acessar o conhecimento conforme o norte estabelecido. (FLICK, 2004). Quatro entrevistas foram realizadas de maneira presencial e uma via telefone (pois a empresa localizava-se no estado de São Paulo). De todas as entrevistas, três foram gravadas dado o aceite dos participantes. No sentido de sistematizar o processo de entrevista e assim conseguir manter o foco na área de interesse, o roteiro apresentado no Quadro 12 foi utilizado. Os quesitos do roteiro foram definidos com base na leitura dos artigos e não passaram por validação de profissionais e pesquisadores da área.

Quadro 12 - Roteiro de entrevista com profissionais de empresas

Item de Interesse	Referências
Determinar que tipo de indicador de eficiência de produção é utilizado e como este indicador é calculado (frequência, regra de cálculo, dados de entrada, etc.).	Busso, Miyake (2013)
Identificar a existência de norma/procedimento interno para cálculo do indicador	Busso, Miyake (2013)
Descrever a análise e uso dos indicadores na empresa (como são analisados - pontual, existe meta, como a meta é definida, etc. -; que tipo de informação produzem para a tomada de decisão; reuniões específicas para discussão de desempenho da planta).	Hansen (2006)
Identificar o processo de coleta de dados de campo (atores, ferramentas, etc.).	Hansen (2006); Antunes <i>et.al</i> (2008)
Identificar o conhecimento pelo entrevistado de norma para cálculo de indicador de eficiência para processos contínuos.	Busso, Miyake (2013); Raouf, (1994)
Verificar lacunas relacionadas ao indicador de eficiência (que tipo de informação é desejada; o indicador em algum momento ele falha?).	Slack <i>et al.</i> , (2002)

Fonte: Elaborado pelo autor.

No transcorrer de cada entrevista foi possível identificar a maneira com que cada companhia realiza a coleta de dados e o cálculo dos indicadores de eficiência. As considerações de cada entrevistado foram reunidas, transcritas e analisadas de maneira detalhada. Observou-se a necessidade de estratificar os indicadores, até que se conseguisse obter o que realmente é medido, pois esse é um dos pontos que será utilizado para a realização da análise dos indicadores. Por ter sido realizada entrevista apenas com um profissional de cada empresa, torna-se tecnicamente inviável separar o viés do entrevistado sobre o assunto, logo a opinião do profissional, independente de seu cargo ou do tempo de atividade, não será considerada como a posição da empresa frente ao tema. Isto será válido para toda e qualquer análise realizada no decorrer da pesquisa.

Visando trazer para a presente pesquisa, além da visão prática, uma visão teórica com relação à medição de eficiência, uma segunda fase de coleta de dados via entrevistas foi realizada. Foram selecionados especialistas (pesquisadores e cientistas em centros de pesquisa de empresas), autores de artigos que realizaram a proposição de indicadores alternativos ao OEE ou de livros sobre o tema da pesquisa, identificados na etapa de revisão bibliográfica ou representantes de centros de pesquisa de empresas nacionais e multinacionais do setor petroquímico. Ao todo foram selecionados 12 potenciais entrevistados. Dos pesquisadores (8), apenas dois eram brasileiros. Os contatos centros de pesquisa (4) foram tipicamente realizados com interlocutores no exterior, onde os mesmos se localizam.

O protocolo de entrevistas foi semelhante ao usado com os profissionais de empresas, sendo inicialmente enviada, via *e-mail*, uma carta convite nos mesmos moldes. Juntamente à carta foi enviado o roteiro da entrevista. Novamente, dentro de um prazo de cinco dias úteis, não

havendo retorno dos entrevistados, então, novo contato via *e-mail* foi realizado. No total foram enviados 24 *e-mails*. Dos oito pesquisadores convidados, três retornaram com respostas negativas: um informou que há tempo não pesquisa mais na área e sua contribuição seria pequena para a presente pesquisa, declinando; outro retornou o contato informando não ser o autor principal do artigo e, em função disso, não se sentir confortável em participar da pesquisa; o terceiro informou não estar disponível naquele momento para participar da pesquisa. Nos três casos foi dado retorno com um agradecimento pela resposta. Outros quatro pesquisadores convidados, após o segundo *e-mail* de convite, não retornaram e as tentativas de contato foram interrompidas. Enfim, somente um aceitou participar da pesquisa. A entrevista foi realizada de maneira presencial. Diante de ter conseguido entrevistar apenas um pesquisador, embora a relevância de seus trabalhos no tema seja reconhecida, torna-se tecnicamente inviável separar o viés do entrevistado sobre o tema.

Dos quatro centros de pesquisa contatados, somente um retornou o convite, orientando para a realização de um contato com a subsidiária brasileira. A filial brasileira foi contatada, porém, trata-se de um escritório administrativo, onde o foco principal são áreas de vendas, contabilidade e finanças, embora a empresa possua unidades produtivas no Brasil. Ao se questionar aspectos técnicos de eficiência de produção os profissionais do escritório preferiram não participar da pesquisa. Diante das negativas, os profissionais dos centros de pesquisa foram excluídos do trabalho.

O roteiro utilizado foi com o único pesquisador que se dispôs a participar, no caso, é o apresentado no Quadro 13. Os três primeiros itens do roteiro são os mesmos dos profissionais da indústria de modo a permitir comparabilidade entre os resultados. Os demais itens são diferenciados por estarem no domínio de conhecimento de cada perfil de entrevistado.

Quadro 13 - Roteiro de entrevista com pesquisadores

Item de Interesse	Referências
Determinar que tipo de indicador de eficiência de produção é utilizado e como esse indicador é calculado (frequência, regra de cálculo, dados de entrada, etc.).	Busso, Miyake (2013)
Descrever a análise e uso dos indicadores na empresa (como são analisados; que tipo de informações produzem para a tomada de decisão; reuniões específicas para discussão de desempenho da planta).	Hansen (2006)
Identificar o conhecimento pelo entrevistado de norma (ISO, DIN, etc.) para cálculo de indicador de eficiência para processos contínuos.	Busso, Miyake (2013)
Os indicadores de eficiência de manufatura tradicionais como o OEE e o TEEP são calculados baseados em tempos. Você acredita que é possível utilizar o mesmo indicador para indústria de processos contínuos? Por favor, explique as implicações relacionadas à sua resposta.	Nakajima (1988); Ivancic, (1998 <i>apud</i> VACCARO; KORZENOWSKI, 2015)
De acordo com sua experiência, quais pressupostos são necessários para utilizar o OEE e TEEP como indicadores de eficiência de processos contínuos?	Busso, Miyake (2013); Raouf, (1994)
Você acredita que é possível utilizar indicadores derivados do OEE, originalmente desenvolvidos para indústria discreta, em processos contínuos?	Busso, Miyake (2013)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2.1 Perfil dos Entrevistados e Empresas

O Quadro 14 mostra o perfil dos entrevistados, bem como particularidades das empresas nas quais os mesmos trabalham. Os entrevistados E1 até o E5 tratam-se de profissionais atuantes na indústria. Já o entrevistado E6 é um pesquisador em diversas áreas da Engenharia de Produção e também atua como consultor em todo o Brasil.

Quadro 14 - Perfil dos entrevistados e características das empresas

(continua)

Entrevistado	Formação Acadêmica	Cargo atual	Característica da empresa	Tempo na Empresa	Tempo na função
E1	Graduação em Engenharia Química com Pós-Graduação em Engenharia Bioquímica (<i>Latu Sensu</i>).	Engenheiro de Performance de Planta Sênior.	Companhia internacional que possui no Brasil dois <i>sites</i> produtivos, ambos no interior do estado de São Paulo onde são produzidos insumos para nutrição humana e animal. A companhia possuiu uma planta de operação petroquímica até o ano de 2011 no Brasil, porém, atualmente, seus <i>sites</i> petroquímicos encontram-se na Europa e Estados Unidos.	14 anos	4 anos
E2	Graduação em Engenharia Química e possui Mestrado em Engenharia de Produção.	Gerente de Otimização de Processos.	Empresa de extração e exploração de petróleo com sede no Brasil. A empresa possui diversas operações de extração (em terra e <i>off shore</i>) e de refino, constituindo-se na maior empresa, deste segmento, em atuação no Brasil. A planta em questão, trata-se de uma refinaria de petróleo localizada no estado do Rio Grande do Sul.	28 anos	8 meses
E3	Graduação em Engenharia Química e MBA em Marketing	Analista de Planejamento e Operações.	Empresa petroquímica que produz insumos petroquímicos básicos e também resinas termoplásticas. É uma empresa nacional de capital aberto e, atualmente, é a maior petroquímica em operação no Brasil. Entrevista com foco entrevista foi realizada com foco na unidade de insumos básicos situada no Polo Petroquímico do Sul em Triunfo, Rio Grande do Sul.	6 anos	2 anos

(conclusão)

Entrevistado	Formação Acadêmica	Cargo atual	Característica da empresa	Tempo na Empresa	Tempo na função
E4	Graduação em Engenharia Química	Coordenador de Produção	Companhia internacional com sede na Alemanha, que possui 6 <i>sites</i> produtivos no Brasil. Quatro são petroquímicos e dois de especialidades químicas. No Rio Grande do Sul a empresa possui dois <i>sites</i> produtivos, os quais fabricam elastômeros.	15 anos	6 meses
E5	Graduação em Engenharia Química e Pós-Graduação em Engenharia de Produção (<i>Latu Sensu</i>)	Coordenador de Produção	Companhia internacional com sede na Alemanha, que possui 6 <i>sites</i> produtivos no Brasil. Quatro são petroquímicos e dois de especialidades químicas. No Rio Grande do Sul a empresa possui dois <i>sites</i> produtivos, os quais fabricam elastômeros.	13 anos	6 anos
E6*	Graduação em Engenharia Mecânica, especialização em Engenharia de Petróleo, Mestrado em Engenharia de Produção e doutorado em Administração de empresas.	Pesquisador e Consultor	Publicou diversos artigos e também escreveu livros, com foco na gestão do posto de trabalho. O profissional entrevistado também atua como consultor de empresas em todo o Brasil. As principais áreas são implantação de sistemas de gestão, melhoria contínua, leiaute fabril, desgargamentos, capacitação de profissionais, entre outros.	-	20 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2.2 Análise das Entrevistas

Após a realização das entrevistas foi realizada uma análise de conteúdo nas mesmas, com base no método proposto por Bardin (1994). O método de análise de conteúdo constitui-se em um conjunto de técnicas utilizadas na análise de dados qualitativos. (CAMPOS, 2004). A análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de técnicas para análise de comunicações, que usa procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitem a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens. (BARDIN, 1994).

Para Bardin (1994), a análise de conteúdo possui duas funções. A primeira diz respeito à função heurística, ou seja, a análise de conteúdo enriquece a tentativa exploratória e

aumenta a propensão à descoberta. A segunda é referente à administração da prova, onde hipóteses, sob a forma de questões ou de afirmações provisórias servem de diretrizes apelando para o método de análise de uma confirmação ou não.

A análise de conteúdo pode ser apresentada em três fases fundamentais: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados. Na primeira fase é estabelecido um esboço de trabalho, com procedimentos bem definidos, porém flexíveis. A segunda fase consiste no cumprimento das decisões tomadas na primeira etapa, e finalmente na terceira etapa, o pesquisador apoiado nos resultados brutos procura torná-los significativos e válidos. (BARDIN, 1994).

Trivinos (1987) descreve as três etapas citadas por Bardin (1994), e as trata como básicas nos trabalhos de análise de conteúdo. O referido autor, explica as etapas como segue:

- a) a pré-análise: consiste na organização do material. Todos os materiais que serão utilizados na coleta dos dados, assim como outros materiais que auxiliam na compreensão do fenômeno e fixam o que o autor define como *corpus* da investigação. Esta etapa é a especificação do campo que o pesquisador deve centrar a sua atenção;
- b) a descrição analítica: o material reunido que constitui o *corpus* da pesquisa é estudado de maneira mais aprofundado. O estudo deve ser orientado pelas hipóteses e pelo referencial teórico, emergindo desta etapa quadros de referências, objetivando sínteses com convergências e divergências de ideias;
- c) interpretação referencial: é a análise propriamente dita. Os materiais empíricos são base para o estabelecimento de relações com a realidade proporcionando a realização e detalhamento das conexões das ideias, podendo chegar à proposta básica de transformações nos limites das estruturas específicas e gerais.

Após a apropriação do conteúdo das entrevistas conforme método acima citado, os principais aspectos para a construção das análises foram apontados bem como a base para a construção das discussões foram definidas.

Uma vez concluído o capítulo 3, referente ao método de pesquisa e de trabalho, segue-se com a análise realizada nos indicadores conforme descrito anteriormente.

4 ANÁLISE DOS INDICADORES DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE PRODUÇÃO

Neste capítulo, inicialmente, são apresentados os resultados obtidos através das entrevistas com profissionais de empresas, comparando as práticas da indústria com os indicadores selecionados na literatura. Com base nessa análise, os indicadores OAE, OEE e TEEP foram calculados a partir de dados reais de produção, fornecidos por uma das empresas, com o intuito de verificar sua eficácia em representar a eficiência de produção. O capítulo é concluído com uma discussão sobre diversos aspectos apresentados no decorrer do trabalho.

4.1 Análise dos Indicadores Pesquisados na Literatura e Comparação com Resultados de Pesquisa de Campo

Os indicadores selecionados na literatura e descritos no referencial desta pesquisa foram decompostos com o intuito de definir as dimensões e variáveis que os compunham. Os termos utilizados no cálculo de cada indicador foram analisados e as variáveis medidas no ambiente fabril foram identificadas. Posteriormente as variáveis foram comparadas com os resultados obtidos através das entrevistas, resultando no Quadro 15.

Quadro 15 - Análise de indicadores selecionados na literatura e entrevistas com profissionais da indústria

Indicador	Componentes														Fonte	Utilização em indústria de petróleo ou petroquímica	Utilização do indicador nas empresas pesquisadas
	Dimensões	Disponibilidade	Performance	Disponibilidade/Performance	Performance	Qualidade		Disponibilidade		Performance	Externo			NA			
	Variável	Tempo total programado	Tempo de ciclo por unidade	Tempo parada não programada	Tempo por perda de performance	Quantidade de produtos especificados	Quantidade total de produtos	Tempo total disponível do equipamento	Tempo total calendário	Tempo Referente ao Rendimento	Tempo perdido com transações (logística)	Tempo por falta de demanda	Fatores legais, requisitos de segurança e/ou ambientais	Índices de peso relativo			
	Símbolo	Tp	ti	Di	Si	qi	Q	Tt	T	Yi	Tui	Td	E	k			
	Unidade	t	t	t	t	pc	pc	t	t	t	t	t	NA	-			
OEE	Indicador pioneiro de análise de eficiência global de produção														Nakajima, 1988	Aragão e Bornia (2007); Passos e Aragão (2013)	Não identificado
TEEP	Agrega paradas planejadas, em relação ao OEE														IVANCIC, 1998	Aragão e Bornia (2007)	E2, E3, E4, E5
PEEdisc.	Semelhante ao OEE, porém faz uma ponderação entre os fatores disponibilidade, performance e qualidade														Raouf (1994)	Não identificado	Não identificado
PEEcont.	Único indicador dedicado para utilização em processo contínuo, identificado na literatura														Raouf (1994)	Flynn, V.J (1991)	Não identificado
OEEL	Semelhante ao OEE, porém considera os dados de toda uma célula de manufatura	Ao invés de utilizar os tempos por peça utiliza tempo médio de uma célula de manufatura	Ao invés de utilizar os tempos por peça utiliza tempo médio de uma célula de manufatura	Ao invés de utilizar os tempos por peça utiliza tempo médio de uma célula de manufatura	Ao invés de utilizar os tempos por peça utiliza tempo médio de uma célula de manufatura	Ao invés de utilizar os tempos por peça utiliza tempo médio de uma célula de manufatura									Chand e Shivani (2000)*	Não identificado	Não identificado
OLE	Forma de cálculo, semelhantes ao TEEP, porém considera toda uma linha de produção (com foco no último equipamento da linha)		Para o processo gargalo. Utilizado para o cálculo do tempo LPOQ	Para i=n, sendo n o último equip. da linha		Para i=n sendo n o último equip. da linha		utilizado para o cálculo do termo OTn							Nachiappan e Anantharaman (2005)	Não identificado	Não identificado
OEEML	Semelhante ao TEEP, porém leva em consideração o gargalo do processo		Para o processo gargalo. Utilizado para o cálculo do tempo CTn			Considerado para a última máquina da linha		Para toda a linha de produção LLI (line loading time)							Braglia, et al. (2009)	Não identificado	Não identificado
OFE	Relação entre quantidade total de produtos e produtos especificados. Leva em consideração o rendimento da unidade		Utiliza o tempo de taxa de saída para exprimir esta variável			compara a quantidade de produtos boas com a quantidade total				Não utiliza o rendimento em função do tempo e sim como um percentual					exponente de normalização	Hogfeldt (2005)	Não identificado
OTE	Semelhante ao OEE porém considera as quantidades globais do sistema e não apenas de um equipamento					número itens em todo o sistema, não apenas por equipamento como o caso do OEE									Muthiah e Huang (2007)	Não identificado	Não identificado
TOEE	Considera além das paradas programadas fatores externos.							Para toda a linha de produção LLI (line loading time)					referente ao termo de disponibilidade devido a causas externas		Braglia et al. (2009)	Não identificado	Não identificado
OPE	Calculado de maneira análoga ao OEE porém considera fatores externos na análise														MUCHIRI, PINTELON, 2008	Não identificado	Possível utilização (formação e abrangência adequadas para indústria de produção contínua)
OAE	Calculado de maneira análoga ao OPE porém baseado em quantidades														MUCHIRI, PINTELON, 2008	Não identificado	Possível utilização (formação e abrangência adequadas para indústria de produção contínua)
Variáveis medidas no ambiente da indústria contínua (baseado nas entrevistas - empresas pesquisadas)		Em processo puramente contínuo, o tempo programado é igual o tempo calendário, salvo paradas programadas. Embora medido nas empresas os termos de disponibilidade estão implícitos na quantidade de produtos especificados produzida.	Valor de referência padrão (capacidade / nível de atividade)	massa ou volume perdidos devido paradas não programadas, no período.	massa ou volume perdidos devido a planta não operar na capacidade máxima (diferença entre taxa atual e taxa padrão)	massa ou volume de produtos especificados no período de análise.	Quantidade total produzida ao longo do período, independente se especificado ou não.	Processo contínuo: tempo disponível do equipamento é igual ao tempo programado (paradas ocorrerem com a unidade em operação). Paradas programadas em número reduzido (ex. 1 a cada 2 anos, ou frequência ainda menor). Tal variável acaba por ficar implícita no cálculo de eficiência uma vez que se utilizam quantidades para tal.	Em processo puramente contínuo, o tempo programado é igual o tempo calendário, salvo paradas programadas. Embora medido nas empresas os termos de disponibilidade estão implícitos na quantidade de produtos especificados produzida.	Semelhante a perda de performance (diferença entre taxa atual e taxa padrão)	Variável utilizada em indicador desenvolvido para medição de eficiência global de processo contínuo, porém não evidenciou-se nas empresas sua utilização.	Variável utilizada em indicador desenvolvido para medição de eficiência global de processo contínuo.	Fatores legais são a principal fonte das paradas programadas (normalmente inspeções e calibrações de instrumentos). Fatores ambientais foram citados pelo entrevistado E5	Variável utilizada em indicador desenvolvido para medição de eficiência global de processo contínuo, porém não evidenciou-se nas empresas sua utilização.			
Utilização em empresas (obtido através das entrevistas)		igual ao tempo total calendário	E1, E2, E3, E4, E5	E1, E2, E3, E4, E5	E1, E2, E3, E4, E5	E1, E2, E3, E4, E5	E1, E2, E3, E4, E5	igual ao tempo total calendário	E1, E2, E3, E4, E5	Não identificado	Não identificado	E5 (medido em quantidade, Kg)	E1, E2, E3, E4, E5	Não identificado			

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira coluna do Quadro 15 apresenta os indicadores que foram identificados na literatura, seguida de outra que contém uma breve informação sobre o indicador. As colunas que seguem apresentam as variáveis medidas para a utilização dos indicadores. Para cada variável foi definida também a dimensão na qual essa está inserida. Quatro categorias foram identificadas: disponibilidade, performance, qualidade e fatores externos. As três primeiras são categorias que compõem o indicador OEE. Sendo que a última foi identificada em quatro dos 12 indicadores analisados. Outra variável que emergiu da análise dos indicadores e não possui dimensão que possa se enquadrar foram os índices de peso relativo, ou seja, as ponderações dos termos, tecnicamente arbitradas no cálculo de certos indicadores. Essa apareceu em três dos 12 indicadores. As três últimas colunas apresentam a fonte que define ou descreve o indicador, fontes que mencionam seu potencial uso em indústria de petróleo ou petroquímica, bem como a indicação obtida nas entrevistas sobre o seu uso nas empresas acessadas.

No cabeçalho do Quadro 15 são apresentadas também as notações usadas como referência as variáveis identificadas e suas unidades de medida. Buscou-se, dentro do possível, preservar a notação original apresentada pelos autores. Por fim, na base do quadro são apresentadas evidências identificadas nas entrevistas sobre o uso de cada variável na gestão de operações dos processos de produção contínua acessados.

Quando uma variável é usada em um indicador, a célula correspondente a essa relação foi marcada com fundo cinza. Se alguma explicação se faz necessária, devido à abrangência ou particularidade de cada indicador, então, essa foi realizada na própria célula.

Percebe-se que em nenhuma das entrevistas se identificou a utilização de índices de pesos relativos para a medição de eficiência. Ainda que sugerida por Raouf (1994), a utilização de pesos relativos pode incorrer na introdução de tendências nas medições. (JEONG; PHILLIPS, 2001).

Ao comparar os relacionamentos, nota-se predominância das variáveis utilizadas na concepção do OEE, que é o indicador pioneiro para a análise do rendimento global de equipamentos. Com exceção do indicador PEE e OFE, os demais utilizam todas as variáveis que compõem o OEE, tipicamente baseando na grandeza física Tempo o cálculo da eficiência. No entanto, embora as variáveis sejam as mesmas, sua abrangência nem sempre é: o OEE foi concebido para medir a eficiência produtiva de um único equipamento; os outros indicadores medem variáveis para células de manufatura (OEE, TEEP, TOEE), para linhas de produção (PEE, OEEL, OEEML e OLE) ou para toda a fábrica (OTE, OFE, OPE e OAE).

4.1.1 Eficiência de Insumos

Todos os entrevistados relataram a existência de indicadores de eficiência de insumos (matéria-prima e energia). Essa informação prestada pelos entrevistados vai ao encontro das ideias apresentadas no referencial teórico sobre custeio. (HANSEN, 1996; SALERANO, 1987, TOLEDO; FERRO; TRUZZI, 1986). Os entrevistados foram unânimes em afirmar que tais medições se constituem no mais importante parâmetro operacional de eficiência da unidade. Dois dos cinco profissionais da indústria afirmaram possuir medição *on line* da eficiência das principais matérias-primas do processo ou do consumo energético. Para o cálculo da eficiência de cada insumo, informaram dividir o consumo real (que é o que total de insumos que foi utilizado para a produção de uma determinada quantidade de produto, geralmente expressa em toneladas), pelo valor padrão (que é arbitrado para cada produto em receitas específicas, na mesma unidade do consumo real).

As receitas de produção são atualizadas, geralmente, uma vez ao ano com base nos resultados obtidos ao longo do período. Essa receita padrão é utilizada também para o custeio do produto, uma vez que os custos variáveis representam a maior parcela do custo total.

O método de atualização de receitas de produção também é comum para as empresas pesquisadas. A atualização é realizada se as eficiências dos insumos forem frequentemente maiores que 100% ao longo do período analisado (geralmente um ano). A receita pode ser alterada antes da revisão anual, caso forem causadas por fatores estruturais como, por exemplo, mudança de *hardware*, fatores legais, novas exigências de clientes entre outras causas que não podem ser removidas (melhoradas).

Dada a importância apontada pelos entrevistados, associando esse tema à análise requisitada, percebe-se que não foi evidenciado na literatura a dimensão relativa ao custeio de produção nos indicadores de eficiência global. Tal dimensão poderia ser oriunda de eficiências de insumo (matéria-prima e energia), que atualmente já são monitoradas. Conforme os entrevistados, tal dimensão é tão ou mais importante do que as quatro dimensões (disponibilidade, performance, qualidade e fatores externos) que estão presentes nos indicadores propostos, do ponto de vista da gestão operacional em suas empresas. Esse argumento é reforçado por Aragão e Bornia (2007), que afirmam que os custos variáveis representam a maior parte dos custos de produção em indústria petroquímica.

4.1.2 Capacidade e Nível de Atividade na Indústria Petroquímica

Quando questionados sobre a eficiência de produção, todos os profissionais da indústria mencionaram o fato da medição de desempenho de produção ser uma comparação entre o que realmente foi conseguido e um resultado padrão, ou meta preestabelecida. Salerno (1987) versa sobre a utilização de uma referência para a medição da performance real, que pode ser a capacidade nominal de projeto da unidade, a capacidade máxima ou, ainda, utilizar como referência um histórico de resultados.

Verificaram-se duas maneiras de considerar o valor de referência para cada unidade. Em duas das cinco entrevistas os profissionais mencionaram o fato do valor de referência ser considerado independente do produto que está em fabricação. Nesses casos a referência é baseada no produto de maior produtividade. A outra possibilidade, que apareceu em uma das entrevistas é que o valor de referência seja alterado conforme o produto que está sendo fabricado. Nas outras duas empresas, por se tratarem de unidades monoprodutoras, não existe esse tipo de possibilidade.

Questionada a maneira de como esse valor de referência é definido, apenas dois dos cinco entrevistados apresentaram critérios quantitativos para tal. O primeiro mencionou a realização de uma média móvel a cada 48 horas de produção. Se o valor dessa média móvel para determinado produto for maior que o valor de referência atual, logo esse dado é alterado; caso contrário, o valor médio é ignorado. O outro mencionou a realização de procedimento semelhante, porém com a média dos três melhores resultados obtidos dentro de um mesmo mês, independente do produto. Nas demais entrevistas, os critérios adotados são baseados em análises qualitativas e discussões do período de produção em questão. Os novos valores são arbitrados pelos profissionais que formaram o grupo sob o aval da gestão da unidade.

Os profissionais da indústria mencionaram o fato de ser comum a existência de pontos de eficiências maiores que 100%, quando a produtividade em um dado dia, ou parte do dia, excedeu o valor de referência. Ainda segundo os entrevistados, na maioria das vezes tal produtividade não é estável a longo prazo, constituindo-se em picos de carga. Essa ideia vai ao encontro ao que relatou o entrevistado da academia e ao citado por Osório (1988): se existe a possibilidade de aumento de produção além de 100%, é por que a unidade desconhece sua real capacidade. Como apresentado no referencial, capacidade é o maior valor possível de ser processado por um sistema de produção, levando em consideração todo e qualquer fator, independente se interno ou externo. (OSÓRIO (1988)). Uma vez atingido um valor maior que aquele considerado como máximo, então esse deverá ser de imediato adotado como nova

capacidade e as eficiências de um passado recente (geralmente dentro de um ano) devem ser recalculadas. Para o entrevistado, os motivos nos quais a estabilidade não possa ser mantida deve ser considerada uma perda por performance, o que vai ao encontro do que afirma Nakajima (1988) e Hansen (2006).

“[...] vê que tem uma diferença entre o conceito de capacidade e o conceito de nível de atividade. O conceito de capacidade é a máxima produção possível para aquele equipamento ou para aquela unidade produtiva. Então, se tu começa com um valor mais baixo e ao longo do tempo tu vai subindo a produção, é porque na verdade tu não chegou na tua capacidade máxima [...] Toda vez que eu trabalho com a velocidade abaixo da capacidade real eu estou tendo o que chama de nível de atividade, ou seja, quanto por cento eu estou usando da capacidade. [...] Não tem sentindo eficiência global maior que 100%. [...] Nunca posso atingir um valor que a capacidade não me permita” (E6)

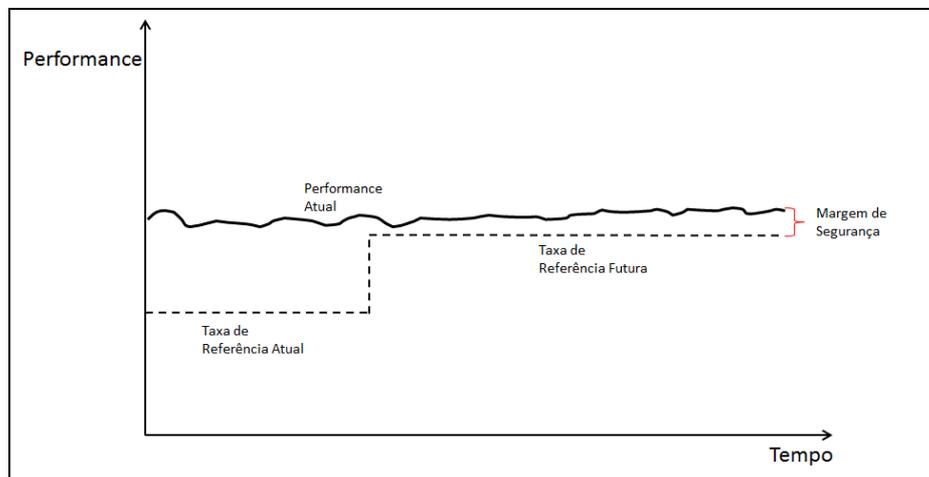
Percebe-se que de fato, o valor de referência utilizada pela indústria petroquímica, trata-se na realidade no nível de atividade da unidade. A mudança no nível de atividade de acordo com todos os entrevistados, é definida pelos gestores da empresa em reuniões de análise de performance, mesmo para os casos em que existem critérios definidos para tal. Das entrevistas, pode-se perceber que não é interesse da manufatura aumentar o valor referenciado do nível de atividade (inclusive gestores), pois o atingimento das metas passa a ser mais difícil cada vez que o alvo é aumentado. Quatro dos cinco entrevistados mencionaram o fato de não ser recomendado a alteração do nível de atividade, porque se pode perder a base de comparação entre os dados ao longo dos anos (evidenciando que não há processo prevendo o recálculo das eficiências históricas quando é mudado o valor de referência). Também mencionaram o fator anímico frente aos operadores e pessoal do chão de fábrica: o estabelecimento de metas ou dos valores de referência muito arrojados podem introduzir insatisfações e fazer com que a motivação dos colaboradores diminua, devido ao não atingimento de metas de maneira sistemática. Dois dos cinco entrevistados relataram que, na prática, as mudanças no nível de atividade só ocorrem em virtude de projetos, sejam esses de aumento de capacidade (taxa é elevada), sejam para atender requisitos legais, como por exemplo, emissões ambientais (quando, normalmente, as taxas são diminuídas). Os relatos dos entrevistados E1 e E4 exemplificam tais fatos supracitados:

Sempre que a gente consegue trabalhar com elevada eficiência por vários dias consecutivos é bom, pois vamos bater a meta de produção do mês. Mas nesses casos também pode ser que venha a pressão para aumentar o valor da carga de referência. Quando isso acontece a gente sempre pondera bastante e, antes de adotar um novo valor, coloca uma gordurinha [margem de segurança] para não ficarmos com a corda no pescoço. (E1)

É difícil explicar para um operador de campo que, devido ao bom trabalho que ele fez, como prêmio vai receber uma tarefa ainda mais difícil. Muitas vezes as PLR's [pagamento individual variável] estão amarradas a determinados índices. Se a empresa definir valor impossível de se atingir, já, desde o início do ano, o funcionário não vai trabalhar motivado, pois sabe que é impossível cumprir a meta! (E4)

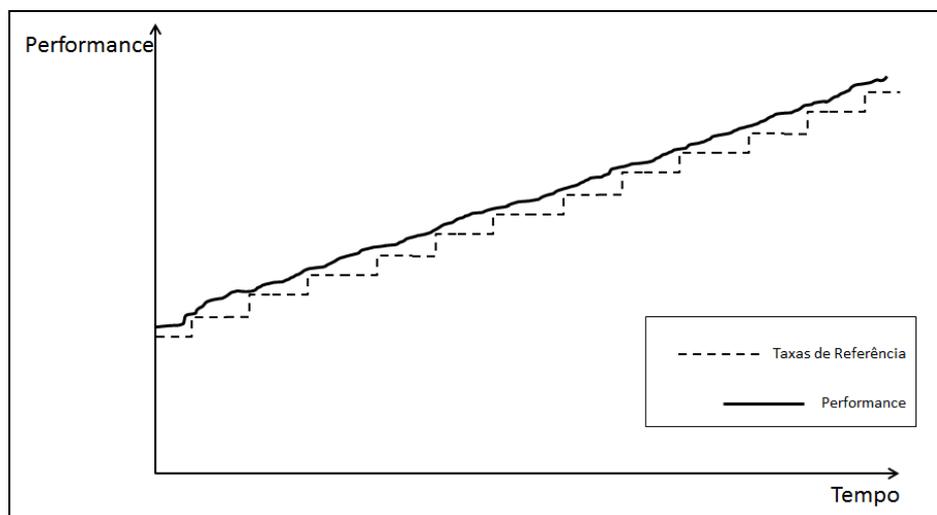
Para ilustrar as falas apresentadas, o Gráfico 6 mostra como o estabelecimento de margem de segurança, na definição das quantidades de referência, interfere no monitoramento da performance a curto prazo (um ou dois anos) e o Gráfico 7 ao longo dos anos (em geral, mais de cinco anos).

Gráfico 6 - Estabelecimento de margem para novo valor de referência de nível de atividade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 7 - Desenvolvimento da performance versus valor de referência ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado da falta de critérios para a definição do nível de atividade no cálculo de indicadores, aliado ao fato dos profissionais não terem o interesse na alteração desse pelos motivos acima citados, pode-se concluir que os valores de eficiência medidos são, em grande parte das vezes, superestimados. Em outras palavras, a eficiência real é menor do que a medida pelas empresas. Isso pode fazer com que as reais causas de ineficiências venham a não emergir e, por conseguinte, não sejam adequadamente tratadas.

Tanto as entrevistas quanto à literatura mencionam o fato dos níveis de atividade adotados na indústria petroquímica serem obtidos de maneira empírica com base em testes de aumento de produtividade e valores históricos. Na indústria de produção discreta, como por exemplo, a metal-mecânica, a determinação dos tempos de ciclo é feita com base científica, normalmente através de cronoanálise. (HANSEN, 2006). A ausência de critérios similares é um dos fatores que faz com que seja comum a existência de pontos de eficiências maiores que 100% em processos contínuos, situação praticamente não existente nos processos discretos.

Da análise até agora apresentada, percebe-se que grande parte dos indicadores do Quadro 15, por terem sido desenvolvidos originalmente para a indústria de produção discreta, não discutem a respeito da maneira de definição do tempo de ciclo de produção, independente se esse seja para um único equipamento, célula de manufatura ou mesmo de toda uma linha de montagem. Esses fatos trazem à luz a necessidade de um melhor entendimento quanto aos conceitos de nível de atividade e capacidade para a indústria de produção contínua. Métodos de definição de capacidade para indústria de produção contínua não foram identificados na literatura pesquisada. Evidências de campo também não introduziram uma maneira definitiva ou inquestionável para a determinação da capacidade de produção. Esse é um tema relevante na medida em que estabelece a base para mensuração do conceito de eficiência de forma comparável e sistemática. Seu estudo, no entanto, é deixado para pesquisas futuras.

4.1.3 Disponibilidade, Performance e Qualidade

Para analisar as dimensões, disponibilidade, performance e qualidade, recorreu-se aos relatos dos entrevistados. Como a eficiência global de produção é uma fração da quantidade de produtos especificados produzida em determinado período pela taxa padrão, implicitamente estão inseridos nos indicadores de quatro empresas, as dimensões disponibilidade, performance e qualidade. Apenas em um dos casos não ocorre a consideração da dimensão qualidade. O entrevistado E2 menciona que o cálculo do indicador de eficiência global de produção (que a empresa denomina de Fator de Utilização (FUT)) é realizado

subtraindo-se as perdas totais do valor de referência e dividindo esse pelo próprio valor de referência para a obtenção de um percentual. Nesse caso, a geração de produto fora de especificação ou reprocesso não é computada como perda. O entrevistado mencionou a existência de um manual interno da empresa, no qual consta uma árvore de alocação de perdas, porém esse não foi fornecido para a presente pesquisa. Segue relato do entrevistado E2:

“O FUT é feito considerando o limite da empresa, a cerca externa como produção, considera-se tudo o que saiu daqui de dentro da unidade. Os caras da [agência de regulação] estão constantemente aqui dentro e nada pode sair daqui de dentro sem que seja conforme as especificações [...] Se algum produto é gerado e esse não pode ser vendido ele é novamente processado, ou misturado na carga do [equipamento de produção] ou, em último caso é queimado como combustível em outros processos internos[...] Este material não é de fato uma perda para nós, a gente considera valor em tudo, mesmo se o produto não estiver bom para venda ele estará bom para outro uso aqui dentro”. (E2)

Na análise realizada com os indicadores pesquisados na literatura, apenas o indicador PEE não considera a variável “Quantidade de produtos especificados” referente à dimensão qualidade. Esse indicador considera diversos outros aspectos que o entrevistado E2 não mencionou. Como o indicador calculado não foi apresentado e não se permitiu o acesso ao manual sigiloso da empresa, não foi possível assegurar que o indicador utilizado na empresa em que trabalha o entrevistado E2 seja igual a algum dos indicadores pesquisados na literatura.

Com relação à situação relatada pelo entrevistado E2, tem-se uma discrepância com as definições encontradas na literatura. (HANSEN 2006; NAKAJIMA, 1988). Independente do destino do material fora de especificação, a geração desse é uma perda, pois a sua produção demandou recursos e não atendeu os requisitos preestabelecidos, ou seja, não gerou valor. O argumento utilizado pelo entrevistado, de que tudo o que é produzido agrega valor, não é inteiramente válido, pois o consumo de energia em reprocesso ou o uso em queima representam atividades desnecessárias, caso o produto atendesse às especificações. Além disso, extrapolando-se para uma situação hipotética em que 100% da produção esteja fora de especificação, a unidade não teria o que comercializar e teria de produzir novamente esse volume, trabalhando duas vezes para gerar a mesma quantidade de vendas. Dessa maneira, entende-se que a leitura dada pelo indicador FUT, mesmo que parcial, não seria adequada para a medição de eficiência global de produção com a base científica pretendida. Não se encontrou evidência para a não utilização da dimensão da qualidade pela empresa do entrevistado E2. Tanto na literatura quanto nas outras entrevistas, essa dimensão foi

contemplada. Por ser a única empresa de petróleo, diferentemente das outras, que se tratam de petroquímicas, não foi possível realizar uma comparação por segmento industrial.

As dimensões de disponibilidade e performance foram identificadas para todos os casos entrevistados, embora haja particularidades na maneira de consideração de tais dimensões.

As perdas devido à disponibilidade são maiores que aquelas devido à performance, segundo todos os entrevistados. Isso se deve ao fato do alto nível de integração das instalações, conforme mencionado na literatura por Awbrey e Silber (2015). A indisponibilidade de um equipamento acarretará perda de performance da unidade como um todo. As partidas e as paradas das unidades são bastante onerosas, consumindo considerável montante de material, energia e principalmente tempo. Também, conforme explicitado no capítulo de referencial, Hansen (1996) fortalece essa ideia discorrendo sobre o fato de que a paralisação de um componente de um sistema produtivo na indústria de processos contínuos afeta diretamente a produção global: a descontinuidade não se restringirá ao equipamento parado, mas também aos períodos de saída e reentrada em regime do processo de transformação, conforme mostrado no Gráfico 3.

Para a manufatura cabem as análises das perdas por indisponibilidade que podem ser causadas em sua grande maioria por problemas de manutenção ou operacionais (manobras indevidas de operadores). Os cinco entrevistados relataram ser esse o maior fator causador de perdas de produtividade. Evidenciou-se a existência de sub indicadores específicos para a medição da dimensão disponibilidade. O entrevistado E2 menciona a presença dos indicadores DO e DM, que são disponibilidade operacional e de manutenção, respectivamente. Já o entrevistado E4 discorreu sobre a existência de um indicador chamado de “operosidade”, que trata da indisponibilidade devida a problemas operacionais, e outro chamado de “disponibilidade” que mensura problemas de manutenção. Segundo ele, o produto desses dois indicadores constitui o que a empresa chama de “*availability*” e é o índice no qual a manufatura mais centra o seu foco de atenção:

“[...] o rate e o quality são bons, na real, o que a gente mais olha mesmo é o availability”. (E4)

“Rate” e “quality” são outros sub índices utilizados pela empresa para designar os termos relativos à performance e à qualidade, respectivamente. Esses compõem o indicador de eficiência global utilizado pela empresa na qual trabalha o entrevistado E4, que é intitulado OEE. Percebe-se aqui, a clara correlação dos sub indicadores *availability*, *rate* e *quality* com

as dimensões que compõem o OEE, representadas no Quadro 15, inclusive utilizando a mesma nomenclatura (embora haja diferença na língua em questão).

No sentido de definir as corretas categorias de perdas, assim como mencionado pelo entrevistado E3, Aragão e Bornia (2007) propõem uma árvore de perdas para a indústria petroquímica. Como apresentado no referencial teórico, Busso e Miyake (2013), também se preocuparam em apresentar uma árvore de perdas com abrangência interna e externa. Nakajima (1988) e Hansen (2006) também discorrem sobre a importância de uma correta árvore de alocação de perdas como ferramenta para identificação de fontes de ineficiência dos processos. No relato do entrevistado E3

“Só o que interessa para a gente são as perdas, tudo gira em torno das perdas. Se estamos produzindo menos do que a quantidade estipulada, isso quer dizer que tu está perdendo [...] tu fazer a distribuição das perdas que acontecem ao longo do dia é o que mais interessa para a gente, pois assim a gente pode atacar nas causas”. (E3)

A dimensão performance foi evidenciada totalmente implícita na variável que define a “quantidade de produtos especificados” em todas as entrevistas. O resultado da integração da quantidade de material dentro da especificação produzido ao longo do dia é totalmente dependente, obviamente da performance. Para todos os casos, o indicador performance é a diferença da taxa de produção atual da taxa de referência.

4.1.4 Fatores Externos

Existem perdas que foram classificadas como externas nos indicadores selecionados na literatura. Essas, porém, no ambiente de produção contínua, traduzem-se em falta de disponibilidade. A existência de normas regulamentadoras, que garantem a integridade de equipamentos com o intuito de prevenir acidentes, faz com que as unidades devam parar suas operações para testes nos referidos equipamentos. Nakajima (1988) classifica como perda por disponibilidade o ciclo em vazio.

Uma alternativa para evitar a necessidade de parada da unidade seria a utilização de equipamentos redundantes, alternativa essa que, devido ao montante expressivo de capital para instalações neste tipo de indústria (TOLEDO; FERRO; TRUZZI, 1986), não se apresenta como viável. Uma vez que não se identificam soluções factíveis para tratar do assunto, as empresas tendem a classificar essas paradas como causas externas, embora sejam, de fato, uma indisponibilidade dos equipamentos.

Ainda, no Quadro 15, a coluna relativa à variável “Fatores legais, requisitos de segurança e/ou ambientais” foi classificada na dimensão de fatores externos. Tais fatores foram identificados em todas as entrevistas com os profissionais da indústria. Alguns aspectos legais como a quantidade de emissões (efluentes), por vezes, também obrigam as empresas a reduzir sua velocidade de produção. Tal fato é uma perda por performance. Nesse caso, também não é possível o tratamento desse ponto de perda pela manufatura (dado que não está ao alcance da operação reverter esses fatores). Então as empresas tendem a classificar essas perdas como aspectos externos. Normalmente, fatores relativos a emissões estão definidos em licenças (ambientais, de instalação e/ou de operação) e sua alteração não cabe à manufatura. Esses fatos foram relatados por dois dos cinco entrevistados. Quanto aos outros, não foi mencionado tal fator. Porém, devido à natureza das empresas onde atuam, é provável uma situação semelhante.

4.1.4 Coleta e Análise de Dados na Indústria Petroquímica

A maneira de coletar os dados de campo também foi bastante semelhante em todas as entrevistas realizadas. Em duas unidades pesquisadas, consideram-se os produtos finais: líquidos ou gases, sendo que são entregues a seus clientes através de tubulações. Por essa razão, a medição da produtividade é realizada por sensores de fluxo conectados ao sistema supervisório de controle da unidade. Nas outras três unidades, onde o produto final são resinas sólidas, a medição da produtividade é realizada por balanças no final da linha de produção. Os entrevistados informaram que seus instrumentos de medição de produção são aferidos conforme padrões estabelecidos por órgãos competentes, como por exemplo, o INMETRO e auditados periodicamente. O profissional da academia entrevistado, também citou o fato de que a forma com que os dados são coletados em campo é fundamental para o correto cálculo dos indicadores, pois segundo ele, esse é o ponto de partida de qualquer análise:

“Se os dados de campo não são confiáveis, nada do que os indicadores te informam podem ser considerados válidos. Se a análise começa errada, esses erros vão se amplificando ao longo da operação de cálculo e análise e em situações extremas pode culminar em decisões estratégicas erradas”. (E6)

Segundo Hansen (2006), a coleta de dados de campo constitui-se uma importante etapa para o cálculo de eficiência de produção.

Em todos os cinco casos, as informações coletadas automaticamente no campo, são enviadas, também de maneira automática, para sistemas de gestão de manufatura. Do sistema de gestão de manufatura cabe aos líderes ou supervisores de produção a extração de relatórios

que posteriormente serão utilizados por Engenheiros das unidades para o cálculo dos indicadores e alocações das perdas de produção, caso essa venham a existir.

Novamente, a maneira na qual os dados são analisados é bastante semelhante entre todas as empresas pesquisadas. Existem reuniões com frequência maior (diárias, três e uma vez por semana) que envolvem o nível operacional (Supervisores de produção, Engenheiros dos departamentos de Produção e de Manutenção). Nessas reuniões são tomadas ações de curto prazo para trazer para a Unidade, caso não esteja, para a situação de performance elevada. Em resumo, identificam e atacam as causas que estão momentaneamente deteriorando a performance da Unidade.

Existem também reuniões de cunho gerencial, onde são tratados pontos recorrentes de queda de performance. Esses são tratados de maneira estrutural e nessas reuniões pode-se decidir sobre investimentos, substituição e modernização de equipamentos, etc. Sendo que essas reuniões gerenciais possuem uma frequência menor (quatro casos mensais e um caso bimestral) e participam, normalmente, os gestores de produção, projetos, manutenção e caso haja, algum departamento específico de performance de processos. Em tais reuniões também, como anteriormente citado, são tomadas as decisões sobre os valores ou as taxas de referência para o cálculo dos indicadores de eficiência. Apenas em duas das cinco entrevistas o método de análise dos dados está estruturado e possui uma norma interna regulamentando as rotinas de reuniões, bem como as responsabilidades de cada ator do processo. Hansen (2006) apresenta um modelo para a análise de performance que se assemelha aos modelos encontrados nessas duas empresas. Nos outros casos, as reuniões estão sob a responsabilidade de indivíduos e constituem-se em boas práticas que foram desenvolvidas ao longo dos anos na empresa.

Quanto à existência de normas internacionais para cálculo de eficiência de produção em empresas de fluxo contínuo, tanto os cinco profissionais das empresas, quanto o profissional da academia disseram não ter conhecimento de tal padrão. Busso (2012) realizou um trabalho comparando a abrangência dos indicadores de medição de desempenho, bem como um estudo de caso em uma empresa de processo contínuo e também não mencionou a presença de norma que apresentasse tal padrão de cálculo. Corroborando o acima mencionado, Raja e Kannan (2009) afirmam não existir um método padrão para o cálculo da eficiência global de produção para processos compostos por sistemas interconectados. A falta de identificação na literatura e também o desconhecimento dos entrevistados, não significa que não existam tais normas.

Duas empresas pesquisadas não possuem um manual, ou norma interna, que indique as diretrizes para coleta de dados, cálculo e análise dos dados. Nestes casos, segundo os entrevistados, as diretrizes para tal são definidas pelas unidades de negócios. Já os outros casos estudados, existem normas internas e manuais da própria empresa que definem como deve ser feito todo o processo de análise de eficiência.

Quanto às deficiências ou lacunas apresentadas pelos indicadores, houve maior dispersão nas respostas dos entrevistados. Em um dos casos, o entrevistado mencionou o fato de que para a definição da taxa de referência é levado em consideração a produção total e já para o cálculo de eficiência o indicador considera apenas produtos dentro de especificação. Tal fato faz com que a eficiência medida seja invariavelmente menor do que a eficiência real da unidade. Outro entrevistado, mencionou o fato das perdas relativas aos dois meses de parada programada, que ocorrem a cada cinco anos, serem consideradas na definição do valor de referência acarreta numa eficiência real menor do que a medida. As perdas dos dois meses de parada são somadas, divididas por 60 (que é o número de meses ao longo de 5 anos, tempo entre paradas) e subtraídas da carga de referência mensal. Porém, mesmo com a falha da empresa em considerar a parada ao longo dos meses de operação, o entrevistado acredita que, devido ao valor se repetir, e as perdas serem pequenas, este fato não causa danos às análises que são realizadas com os indicadores. Outro entrevistado disse acreditar que os indicadores escolhidos pela empresa conseguem mostrar, de fato, o que realmente é preciso para a medição de performance da unidade. Este mencionou ainda que a empresa está implementando indicadores específicos visando aumentar a disponibilidade de equipamentos e, conseqüentemente, aumentar a possibilidade de uma eficiência global da unidade maior. Os indicadores que estão em fase de implementação são relativos a análise de falha, que são o *Mean Time Between Failures* (MTBF) e o *Mean Time To Repair* (MTTR). Outro profissional apontou que a falta de um critério objetivo para o cálculo da capacidade é um ponto que pode ser melhorado. O mesmo ainda sinalizou o fato da empresa analisar o OEE, e não o TEEP. Este fato permite que as perdas sejam alocadas para categoria de perdas programadas, mesmo que nem sempre isso seja totalmente verdadeiro, o que gera o risco da eficiência real ser manipulada. Por fim o entrevistado E3 disse acreditar que o indicador utilizado pela empresa é suficientemente bom para as necessidades da empresa.

O profissional da academia, relatou que o indicador deve possuir os termos descritos na concepção OEE, conforme proposto por Nakajima (1988). Se possuir estas três parcelas, e as coletas, cálculos e análises forem feitas de maneira adequada o indicador será bom o

suficiente para medição do desempenho da unidade, independente se de produção contínua ou intermitente. Segue-se m breve relato do entrevistado E6.

“...se o indicador tiver os três termos do OEE ele será adequado, não existe essa discussão sobre quais variáveis devem ser utilizadas[...] O primeiro temo, ele vai fazer uma medição, uma mensuração, quando a velocidade do sistema cai para zero. Seria uma queda da planta por um problema de vazamento, um problema de manutenção grave. [...] Esta primeira medição é quando a eficiência cai a zero por qualquer razão. O segundo indicador é a comparação quando a velocidade nominal projetada para o equipamento e a velocidade nominal que o equipamento realmente está produzindo. Quando o equipamento está produzindo a uma taxa nominal menor que a taxa nominal padrão eu tenho a chamada queda de velocidade. O terceiro indicado, ele está vinculado com o problema de produção na taxa nominal, mas com qualidade deficiente [...] Tem que se entender a tecnologia do equipamento para entender como faz a medição da produção por hora daquele equipamento, não necessariamente tempo.” (E6)

4.1.5 Seleção de Indicadores Para Cálculo de Eficiência com Dados Reais

Conforme verificado nas entrevistas, de alguma maneira as variáveis de tempos em produção, identificadas nas referências do Quadro 15, também são consideradas no ambiente de produção contínua. No entanto, as entrevistas revelam, que muitas não são usadas diretamente para o cálculo de eficiência: “Normalmente, na indústria petroquímica, são expressas em unidades de massa ou volume” (Entrevistado E4).

Outra particularidade da indústria de produção contínua com relação à indústria de produção intermitente é que, na primeira, a discretização da produção não é trivial. Como, na indústria de produção contínua, em geral, os produtos constantemente passam por tubulações ou esteiras, as medidas de quantidade devem ser realizadas por instrumentos que tenham a capacidade de coletar dados independentemente do dinamismo do processo. Na indústria de produção intermitente, seja através de uma relação com uma peça padrão (pesando-se a quantidade produzida) seja por contagem propriamente dita – ou ainda através do acondicionamento em caixas com quantidades predefinidas, em lotes, etc. – a contagem de material contribui para mitigar erros de inventário. Sabe-se com facilidade onde começa e onde termina uma peça. Já, quando o material não é unitizado, como em alguns casos na indústria de produção contínua, ou comercializado a granel, ou através de dutos ou esteiras, a quantificação torna-se uma tarefa difícil. Onde começa e onde termina um quilograma de material? Onde inicia e onde termina um metro cúbico de líquido, ou de gás? Essas peculiaridades acabam por inserir erros de medição no sistema, devido a presença, praticamente que inerente destes erros, as integrações de materiais, normalmente são

realizadas em períodos mais longos em comparação a empresas de produção intermitente. É comum evidenciar a utilização do indicador OEE com base horária para a indústria de processos intermitentes. (LJUNGBERG, 1998; NAKAJIMA, 1988). Já na indústria petroquímica, não se evidenciou, nas entrevistas, integrações de material em uma frequência menor que diária para o cálculo dos indicadores. Segundo todos os entrevistados, uma frequência maior pode trazer grande dispersão para o sistema e em nada ajuda a análise. Dos cinco entrevistados, apenas o entrevistado E2 mencionou o fato do índice não ser calculado diariamente: na empresa na qual atua, os cálculos são semanais.

Esta particularidade nas medições das quantidades, já havia sido explicitada no referencial por Borges e Dalcol (2002), Hansn (1996) e Salerno (1987), é fundamental para o entendimento das análises aqui realizadas e que ora findam. Devido a abrangência de dimensões e de variáveis consideradas no cálculo, o indicador OAE (*Overall Asset Effectiveness*) será utilizado para estimar a eficiência global de produção. O indicador OPE, também apresenta uma abrangência adequada para o cálculo. A Figura 9 do referencial teórico, proposta por Busso e Miyake (2013), mostra que o OAE e o OPE possuem a maior abrangência, seja considerando perdas externas seja quanto ao sistema produtivo (considerado para toda uma unidade e não apenas um único equipamento). Conforme a análise realizada, se evidencia que a diferença entre o OAE e o OPE está apenas no fato de o OPE ser calculado com base no tempo e o OAE em quantidade de material. Como as medições na indústria petroquímica são baseadas em quantidade e não em tempo, o OAE é o indicador mais aplicável para a análise dos dados.

A seção que segue apresenta os cálculos, gráficos e análise para verificação da eficácia dos indicadores.

4.2 Cálculo da Eficiência de Produção: análise com dados reais

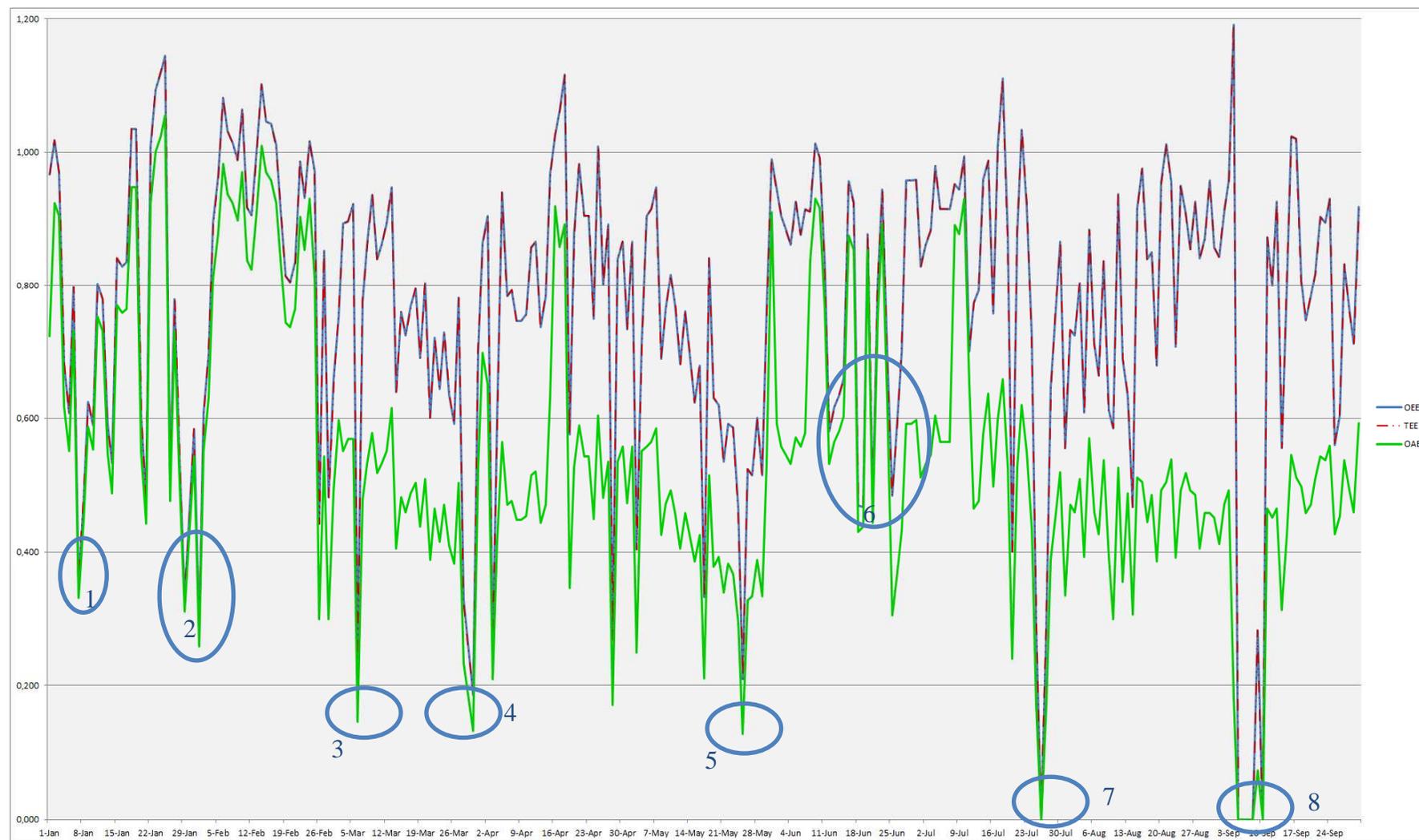
A análise comparativa entre os indicadores de eficiência global, derivados do OEE, apontados na literatura mostrou que o indicador OAE pode ser passível de aplicação em indústrias de processo contínuo. Esse será calculado e comparado com os indicadores utilizados pela empresa do entrevistado E5 (OEE e TEEP), de onde os dados foram coletados.

Os dados foram coletados da mesma maneira que a empresa procede para o cálculo do indicador de eficiência que atualmente utiliza (OEE). Foi fornecida, pelo entrevistado E5, uma planilha com dados referentes à produção. Nessa planilha constam os números referentes à quantidade de refugo, ao reprocesso e ao material fora de especificação (dados de

qualidade). Também na tabela foi fornecido o produto que estava em produção e por quanto tempo operou, o que permitiu fazer a alocação de perdas devido ao *mix* de produção. Outras informações, como, por exemplo, horas paradas (programadas ou não) e causas das perdas de produção, também estavam contidas na tabela. Os dados estão compreendidos entre os meses de janeiro e setembro de 2015. Para refletir o momento atual da empresa, preferiu-se a utilização de dados recentes em detrimento de outros que não seriam compatíveis com essa situação.

Para o cálculo foram utilizadas as expressões correspondentes do Capítulo 2. Os dados foram representados graficamente de forma temporal ao longo do ano (1 ponto a cada dia). No Gráfico 8 estão os dados referentes ao OEE, TEEP e o OAE.

Gráfico 8 - OEE, TEEP e OAE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora Nakajima (1988), mesmo sem fazer diferenciação entre perdas internas e externas, tenha previsto a existência de ciclos vazios (e os classificou como perdas de disponibilidade), para o cálculo do OEE e TEEP foram utilizadas as práticas comumente encontradas na indústria petroquímica. Às perdas devidas aos ciclos vazios, como é o caso das perdas por falta de demanda, não foram classificadas como perda por disponibilidade, e sim perdas externas, conforme evidenciado na seção 4.1 para a elaboração do Quadro 15.

Além disso, a prática da indústria petroquímica é arbitrar que o tempo programado é igual ao tempo calendário, fazendo com que não exista o termo referente ao tempo não programado. Em função dessa particularidade, conforme pode ser visto no gráfico, os valores de OEE e TEEP foram iguais ao longo do ano. Tal fato se deve por não haver paradas programadas no período de análise. Analisando o gráfico não é possível verificar diferença entre as duas linhas.

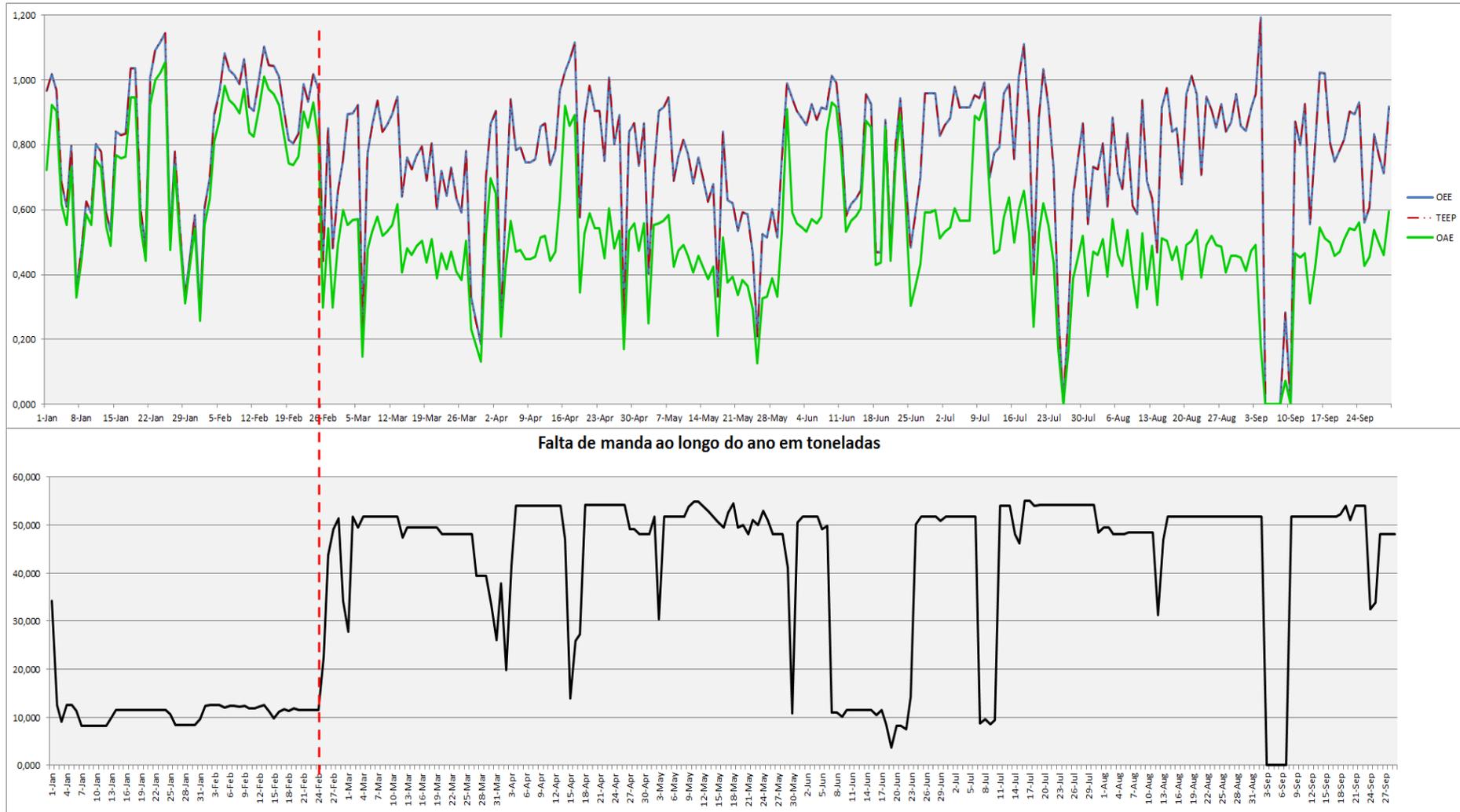
Ainda conforme visto no referencial teórico o indicador TEEP é aplicado quando o equipamento em análise é o gargalo da unidade. Uma vez que desconsiderou-se buffers internos, e elementos de desacoplamento, pode-se arbitrar a unidade toda como sendo um único equipamento. Desta maneira, a unidade como um todo é o gargalo e a existência de indicador OEE poderia tornar-se irrelevante. No presente trabalho foi mantida a notação uma vez que evidenciou-se, através das entrevistas, as organizações utilizam o conceito de OEE. A substituição do OEE pelo TEEP pode vir a causar desdobramentos para o chão de fábrica, que nem sempre são positivos.

É possível perceber, no entanto, a presença de pontos com eficiência maior do que 100% (maior que 1 no Gráfico 8). Conforme já foi discutido na seção 4.1 do presente trabalho, isso se deve ao fato da taxa de referência considerada (dita como máxima pela empresa) não ser realmente a capacidade e sim o nível de atividade de sua planta (OSÓRIO, 1988). Mesmo para o OAE, que considera a presença de fatores externos no cálculo, no mês de janeiro ocorreram 3 casos de eficiência acima do limite máximo. Nesse ponto, pode-se perceber que a unidade em questão não estava utilizando de fato a capacidade como referência para o cálculo da sua eficiência global, como ilustrado no Gráfico 6.

Seguindo a análise do Gráfico 8, percebe-se que no início do período em questão, até por volta do mês de março de 2015, a diferença entre as eficiências medidas pelos indicadores é menor. Com o intuito de explicar tal fenômeno, voltou-se para a árvore de perdas e evidenciou-se que a parcela relativa à falta de demanda, a partir do mês de março, teve um aumento em relação ao início do ano.

Construiu-se então o Gráfico 9, na parte inferior, apresenta-se a quantidade diária, em toneladas, referente às perdas provenientes da falta de demanda. Analisando essas perdas, pode ser evidenciado que ao longo do ano o termo relativo à falta de demanda ocasionou uma discrepância entre os indicadores OEE, TEEP e OAE. Também é possível afirmar que o indicador OAE, por ter uma abrangência de perdas maior que o OEE e TEEP, considerando perdas por demanda, apresentou maior eficácia, pois representa a ineficiência a partir do momento em que as vendas passaram a influenciar a performance da unidade.

Gráfico 9 - Quantidade perdida por falta de demanda



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para eficiências relativamente baixas (abaixo de 40%, por exemplo), os indicadores tendem a se comportar de maneira semelhante, ou seja, a diferença entre o OEE para o OEE e TEEP cai independente da magnitude do termo relativo à falta de demanda. Os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8 marcados no Gráfico 8 mostram tal evidência. Analisando os dados, percebe-se que, nos dias referentes aos pontos de baixo rendimento, as causas de perdas internas da manufatura, foram maiores que as causas externas. Como os indicadores OEE e TEEP consideram apenas as causas internas e o indicador OAE a soma das perdas externas a diferença entre os mesmos diminuiu.

O ponto 6, mostrado no Gráfico 8, foi explorado em conjunto com o entrevistado E5. Foi feita a indagação dos motivos nos quais as eficiências ao longo do mês de junho foram baixas, mesmo com as perdas devido à falta de demandas pequenas em relação ao restante do ano. O entrevistado relatou problemas internos de operação e manutenção, causados por *setups* (o que, para indústria contínua, traduz-se em perdas por performance e por qualidade) e quebra de equipamento (perda por disponibilidade). O mesmo disse que é comum as perdas de performance serem encobertas, em parte, na forma de perdas devido à falta de demanda. Dado que a empresa usa o OEE (apesar de calcular como TEEP), percebe-se o impacto dessas ações, quando comparadas com o OAE.

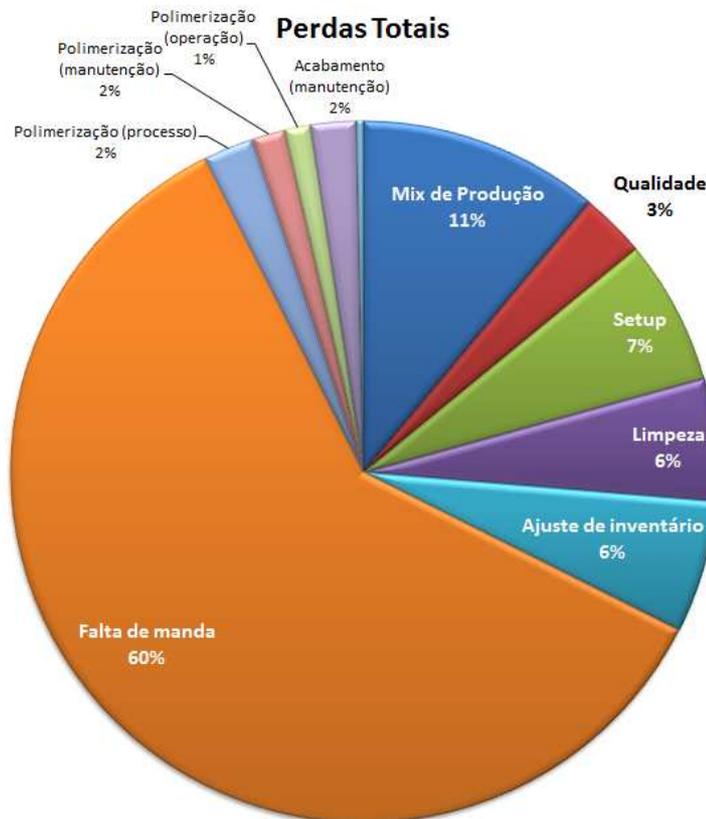
Os pontos 7 e 8 marcados no Gráfico 8 mostram que a eficiência da unidade em determinados períodos caiu a zero. No ponto 7, referente ao mês de julho, o entrevistado relatou que houve problemas operacionais que causaram a indisponibilidade da unidade. No referido mês, a unidade ficou parada por 31 horas. Já no mês de setembro (ponto 8), o entrevistado mencionou que a unidade estava operando com velocidade reduzida devido à falta de demanda e, ainda assim, foi necessário realizar parada total de produção. Na ativação da unidade, surgiram problemas operacionais e, por isso, a planta voltou à operação com a eficiência igual a zero. Para essa situação, os indicadores não apresentam diferença, uma vez que o valor real de produção foi zero, o que era esperado.

Para uso adequado do OEE, a parada devido à falta de demanda deveria ser considerada como uma parada programada. (HANSEN, 2006). Nesse caso, ter-se-ia a diferença entre os valores de OEE e TEEP. Como se trata de poucas horas (apenas 85 horas de um total de 6.552 analisadas) esse ponto não será aprofundado. Depois disso, até o final do período considerado não existiram novas situação de Unidade parada.

Para verificar se outra causa de perda, pode ser atribuída para explicar a maior diferença entre os indicadores a partir do mês de março, as perdas totais foram avaliadas, e o Gráfico 10 foi construído. As perdas externas (relativas aos termos falta de demanda e ajuste

de inventário) representam 66% das perdas totais registradas, comprovando que a causa da diferença entre os indicadores OEE e TEEP para o OAE está associada a essa dimensão.

Gráfico 10 - Perdas no período

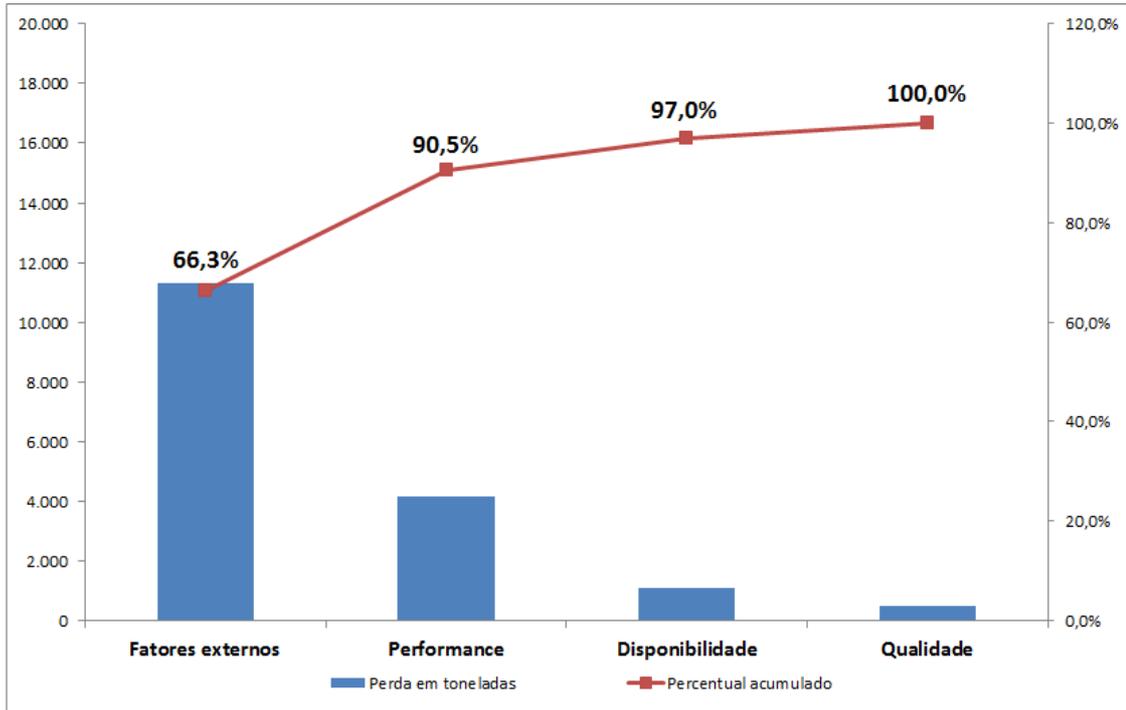


Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizou-se ainda uma análise frente às dimensões identificadas no Quadro 15. O Gráfico 11 foi construído fazendo a integração dos dados de janeiro até setembro (inclusive). Nota-se que, conforme esperado, a dimensão relativa a fatores externos novamente teve a maior representatividade.

Identifica-se, através do Gráfico 11, uma discrepância em relação ao que os entrevistados mencionaram com relação às dimensões das perdas. A opinião dos entrevistados foi unânime no fato de que as perdas por disponibilidade possuem uma maior magnitude do que as perdas devido à performance, diferentemente do apresentado nesse gráfico. Ao ser indagado, o entrevistado E5 disse que 2015 foi um ano atípico: *"com a unidade operando em velocidade reduzida, a exigência dos equipamentos também está menor, ou seja, os equipamentos não trabalham em seu limite de capacidade e, com isso, as quebras não são tão frequentes"* (E5).

Gráfico 11 - Pareto de perdas conforme dimensões provenientes do quadro 13



Fonte: Elaborado pelo autor.

O entrevistado mencionou ainda que os parâmetros que mais importam para o pessoal de manufatura são o volume mensal programado, o OEE e o índice *prime*. Esse último é a relação entre produção especificada e produção total. Como existe ociosidade, as perdas internas são, em parte, encobertas pela grande quantidade de perdas por falta de demanda. Os três itens são comparados mensalmente pelos gestores da Unidade de Negócio (*Business Unit* - BU), entre os 5 sites da mesma BU (o *site* brasileiro, dois na Europa, um nos Estados Unidos e um na China). Na fala do entrevistado E5, pode-se perceber tal fato:

“É interessante apresentar números bons porque a nossa moral junto à BU fica elevada. Isso é bom, pois na hora da definição de investimentos, como a gente está bem na foto [com números positivos], às vezes, levamos vantagem [...] Se eu tenho, ao longo do dia, perdas devido à manutenção, mas a perda total do dia foi da magnitude da perda por falta de demanda, a gente nem faz a alocação para manutenção, a gente aloca toda a perda daquele dia para a falta de demanda, com isso nossos números de OEE ficam bons”. (E5).

Observa-se, desse relato, um equívoco conceitual, do ponto de vista do OAE e do recomendado por Nakajima (1988), dado que essas perdas deveriam ser somadas e não usadas uma em substituição da outra.

Ainda, conforme o entrevistado E5, em 2015, devido a fatores econômicos e estratégicos da empresa, a falta de vendas afetou diretamente a planta. De janeiro até fim de

setembro, que é o período em análise, a quantidade possível de ser produzida seria de 36.953 toneladas, enquanto foram programadas apenas 19.935 toneladas e, de fato, produzidas 19.879 toneladas. Esses números mostram que, nesse período, apenas 54% do valor de referência (nível de atividade) da unidade foram planejados para utilização e, desses, 99,7% utilizados de maneira adequada pela empresa. A eficiência média no período foi, portanto, 53,8%.

O entrevistado disse, ainda, que a gestão da falta de demanda foi alterada no ano analisado, em relação ao que comumente era realizado:

“No passado a gente iria operar por três meses com carga total, parar toda a Unidade por um, depois operar por mais três e parar por mais um, e assim por diante. Agora a gente encontrou um ponto de operação, com velocidade reduzida, onde se consegue trabalhar sem que as eficiências de material e de energia sejam tão prejudicadas. Fazendo isso, estamos conseguindo evitar os picos de estoque que tínhamos na situação anterior. Como temos que pagar por armazenagem externa, isso está nos ajudando nesse momento”. (E5)

Esse relato vai ao encontro do que foi explicado na seção anterior sobre a necessidade de agregar termos relativos à eficiência de insumos para a medição da eficiência global da Unidade. Essa evidência empírica corrobora, também, a necessidade de incorporação de uma dimensão relativa aos custos de produção, no sentido de possibilitar a utilização de um único indicador, realmente global, para monitorar a eficiência de unidades produtivas de fluxo contínuo.

Uma vez concluídas as análises pode-se inferir que o indicador OAE, quando comparado com o OEE e TEEP utilizados pela empresa, mostra-se mais eficaz. Os indicadores OEE e TEEP, para situações de baixa eficiência, apresentam resultados comparáveis ao OAE. Porém, quando os fatores externos possuem magnitude relevante, esses não detectam a ineficiência da unidade, gerando uma percepção conceitualmente equivocada de eficiência. Independentemente das questões de gestão de metas e premiações, a percepção equivocada de eficiência desloca o foco das efetivas causas de ineficiência, tornando mais difícil o processo de melhoria contínua. (JEONG; PHILLIPS, 2001).

Pela análise do OAE, a empresa deveria centrar suas atenções para departamentos de vendas e suporte ao cliente, uma vez que as causas das grandes perdas estão no fato da falta de demanda. Mesmo que sabida essa informação, em situações de recessão econômica, como no período de realização deste trabalho, ações focadas nas causas mais relevantes podem mitigar efeitos negativos sobre a manufatura.

Pode-se argumentar que o OEE e o TEEP seriam mais adequados à realidade de manufatura, isolando as perdas externas ao sistema de produção. Nesse caso, que é uma alternativa possível, ainda assim haveria a necessidade de compreender os ciclos em vazio como perdas ou como tempo não alocado, afetando o cálculo da disponibilidade da planta.

4.3 Discussão

Percebe-se que todos os indicadores analisados neste trabalho partem de um indicador pioneiro que é o OEE e agregam termos de perdas que o OEE não considera, sejam essas perdas internas (relativas à manufatura), como o TEEP, OEEML, PEE e OLE, sejam perdas externas (não têm influência da manufatura), como por exemplo, perdas por falta de demanda identificadas no OAE, OPE e TOEE.

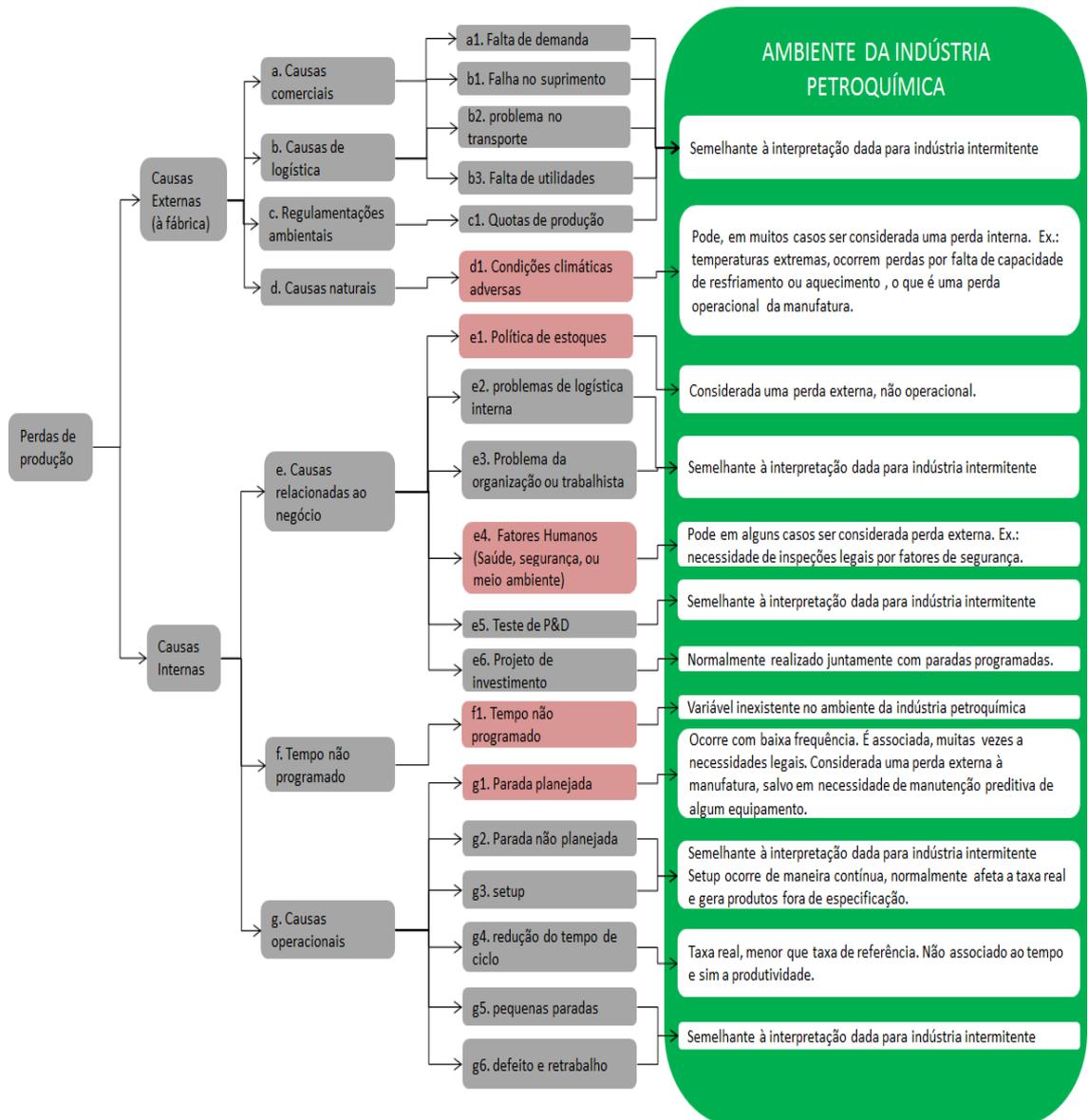
A análise integrada entre os dados da literatura, entrevistas e números de campo tornou evidente a necessidade de uma maior clareza quanto aos conceitos de nível de atividade e capacidade. Os resultados de eficiência, invariavelmente, são realizados por uma confrontação com um valor de referência, o qual não se identificou a maneira científica de operacionalização nas fontes acessadas. Por esse motivo, é natural para esse tipo de indústria a presença de pontos de eficiência superiores a 100%, o que é uma inconsistência teórica.

Outro ponto importante que emergiu das análises foi a necessidade de incorporação de termo relativo ao custeio de produção. Esse englobaria as eficiências de materiais e energética. Segundo as entrevistas esse é um ponto muito importante sob o aspecto de manufatura, não sendo identificado nos indicadores de eficiência global pesquisados.

Da análise realizada, dois indicadores foram considerados os mais indicados para o cálculo da eficiência global no contexto estudado. Esses foram o OAE e o OPE. Como o OPE tem sua formulação baseada em tempos e o OAE em quantidades, esse último foi escolhido para a análise e comparação com os indicadores atualmente utilizados pela empresa que são o OEE e TEEP. Esses indicadores foram os que apresentaram maior abrangência na consideração das perdas de produção, englobando itens externos à manufatura. Tal resultado vai ao encontro dos resultados obtidos por Busso e Miyake (2013) apresentados na Figura 9 do referencial teórico do presente trabalho.

A árvore de alocação de perdas proposta por Busso e Miyake (2013), apresentada na Figura 8 do referencial, foi ampliada com base nas evidências das entrevistas de campo, de modo a refletir e particularizar o ambiente em questão, que é a indústria petroquímica. O resultado dessa ampliação é mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Árvore de perdas adaptada para o ambiente da indústria petroquímica



Fonte: Adaptada pelo autor de Busso e Miyake (2013).

A categoria de perdas “e4” mostrada na Figura 12 serve para fazer a alocação das perdas decorrentes de fatores humanos. Estas perdas, podem vir a ser de grande monta caso haja a necessidade de interrupção de toda a produção devido a realização de testes legais, por exemplo. Fatores como condições insalubres (temperaturas, ou pressões não convencionais), geração de efluentes entre outros, também podem ser classificados como perdas devido a fatores humanos. Cabe mencionar que nas empresas pesquisadas tais fatores geralmente são classificados como perdas externas a manufatura, porém, através de um planejamento de produção correto as perdas devido a estes quesitos podem ser diminuídas.

Na análise baseada em dados de campo, quando comparados os resultados dos indicadores OEE e TEEP utilizados pela empresa com o OAE, pode-se inferir que o problema da unidade em questão, atualmente, é a falta de demanda.

Mesmo o OAE apresentando resultados mais amplos do que os indicadores utilizados pela empresa, tanto para situações de eficiência alta ou baixa, esse não pode ser considerado com um indicador definitivo ou inquestionável para a medição de eficiência de produção de indústria contínua. Esse indicador apresenta os mesmos defeitos de concepção quanto à definição de capacidade e não engloba a dimensão custo em sua análise, que foi considerada essencial pelos entrevistados da indústria para se ter um indicador único de análise estratégico-tática.

Mesmo os indicadores com uma abrangência mais ampla, identificados na literatura, não satisfazem alguns pontos considerados cruciais para verificação da eficiência de uma unidade de fluxo contínuo. Um exemplo claro que foi evidenciado através das entrevistas com profissionais foi a necessidade de se considerar elementos referentes ao consumo específico (chamado no presente trabalho de eficiência de insumos). Outro fator que pode ser verificado, através da entrevista com o profissional da academia, foi o fato de não se ter um método científico para definição de capacidade. Atualmente o nível de atividade é definido de maneira empírica nas empresas estudadas. Não se identificou que as empresas tenham ciência de sua real capacidade, como pode ser evidenciado pela ocorrência de pontos com eficiência superior a 100%.

O Quadro 16 apresenta uma síntese com os pontos de maior relevância trazidos à tona pela presente pesquisa. Juntamente com os apontamentos levantados e as evidências utilizadas para construir o quadro, possibilidades de verificação e ampliação destes são trazidas de maneira simplificada.

Quadro 16 – Síntese dos pontos de maior relevância trazidos a tona ao longo do trabalho

(continuação)

Pontos Relevantes	Evidências	Possibilidades
Capacidade x Nível de Atividade.	Foi verificada nas entrevistas e no cálculo dos indicadores a existência de pontos de eficiência superior a 100%. Tal fato confirma que não é claro o conceito de capacidade, no sentido da Gestão de Operações, para o cálculo de eficiência global.	Novos trabalhos para trazer a luz à discussão entre capacidade e nível de atividade na indústria de processos contínuos.

(conclusão)

Pontos Relevantes	Evidências	Possibilidades
Utilização de termos relativos a eficiência de insumos.	Todos entrevistados da indústria citaram a eficiência de insumos como um parâmetro operacional fundamental para a unidade.	Proposição de novo indicador que faça a incorporação de termo de eficiência de insumos, bem como de custos variáveis de produção na medição e eficiência global.
Perdas por performance maiores que perdas por disponibilidade.	Entrevistados da indústria mencionaram o fato das perdas por disponibilidade serem maiores que as perdas por performance. Ao analisar os dados fornecidos por um dos entrevistados, evidenciou-se o contrário.	Análise de um conjunto de dados da mesma empresa, porém em relação a outro período. Análise dos dados de outra empresa.
Manufatura evita aumentos de valores de referência para cálculo dos indicadores de eficiência.	Evidenciado através das entrevistas que fatores de cunho motivacional poderiam ser afetados com a constante alteração dos valores de referencia (metas mais ousadas).	Estudos futuros no sentido de atrelar os fatores da gestão de recursos humanos e técnicos, suas implicações no cálculo de eficiência global, na definição de metas e bônus, cultura organizacional, etc.
Empresa de petróleo não utiliza termo relativo a qualidade no cálculo do indicador de eficiência global.	Verificado que, das cinco empresas em questão, apenas a empresa de petróleo (única não petroquímica pesquisada) não utiliza o termo de qualidade no cálculo do indicador global de eficiência de produção.	Estudar outras empresas do setor para verificar que é característica da indústria ou da corporação em questão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dada a síntese do trabalho realizado, e avaliando o objetivo geral da presente pesquisa, pode-se afirmar que, dentre os indicadores selecionados na literatura, o OAE apresentou-se mais descritivo em comparação aos demais. Essa afirmação é baseada na análise teórica realizada sobre sua abrangência e constituição nas entrevistas e em sua aplicação com dados de produção reais. Novamente, não significa que o OAE é suficientemente adequado para exprimir, em um único indicador, todas as necessidades presentes para a análise de eficiência global da indústria petroquímica.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa norteou-se a responder a questão de como proceder para medir a eficiência global de produção em indústria petroquímica com base no indicador OEE. No resultado do trabalho identificou-se um indicador, o OAE, aplicável para indústria em questão, mais abrangente do que o OEE. Porém, mesmo esse indicador não é o suficientemente completo para ser utilizado como único parâmetro para medição de eficiência global desta indústria.

A seleção do indicador OAE foi realizada a partir do desenvolvimento de um quadro onde 12 indicadores de eficiência encontrados na literatura foram agrupados. Todos indicadores identificados foram decompostos e as variáveis medidas por esses foram comparadas com aquelas realmente medidas no ambiente da indústria petroquímica. Informações sobre a indústria foram avaliadas através da realização de entrevista com 5 profissionais que atuam em empresas da região e por um profissional da academia.

Através do confronto de ideias coletadas na revisão bibliográfica, com aquelas obtidas através das entrevistas, ficaram evidentes algumas carências presentes nesse tipo de indústria. A falta de clareza quanto aos conceitos de capacidade de nível de atividade faz com que as eficiências calculadas não sejam, de fato, reais. A utilização de valores de picos de produtividade como sendo a capacidade pode vir a incorrer em trabalhar com a unidade próximo do seu limite de projeto, fazendo com que margens de segurança sejam diminuídas. O desenvolvimento de um método definitivo, ou ao menos que traga o início de uma discussão mais ampla, para a definição de capacidade em indústria de produção contínua, torna-se uma possibilidade de continuidade de pesquisa no tema, a partir da carência identificada pelo presente trabalho.

Com foco no conhecimento esperado, a partir do segundo objetivo, dados reais fornecidos pela empresa do entrevistado E5 foram utilizados para realização dos cálculos de eficiência da unidade em questão. Uma vez calculadas as eficiências pelo OEE, TEEP e OAE, a análise proporcionou verificar que o OAE se mostra mais eficaz para essa medição frente aos outros dois indicadores, pois agrega elementos externos à manufatura. Quando não computados todos os fatores que deterioram o desempenho de uma Unidade, o cálculo pode mostrar um resultado que não condiz com a real eficiência da unidade.

O único indicador desenvolvido com foco em processo contínuo identificado foi o PEEcont. Este não foi utilizado no presente trabalho pois utiliza em sua formulação elementos de pesos relativos, os quais podem introduzir tendências na sua utilização. É possível a

utilização de conceitos de otimização para o desenvolvimento de uma função objetivo que faça a definição dos pesos relativos de maneira a minimizar as tendências e defina de maneira adequada cada índice de peso relativo. Tal possibilidade pode vir a ser discutida com maior profundidade em trabalhos futuros.

As perdas relativas à disponibilidade foram apontadas por todos os entrevistados como sendo majoritárias, dentre aquelas internas a manufatura. Quando se realizou a integração de todas as perdas e construiu-se o Gráfico 11, verificou-se que as perdas relacionadas à performance foram maiores do que as de disponibilidade. Essa discrepância, segundo o entrevistado, que ocorreu no período em análise, deve-se ao fato da Unidade estar operando com baixa demanda, assim os equipamentos não operam no limite e tendem a apresentar menos falhas. A confirmação dos relatos do entrevistado pode se tornar possível através da análise de um universo maior de dados, principalmente analisando valores em períodos nos quais os fatores externos não tenham magnitude relevante. Outra maneira de confrontar tais informações é através dos dados de outras Unidades, fazendo comparações entre diferentes empresas sobre as dimensões apresentadas.

A necessidade de apresentação de resultados satisfatórios para a alta direção da companhia faz com que, por vezes, a alocação de perdas seja intencionalmente diferente da realidade. A análise dos dados históricos de eficiência, frente aos resultados financeiros obtidos por determinada unidade, pode incorrer em distorções devido a tal fato. O custo de um ativo subutilizado, ainda mais para indústria petroquímica, onde o capital investido é intenso, deve ser considerado uma ineficiência, e conforme verificado nas entrevistas, isso nem sempre é realizado por essa indústria. Cabe ainda ressaltar que diante do presente trabalho fica evidente a possibilidade de estudos futuros no sentido de atrelar os fatores da gestão de recursos humanos e técnicos, suas implicações no cálculo de eficiência global, na definição de metas e bônus, cultura organizacional, etc.

Uma das fragilidades identificadas pelo presente trabalho foi a falta de termos referentes à eficiência de insumos nos indicadores de eficiência. Todos os entrevistados que atuam na indústria referiram-se a esses como de vital importância para o monitoramento operacional das unidades produtivas. Abre-se aqui outra possibilidade para o desenvolvimento de trabalhos no sentido de agregar aos indicadores de eficiência de produção, temos relativos à eficiência de insumos. Com isso, possibilita-se a incorporação da dimensão do custo na medida de eficiência, uma vez que é característica dessa indústria os custos variáveis serem responsáveis pela maior parcela do custo total.

De todas as entrevistas com profissionais da indústria, apenas em um dos casos não se identificou a dimensão da qualidade no indicador de eficiência utilizado na empresa na qual atuam. Essa empresa é a única empresa de petróleo e não petroquímica. Tal fato, em trabalhos futuros, pode ser discutido para aprofundar a análise. A verificação das reais causas da não utilização da dimensão deve ser estudada para definir se isso é uma característica da indústria do petróleo ou apenas da empresa em questão. A falta de validação das questões que nortearam as entrevistas com os profissionais da indústria pode ser considerada uma limitação para a presente pesquisa. Uma validação das questões utilizadas no presente trabalho pode compor parte de um novo estudo na área.

Uma das limitações da presente pesquisa foi o fato de não poder contar com os pesquisadores que propuseram os indicadores de eficiência utilizados. A participação desses profissionais poderia introduzir uma visão teórica sobre as adaptações necessárias para a utilização dos indicadores em indústria petroquímica. Os resultados da presente pesquisa podem ser utilizados como argumento inicial para um trabalho mais amplo, que conte com a participação de tais profissionais que tragam a visão acadêmica de uma maneira mais clara com a participação de mais pesquisadores.

Como não houve a participação de profissionais de centros de pesquisa de empresas, alguns fatores, principalmente relativos à definição de capacidade e eficiência de insumos, não foi possível confrontar as visões práticas (dos entrevistados E1 até E5) com a visão de P&D (pesquisa e desenvolvimento) das empresas. Trabalhos futuros comparando a visão prática e teórica de uma mesma companhia pode ser realizados para ampliar a visão dos resultados aqui apresentados.

A utilização de dados de apenas uma unidade de produção para o cálculo dos indicadores não permite que sejam feitas determinadas generalizações. O fato de 2015 se caracterizar por um ano em que a falta de demanda pelos produtos da empresa afetou a manufatura, também poderia ser confrontado com um ano em que as vendas estejam em patamares considerados normais pela empresa, visando expandir a compreensão dada ao conceito de nível de atividade. Uma análise com dados de outras Unidades e também da mesma Unidade em situações típicas introduziria uma melhor visão sobre a aplicabilidade dos indicadores e as perdas relativas às dimensões disponibilidade, performance, qualidade e fatores externos. Uma parcela considerável das perdas externas é devido a falta de demanda. A qual possui tem uma associação direta ao cliente, que por sua vez pode ser atrelado com a visão de *takt time*. Tais correlações podem ser alvo de uma análise específica para que sejam aprofundados os conhecimentos sobre estas relações e também sobre os fatores externos.

Esses fatores, além de limitações trazem a possibilidade de futuras pesquisas acerca do tema. Tais achados fazem vir à tona uma nova possível questão para pesquisas futuras: não há clareza na definição de capacidade devido à falta de literatura a respeito do tema, ou não há literatura a respeito do tema devido à falta de clareza desse problema? Ou ainda: não se encontraram evidências de indicadores que utilizem termos de eficiência de insumos na literatura, ou não há literatura sobre o tema por não serem utilizados termos relativos à eficiência de insumos nessa indústria?

Ainda cabe uma análise mais ampla no sentido de confirmar o que foi mencionado nas entrevistas sobre as perdas por disponibilidade serem de maior magnitude do que aquelas devido à performance. No único caso prático verificado tal fato não se confirmou. Vale a análise com dados de outras unidades, bem como dados da mesma unidade em outros períodos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. M., DHAFR, N. Establishing and improving manufacturing performance measures. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [S.l.], n. 18, p. 171-176, 2002.
- AKEN, J. e van. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, [S.l.], 2004.
- AMERICAN PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL SOCIETY (APICS). Chicago, 2015. Disponível em: <<http://www.apics.org/>>. Acesso em: 26 maio 2015.
- ANTUNES, J. et al. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para o projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ARAGÃO, I. R.; BORNIA, A. C. A redução de perdas num processo produtivo através da implantação da sistemática da árvore de perdas. **Revista Produção On-Line**, [S.l.], v. 7, n. 2, 2007. Disponível em: <<http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/74/76>>. Acesso em: 15 dez. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUM). **Anuário da Indústria Química Brasileira: edição 2015**. São Paulo, 2015.
- ATTADIA, L. C. L.; MARTINS R. A. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 33-41, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132003000200004>. Acesso em: 26 maio 2015.
- AWBREY, J.; SILBER, R. **Continuous flow operations**. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Engineering-Systems-Division/ESD-60Summer>>. Acesso em: 28 maio 2015.
- BAMBER, C. J. et al. Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 223-238, 2003.
- BARDIN, I. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições Setenta, 1994.
- BARRETO, R. M.; PÁDUA NETO, A. P.; SOUZA, N. V. **Cadeia produtiva petroquímica: ressurge o debate**. **Revista Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. 3, p. 665-675, 2003.
- BERRAH, L., MAURIS, G., VERNADAT, F. Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v. 42, n. 20, p. 4271-4293, 2004.
- BESSANT, J. et al. Rediscovering continuous improvement. **Technovation**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 17-29, 1994.
- BESSANT, J., CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. An evolucionary model of continuous improvement behaviour. **Technovation**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 67-77, 2001.

BOHORIS, G. A. et al. TPM implementation in Land-Rover with the assistance of a CMMS. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, [S.l.], v. 1, n. 4, p. 3-16, 1995.

BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. T. Indústrias de processo: comparações e caracterizações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., Curitiba, 2002. **Anais...**, Curitiba, 2002.

BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; ZAMMORI, F. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 8-29, 2008.

BRASKEM S.A. São Paulo, 2014. Disponível em: <www.braskem.com.br>. Acesso em: 25 out. 2014.

BRASKEM S.A. São Paulo, 2015. Disponível em: <www.braskem.com.br>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BUSSO, C. M. **Aplicação do indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) e suas derivações como indicadores de desempenho global da utilização da capacidade de produção**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. **Produção**, [S.l.], v. 23, n. 2, p. 205-225, abr./jun. 2013.

CAMPOS, C. J. G. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, DF, v. 57, n. 5, p. 611-4, set./out. 2004.

CHAND, G.; SHIRVANI, B. Implementation of TPM in cellular manufacture. **Journal of Material Processing Technology**, [S.l.], v. 103, n. 1, p. 149-154, 2000.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. L. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, [S.l.], v. 2, p. 429-444, 1978.

CHIARADIA, A. J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística**. 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

COCCA, P.; ALBERTI, A. A framework to assess performance management systems in SMEs. **International Journal of Operations and Production Management**, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 186-200, 2010.

COELLI, T. J. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2005.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2015.

CORRÊA, H; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2008.

DIEHL, A.; A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ENSSLIN, L. et al. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 47-62, 2011.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução a análise envoltória de dados**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

FLICK, U. **Uma introdução a pesquisa qualitativa**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FRANSOO, J. C.; RUTTEN, W. G. M. M. A typology of production control situations in process industries. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 14, n. 12, p. 47-57, 1994.

GEROLAMO, M. C. **Proposta de sistematização para o processo de melhorias e mudanças de desempenho**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – USP, São Carlos, 2003.

GHALAYINI, A. M.; NOBLE, J. S. The changing basis of performance measurement. **International International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 16, n. 6, p. 63-80, 1996.

GIBBONS, P. M.; BURGESS, S. C. Introducing OEE as a measure of lean six sigma capability. **International Journal of Lean Six Sigma**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 134-156, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

GILSA, C. V. **Avaliação longitudinal da eficiência e fator total de produtividade em uma empresa petroquímica a partir da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice de Malmquist**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – UNISINOS, São Leopoldo, 2012.

GOMES, G. L. **Análise da integração refino-petroquímica: oportunidades econômicas, estratégicas e ambientais**. 2011. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, COPPE UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

GOMES, G.; DVORSAK, P.; HEILT, T. Indústria petroquímica brasileira: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 74-104, 2005.

HANSEN, P. B. **Um método multicriterial de avaliação e gestão de processos produtivos da indústria de propriedade contínua**. 1996. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) – Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

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

- HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C. Link manufacturing process and product life cycles. **Harvard Business Review**, [S.l.], v. 57, n. 1, p. 133-140, 1979.
- HEIZER, J.; RENDER, B. **Administração de operações, bens e serviços**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- HÖGFELDT, D. **Plant efficiency: a value stream mapping and overall equipment effectiveness study**. 2005. 93 f. Master Thesis (Master of Science Programme - Mechanical Engineering) --University of Technology, Lulea, 2005.
- HRONEC, S. M. **Sinais vitais: usando medidas de desempenho da qualidade, tempo e custos para traçar a rota para o futuro de sua empresa**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- HUANG, S. H. et al. Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v. 41, n. 3, p. 513-527, 2003.
- HUANG, S. H. et al. Manufacturing system modeling for productivity improvement. **Journal of Manufacturing Systems**, [S.l.], v. 21, n. 4, p. 249-259, 2002.
- JEONG, K.-Y.; PHILLIPS, D. T. Operational efficiency and effectiveness measurement. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 21, n. 11, p. 1404–1416, 2001.
- JONSSON, P.; LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems: The role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 55-78, 1999.
- JURAN, J. M. **Managerial breakthrough**. New York: McGrawHill, 1995.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. Linking balanced scorecard to strategy. **California Management Review**, [S.l.], v. 39, n. 1, p. 53-79, 1996.
- KENYON, G.; CANEL, C.; NEUREUTHER, B. D. The impact of lot-sizing on net profits and cycle times in the n-job, m-machine job shop with both discrete and batch processing. **International Journal of Production Economics**, [S.l.], v. 97, n. 3, p. 263-278, 2005.
- LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2008.
- MARTINS, R. A. **Sistemas de medição de desempenho: um modelo para a estruturação do uso**. 1998. Tese (Doutorado em engenharia) -- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- MENITA, P. R. et al. Fatores determinantes para o desempenho dos processos de produção de fluxo contínuo: estudo de caso na indústria de biscoitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., Belo Horizonte, 2011. **Anais...** Belo Horizonte, 2011.

- MINAYO, M. C. D. S. Importância da avaliação qualitativa combinada com outras modalidades de avaliação. **Saúde & Transformação Social**, Florianópolis, v.1, n 3, p. 02-11, 2011.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.
- MUTHIAH, K. M. N.; HUANG, S. H. Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v. 45, n. 20, p. 4753-69, 2007.
- MUTHIAH, K. M. N.; HUANG, S. H.; MAHADEVAN, S. Automating factory performance diagnostics using overall throughput effectiveness (OTE) metric. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S.l.], v. 36, n. 7-8, p. 811-824, 2008.
- NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N. Evaluation of Overall Line Effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. **Journal of Manufacturing Technology**, [S.l.], v. 17, n. 7, p. 987-1008, 2006.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
- NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next?. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 205-28, 1999.
- OECHSNER, R. et al. From overall equipment effectiveness to overall Fab effectiveness (OFE). **Materials Science in Semiconductor Processing**, [S.l.], v. 5, n. 4-5, p. 333-339, 2003.
- OSÓRIO, O. Un enfoque diferente para medir la ociosidad en el costeo integral. **Revista Española de Finanzio y Contabilidad**, [S.l.], v. 8, n. 57 p. 539-581, 1988.
- PASSOS, F. U; ARAGÃO, I. R. Melhorias operacionais de processos contínuos acompanhadas por ferramentas da produção enxuta – estudo de caso em uma petroquímica brasileira. **REGE - Revista de Gestão**, São Paulo, v. 20, p. 267-282, 2013.
- RAOUF, A. Improving capital productivity through maintenance. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 14, n. 7, p. 44–52, 1994.
- RAJA, P. N.; KANNAN, S. M. Overall process effectiveness (OPE) model for the tyre manufacturing industry. **Department of Mechanical Engineering, Velammal College of Engineering & Technology**, [S.l.], v. 17, n. 14, p. 70-73, 2009.
- SALERNO, M. S. Automação e processos de trabalho na indústria de transformação. In: ENCONTRO DA ANPOCS-GT PROCESSO DE TRABALHO E REIVINDICAÇÕES SOCIAIS, 11., Águas de São Pedro, 1987. **Anais...** Águas de São Pedro: ANPOCS, 1987.
- SALERNO, M. S.; AULICINO, M. C. Engenharia, manutenção e operação em processos contínuos: elementos para o projeto de fronteiras organizacionais móveis e interpenetrantes. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 337-349. 2008.

SANDRONI, P. **Dicionário de administração e finanças**. São Paulo: Best Seller, 1996.

SANTANA, L. M.; HASCENCLEVER, L.; MELLO, J. M. C. Capacitação tecnológica e competitividade na petroquímica brasileira nos anos 1990: o caso de Camaçari-BA. **Revista Brasileira de Inovação**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 147-177, 2003.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: quatro revoluções na gestão da qualidade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

SHMULA, K. **Productivity and efficiency**. Orem, 2015. Disponível em: <<http://www.shmula.com/319/process-measures-productivity-and-efficiency>>. Acesso em: 26 maio 2015.

SIMÕES, R.; ALLIPRANDINI, D. H. Gestão da melhoria contínua: modelo de boas práticas e aplicação em uma empresa de médio porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., Fortaleza, 2006. **Anais ...** Fortaleza, 2006.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planning and measurement in your organization**. Norcross: Industrial Engineering and Management Press, 1989.

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SUAREZ, M. A. **Petroquímica e tecnoburocracia, capítulos do desenvolvimento capitalista no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1986.

TEIXEIRA, F.; GUERRA, O.; CAVALCANTE, L. R. Decisões de investimento e movimentos de reestruturação um modelo de análise da indústria petroquímica. **Economia Contemporânea UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 511-537, 2009.

TOLEDO, J. C; FERRO, J. R.; TRUZZI, O. M. S. Indústrias de processo contínuo: novos rumos para a organização do trabalho. **Revista Administração de Empresas**, [S.l.], v. 26, p. 103-105, 1986.

TORRES, E. M. A evolução da indústria petroquímica brasileira. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 20, 2014.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TSAROUHAS, P. Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 5-18, 2007.

VACCARO, G. L. R.; KORZENOWSKI, A. L. A proposition of overall equipment effectiveness control chart. In: INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE, Nashville, 2015. **Proceedings...** Nashville, 2015.

VIDOR, G. **Modelos para implementação da qualidade em produtos e serviços customizados em massa**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – UFRGS, Porto Alegre, 2014.

WOODWARD, J. **Organização industrial: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 1977.

ZAMPINI, C. S.; TOLEDO, J. C. Proposta para estruturação da gestão da melhoria contínua em uma fabricante de bebidas. In. SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4., Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, 2008.

ZANDIEH, S.; TABATABAEI, S. A. N.; GHANDEHARY, M. Evaluation of overall equipment effectiveness in a continuous process production system of condensate stabilization plant in assalooyeh. **Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business**, [S.l.], v. 3, n. 10, p. 590-598, 2012.